



Liderando la agrociencia para un futuro sostenible

Agroecología

Fundamentos y técnicas de producción, y experiencia en la Región de Los Ríos

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



ISSN 0717 -4713

Editoras

Cecilia Céspedes León / Sigrid Vargas Schuldes

COLECCIÓN LIBROS INIA N° 45





María Cecilia Céspedes León
INIA Quilamapu



Sigríð Marcela Vargas Schuldes
INIA Quilamapu

Autores de capítulos

Altieri S., Miguel.

Arriagada C., Macarena.

Céspedes L., Cecilia.

Díaz R., Carlos.

Espinoza T., Soledad.

France I., Andrés.

González M., Gabriel.

Hirzel C., Juan.

Infante C., Felipe.

Infante L., Agustín.

Jacobi., Johanna.

Layana S., Alejandro.

Manosalva T., Héctor.

Millas O., Paz.

Montalba N., René.

Nicholls E., Clara.

Pedreros L., Alberto.

Pérez L., Viviana.

Rist., Stephan.

Sáez T., Luís.

Salas F., Claudio.

Sotomayor G., Álvaro.

Vallejos Q., José.

Vargas S., Sigrid.

Vásquez S., Alejandra.

Yacuzzi C., Alejandro.

Cosultores técnicos

Cortés B., Maruja.

López O., Rafael.

Martínez C., Juan Pablo.

Mc Leod B., Claudia.

Olivares P., Natalia.

Osman, Aart.

Soto A., Silvana.

Uribe C., Hamil.

Vallejos L., Enrique.



Agroecología

Fundamentos y técnicas de producción, y experiencia en la Región de Los Ríos

Editoras

Cecilia Céspedes León

Sigrid Vargas Schuldes

Instituto de Investigaciones Agropecuarias

INIA Remehue



Editoras

Cecilia Céspedes León
Ingeniera agrónoma, M.Sc.

Sigrid Vargas Sch.
Ingeniera agrónoma

Director Regional INIA

Sergio Iraira H.

Libro INIA N° 45.

Cita bibliográfica correcta

Céspedes L., Cecilia; Vargas Sch., Sigrid (Eds.) 2021. "Agroecología. Fundamentos y técnicas de producción, y experiencia en la Región de los Ríos". Libro INIA N° 45, 370 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Osorno, Chile.

N° Inscripción Registro Propiedad Intelectual: 2021-A-11627.

ISSN: 0717- 4713.

ISBN: 978-956-7016-55-6.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y editoras.

© 2021. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Centro Regional de Investigación INIA Remehue, Ministerio de Agricultura. Ruta 5 Sur, kilómetro 8 norte, Osorno. Fono (56) 64 233 4800, Osorno, Chile.

Esta publicación fue posible gracias al apoyo del Gobierno Regional de Los Ríos y su Consejo Regional, en el marco del programa FNDR código BIP 30284073-0 "Producción agroecológica y orgánica para pequeños y medianos productores".

Edición de textos: Marcia Castellano R.

Diseño y Diagramación: Ricardo González Toro.

Impresión: TRAMA Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 250.

Osorno, Chile, diciembre 2021.



CONTENIDO

- 5** **PRÓLOGO**
- 7** **I. AGROECOLOGÍA Y SOCIEDAD**
- 9** **CAPÍTULO 1**
DESARROLLO DE LA AGRICULTURA Y DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS SOSTENIBLES
- 53** **CAPÍTULO 2**
LA AGROECOLOGÍA Y SU CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE
- 73** **CAPÍTULO 3**
AGROECOLOGÍA Y SOSTENIBILIDAD ALIMENTARIA
- 89** **CAPÍTULO 4**
ECOLOGÍA POLÍTICA Y AGROECOLOGÍA: UNA INTRODUCCIÓN A LA DECONSTRUCCIÓN SOCIOECOLÓGICA
- 101** **II. TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA**
- 103** **CAPÍTULO 5**
PRINCIPIOS Y PRÁCTICAS DE SISTEMAS PRODUCTIVOS CON CRITERIOS AGROECOLÓGICOS
- 145** **CAPÍTULO 6**
DISEÑO DE SISTEMAS PRODUCTIVOS AGROECOLÓGICOS
- 167** **CAPÍTULO 7**
IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN LA PRODUCCIÓN CON BASE AGROECOLÓGICA
- 191** **CAPÍTULO 8**
HERRAMIENTAS DE MANEJO NUTRICIONAL EN SISTEMAS SOSTENIBLES
- 207** **CAPÍTULO 9**
MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN SISTEMAS CON BASE AGROECOLÓGICA
- 227** **CAPÍTULO 10**
MANEJO ECOLÓGICO DE INSECTOS Y ÁCAROS PLAGAS
- 249** **CAPÍTULO 11**
MANEJO DE MALEZAS EN PRODUCCIÓN CON BASE AGROECOLÓGICA
- 267** **CAPÍTULO 12**
MANEJO DE ENFERMEDADES EN AGRICULTURA AGROECOLÓGICA



285 III. LA AGROECOLOGÍA EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS

287 **CAPÍTULO 13**
LA AGRICULTURA EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS: DESAFÍOS, OPORTUNIDADES E
IMPACTOS DEL PROGRAMA DE TRANSFERENCIA

313 **CAPÍTULO 14**
PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS OBTENIDOS CON MANEJO
AGROECOLÓGICO Y ORGÁNICO EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS

325 **CAPÍTULO 15**
COMERCIALIZACIÓN Y DESARROLLO DE NEGOCIOS EN LA PRODUCCIÓN
AGROECOLÓGICA

347 RESEÑA DE LOS AUTORES

357 GLOSARIO

Prólogo

La agroecología busca transformar los sistemas alimentarios y agrícolas abordando las causas profundas de los problemas de forma integrada y aportando soluciones holísticas y a largo plazo, por lo tanto, su planteamiento claramente apunta hacia un enfoque de desarrollo sostenible. Su propuesta tecnológica fusiona el conocimiento científico, a través del estudio de la interacción de los diferentes componentes de agroecosistema; un conjunto de prácticas que optimizan y estabilizan la producción; y el movimiento social que promueve la justicia social, nutre la identidad y la cultura y refuerza la viabilidad económica de las zonas rurales. Importante señalar que en su concepto empodera a la agricultura familiar como los guardianes reales del conocimiento y sabiduría necesaria para producir alimentos de manera agroecológica con una gran capacidad de adaptación.

La agroecología está vinculada a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), por lo que proporciona estrategias y técnicas que permitan directa o indirectamente contribuir a la remodelación de los sistemas agroalimentarios y en su aplicación incorpora los siguientes elementos: diversidad, sinergias, eficiencia, resiliencia, reciclaje, creación conjunta y el intercambio de conocimientos, valores humanos y sociales, cultura y tradiciones alimentarias, economía circular y solidaria y finalmente la gobernanza responsable. La aplicación de estos elementos permite aumentar la producción y mejorar su estabilidad y resiliencia frente a cambios climáticos, optimizar las dietas e ingresos, conservar la biodiversidad y los recursos naturales.

Se debe señalar que los sistemas agroecológicos se diseñan de acuerdo al conocimiento específico de cada contexto, por lo tanto, no ofrecen recetas fijas, sino prácticas agroecológicas que deben ser rediseñadas considerando la realidad ambiental, social, económica, cultural y política de cada región. Por lo tanto, el diálogo de saberes y el intercambio de conocimientos a nivel local juegan un papel fundamental para el desarrollo e implementación de innovaciones agroecológicas ajustadas a una realidad específica. En este contexto, el presente documento pretende entregar una serie de principios, conocimientos y prácticas en el ámbito de la agroecología que permitan al lector interiorizarse, reflexionar y ajustarlas a su realidad con el objetivo de desarrollar e implementar sistemas productivos sostenibles, que incorporen cadenas agroalimentarias para generar productos de la mejor calidad, para el abastecimiento regional y nacional.

Sergio Iraira H.
Director Regional INIA Remehue





I. Agroecología y sociedad



La cosecha (1888). Escenas agrícolas de la tumba de Nakht, 18va Dinastía, Tebas (1907). Norman de Garis Davies y Nina M. Davies.



Los antiguos egipcios pintaron frescos en los muros de las cámaras sepulcrales de importantes difuntos, como una forma de expresar temas como la vida cotidiana o incluso sus creencias sobre la vida después de la muerte. En la tumba de Nakht, un antiguo funcionario egipcio, se pueden apreciar algunas escenas que permiten comprender el desarrollo de la antigua agricultura egipcia. En ella se evidencian escenas como el aventado y medición del grano, la cosecha y el prensado de las espigas de trigo para ser transportadas. Además, se logra observar el acto de dividir la tierra, la tala de árboles y la utilización del arado con tracción animal para labrar la tierra.

Capítulo 1

Desarrollo de la agricultura y de los sistemas agrícolas sostenibles

Héctor Manosalva T.¹

José Vallejos Q.²

La crisis de los modelos agrícolas industriales, sumada al desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles y al surgimiento de la agroecología, ha provocado cambios importantes en la forma de mirar el desarrollo de la agricultura. Esta nueva mirada ha requerido replantear las bases teóricas y metodológicas que han permitido entender la historia de esta actividad, pero además ha hecho necesario integrar nuevas dimensiones a la hora de hacer investigaciones y descripciones.

Hasta hace algunas décadas dominaba una visión que no consideraba que los sistemas agrícolas, de diversas sociedades y en diferentes épocas, se habían desarrollado en balance con los requerimientos de la naturaleza, del paisaje, de la capacidad de trabajo y de la salud de los seres vivos; incluso dificultaba ver de forma holística como la humanidad había logrado alimentarse y obtener recursos. Sin embargo, con el avance del conocimiento sobre las diferentes culturas agrícolas, se ha reforzado la idea de que previo a la agricultura intensiva existieron prácticas agrícolas de carácter más resilientes en su relación con el manejo del ecosistema, las cuales estaban bien adaptadas al medio y orientadas a la conservación de los recursos naturales en los que tenían su base. Para disciplinas como la agroecología es relevante el estudio de la agricultura de antiguas sociedades y de los agroecosistemas tradicionales, puesto que puede proporcionar ideas sobre el manejo competente de ecosistemas y ayudar a la creación de alternativas agrícolas sostenibles que combinen el conocimiento tradicional y el conocimiento científico (González de Molina, 1996).

Este capítulo presenta una revisión del devenir de la agricultura, contemplando la historia de diferentes sociedades y zonas del planeta, además ofrece una reseña histórica sobre los sistemas de agricultura sostenible.

¹ Antropólogo Sociocultural. Colaborador docente, Universidad de Concepción. hmanosalvatorres@gmail.com

² Ingeniero Agrónomo. Consultor del Programa de transferencia en agricultura orgánica y agroecología. jvallejosq@gmail.com

El origen y difusión de la agricultura

La relación de la humanidad con los recursos vegetales y animales tiene larga data. Las evidencias arqueológicas presentes en distintas partes del mundo, datadas entre 15.000 a 10.000 años antes del presente (a.p.), describen tanto el consumo de plantas como de elementos provenientes de la cacería (MacNeish, 1992 citado en Casas *et al.*, 2016). Estudios realizados en Norteamérica, Mesoamérica y América del Sur levantan la hipótesis de la existencia de grupos cazadores-recolectores asentados en múltiples ambientes y con una gran variabilidad adaptativa, cuya economía se orientaba a la explotación de recursos marinos, recolección de vegetales, caza de animales de talla pequeña y media y caza especializada de megafauna (Politis *et al.*, 2009). Muchos sitios arqueológicos confirman el aprovechamiento de la megafauna que existió hasta el Pleistoceno final y el Holoceno temprano (Politis *et al.*, 2009). Se ha estimado que entre los últimos 50.000 y 7.000 años a.p., como resultado de una conjunción de factores, se extinguió el 80% de los mamíferos de más de 44 kg y el 100% de los que superaban los 1.000 kg (Barnosky, 2008 citado en Casas *et al.*, 2016). La hipótesis más aceptada indica que en su extinción fueron relevantes los cambios ambientales de finales del Pleistoceno, que impactaron a estas poblaciones de mamíferos, además de la influencia de grupos humanos, que acentuarían esta tendencia con la caza o mediante la modificación efectuada en el ambiente (Politis *et al.*, 2009). A raíz de esto se habrían intensificado los procesos adaptativos de los grupos humanos, incrementando la recolección y el consumo de vegetales, granos y tubérculos, así como la caza de animales pequeños y medianos (Casas *et al.*, 2016).

Según Casas *et al.* (2016), la agricultura es el resultado del manejo de los ecosistemas o la domesticación del paisaje y del manejo de la diversidad genética. Lo anterior también se aplica para entender la ganadería, la apicultura y otros sistemas de producción y domesticación que surgieron hace 11.000 años en el Medio Oriente y unos milenios después en otras zonas del globo. Las nuevas prácticas modificaron los modos de vida de los grupos cazadores recolectores, donde la agricultura, la domesticación y la crianza de animales trajeron consigo el sedentarismo, según G. Childe y R. J. Braidwood (citados en Casas *et al.*, 2016). La arqueología ha indicado que los inicios de la agricultura estarían en Medio Oriente, particularmente en la zona conocida como Creciente Fértil, en donde se han descrito los restos más antiguos de trigo y cebada domesticados, fechados entre 11.000 y 9.000 años a.p. Existen datos que afirman que en esta región existió una presencia progresiva de legumbres, tales como la lenteja, la arveja y el garbanzo. En el centro de México se han encontrado restos de plantas de palta, amaranto, maíz, ají y calabaza, en estratos fechados entre 10.000 y 8.000 años a.p. El cultivo del arroz se habría desarrollado inicialmente en China, hace 10.000 a 9.500 años a.p., en las cuencas de los ríos Huang-Ho y Yangtse-Kiang. La región china también ha sido considerada como sitio de origen del mijo. En la región andina se encontraron frejoles y ajíes en estratos datados entre 8.500 y 8.000 años, junto a tuberosas como papas fechadas con 8.200 años de antigüedad. En el valle del Indo se han establecido como especies

domesticadas el mijo y el centeno, con una antigüedad de 7.000 a 5.000 antes de la era común (a.e.c.) (Casas *et al.*, 2016; Parra y Casas, 2016; Amat, 2014).

La adopción de la agricultura determinó grandes cambios en la cultura, la organización social y las tecnologías de la humanidad. Esto ocurrió en un corto lapso de tiempo si se le compara con la larga tradición de miles de años experimentada por los grupos cazadores-recolectores. No obstante, algunos estudios genéticos, botánicos y arqueológicos estiman que la agricultura y la emergencia de las civilizaciones fueron posibles gracias a procesos temporales más largos que los eventos de revolución ocurridos en tiempos modernos o contemporáneos (Casas *et al.*, 2016). Por ello, autores como G. Childe y R. J. Braidwood (citados en Casas *et al.*, 2016) llamaron revolución neolítica y revolución agrícola, respectivamente, al período de sedentarización y posterior aparición de las civilizaciones. G. Childe describió la revolución neolítica como un cambio importante en la forma de vida de la humanidad, que habría ocurrido hace más de 9.000 años en el período posglaciar; este proceso significó un paso desde la caza, la pesca y la recolección, hacia una economía que producía alimentos gracias al desarrollo de sistemas de tipo ganadero y agrícola. Esta transformación no estuvo exenta de dificultades y habría tomado varios siglos e incluso milenios en concretarse. Por su parte, J. Braidwood ha manifestado una dirección opuesta a las conjeturas de base consideradas por G. Childe, señalando que la revolución agrícola ocurrió entre el 9.000 al 8.500 a.p. en el Creciente Fértil, no como una consecuencia de los cambios climáticos, sino como el punto culminante de una serie de modificaciones culturales y ambientales. Autores con experiencia en esta temática, como Flannery, Cohen, Hole, Braidwood y Howe (citados en Amat, 2014), han considerado que los inicios de la agricultura ocurrieron de manera independiente y simultánea en varios lugares del mundo que presentaban climas diferentes, en donde el cambio climático no sería el único factor incidente en su origen (Casas *et al.*, 2016; Amat, 2014). Sin embargo, esta idea ha sido criticada estableciendo que la agricultura tuvo una importante difusión (Casas *et al.*, 2016). La propagación de los cultivos se habría dado en Eurasia sobre un eje este-oeste, expandiéndose rápidamente al Cercano Oriente. Desde allí la agricultura se habría difundido hacia la zona occidental, como la cuenca del Mediterráneo y hacia oriente, al sureste de China y al subcontinente indio (Diamond, 2002; citado por Parra y Casas, 2016). Los autores señalan que el sistema productivo agropastoral del suroeste asiático es el de mayor expansión, cuya difusión se produjo hacia el oeste, a la costa atlántica del noroeste de Europa, y al este, hacia el sur y centro de Asia (Harris, 2005; citado por Parra y Casas, 2016). En contraste, los cultivos de China se difundieron de forma longitudinal e individualmente. América desarrolló procesos más complejos, en donde las prácticas de selección humana originadas en distintas regiones y culturas generarían una diversificación de los cultivos. Autores como D. Harris y J. Diamond (citados por Parra y Casas, 2016) indican que la difusión de los cultivos mesoamericanos y sudamericanos se habría dado de norte a sur o viceversa de manera longitudinal, siendo posible el contacto entre sociedades de Mesoamérica y de los Andes, en el extremo norte de Sudamérica, donde se encuentran cultivos con conjuntos genéticos de ambas regiones.

En cuanto al origen y difusión de la domesticación de las plantas, existen múltiples investigadores e investigadoras que otorgan valor a los aportes realizados por Nikolai Vavilov. En 1926 este autor propuso la existencia de ocho centros de domesticación y dispersión de plantas cultivadas, a partir del análisis en colecciones botánicas, revisiones bibliográficas y un gran trabajo de campo, para los cuales consideró aspectos como los patrones de mayor diversidad genética de las especies. Las regiones que Vavilov identificó fueron las siguientes:

- 1) Centro chino: presenta evidencias antiguas que hablan de la presencia de arroz, mijo y soya;
- 2) Centro indio: se consideran como originarios de esta zona al arroz, mijo, entre otros;
- 3) Suroeste asiático o Asia central: aquí se encuentran trigos, centenos, alfalfa, cáñamo, mijo, entre otros;
- 4) Asia menor: presenta trigo, avena, centeno, frutales, entre otros;
- 5) Centro mediterráneo: incluye cebada, trigo, uva, aceituna, plantas forrajeras y vegetales;
- 6) Centro de Etiopía: se reconocen especies de trigo, cebada, café, sésamo, mijo, granos locales y especias;
- 7) Mesoamérica o Centroamérica y sur de México: maíz, frijol, amaranto, ají, calabaza, entre otros;
- 8) Región Andina sudamericana: es el centro de origen de la papa, yuca, algodón, maní y varias otras plantas (Parra y Casas, 2016; Toledo y Barrera-Bassols, 2008).

El trabajo de Vavilov ha sido discutido por varios autores, entre ellos J. Harlan (citado en Barrera-Bassols, 2008), quien utilizó datos arqueológicos para describir la perspectiva de los centros y no centros de diversidad agrícola o de origen de plantas cultivadas. Según este autor, existirían tres espacios geográficos calificados como centros: el norte de China, Mesoamérica (México y Centroamérica) y el Próximo Oriente (Jordania, Siria, Iraq, Irán y Turquía); mientras que calificó como no centros a la franja Central de África, al Asia sur oriental y a la región Andina o América del Sur (Toledo y Barrera-Bassols, 2008).

Casas y su equipo (2016) describen los factores que motivaron la domesticación y adopción de la agricultura, para lo cual recurren a autores como K. Flannery y R. MacNeish, quienes han propuesto como motivos las presiones ejercidas en la disponibilidad de los recursos debido a los cambios ambientales o al crecimiento de la población. Indican que otros investigadores, como E. Anderson, R. Braidwood y G. Willer, C. Simth, G. Ladizinsky, M. Blumer y R. Byrne, piensan que la agricultura es el resultado de una evolución en la tecnología ligada al manejo de plantas y de sus mecanismos evolutivos, facilitando la domesticación de vegetales silvestres. También señalan que existen investigadores, como L. Binford, D. Harris, F. Hassan, K. Flannery, R. MacNeish, entre otros, que han sugerido modelos holísticos en donde el manejo de plantas, animales y su domesticación tienen múltiples causas y contextos. Destacan las presiones ejercidas en los recursos y el avance de la tecnología, que permite el manejo de animales y plantas.

Toledo y Barrera-Bassols (2008) consideran que la revolución agrícola o neolítica generó un número importante de animales y plantas domesticadas, a lo que se sumó el nacimiento de nuevas variedades y razas gracias a la acción humana, lo cual produjo un aumento de la biodiversidad existente hasta ese momento. Estos aspectos han sido considerados como una contribución de la humanidad y a la diversidad en el planeta.

La agricultura en algunas antiguas sociedades complejas del planeta

Las antiguas sociedades complejas desarrollaron diversos sistemas agrícolas, cada una de ellas con tecnologías, conocimientos y prácticas adaptadas a su medio. En esta sección se presentan casos que describen la configuración de la agricultura en distintos espacios geográficos, abarcando una secuencia que va desde varios milenios antes del presente hasta la primera mitad del siglo XVI.

El desarrollo de la agricultura en el antiguo Egipto

El antiguo Egipto se desarrolló en un desierto que comenzó su formación hacia el 6.000 a.p. El clima en el Alto Egipto es cálido y seco, en el delta del Nilo hay más lluvias y las temperaturas son moderadas, y en el litoral existe un clima mediterráneo. Los primeros pastores y agricultores en la zona del valle del Nilo han sido registrados en el año 8.000 a.p. Existen algunas trazas que revelan la presencia de especies domesticadas en el medio Oriente, como la escaña menor, el trigo almidonero silvestre y la cebada (Mazoyer y Roudart, 2016). Katary (2013) menciona que existen pocos sitios arqueológicos que describen el proceso de transición desde la caza y recolección hacia la agricultura. Los registros más tempranos que evidencian el desarrollo de la agricultura en Egipto corresponden a fines del sexto milenio a.e.c y se ubican en el delta del río Nilo, en el yacimiento de *Merimda Beni Salama* (5.000-4.100 a.e.c.). El sitio arqueológico muestra que en su nivel más temprano se desarrolló una economía que probablemente mezcló la agricultura, la cría de ganado (cerdos, reyes y ovejas), la caza y la pesca. Con el paso del tiempo la agricultura continuó siendo la base económica de esta ocupación, la caza y la pesca siguieron presentes, pero paulatinamente el ganado adquirió más relevancia (Shaw, 2007). En el bajo Egipto la vida en aldeas y la agricultura estuvieron presentes aproximadamente desde el año 4.100 a.e.c., con la cultura *El-Omari*. Unos siglos después esto también se presentaría en el alto Egipto con la cultura *Badariense* y *Nagada I*, como resultado de la difusión de conocimientos y productos por el valle del Nilo (Katary, 2013). Mazoyer y Roudart (2016) complementan esta información al indicar que las antiguas poblaciones saharianas y medio orientales que arribaron a la zona hace 5.500 años a.p. se habrían instalado en el perímetro o promontorios naturales del valle, comenzando las actividades de roza y labranza. Desarrollaron una vida en estrecha relación al río Nilo y sus crecidas, las que cuando ocurrían hacían lucir como islotes a las aldeas, que eran protegidas de posibles desastres con la construcción de murallas de tierra. Los habitantes descubrieron la forma de aumentar los rendimientos del suelo: gracias a una selección y manejo de cultivos dispondrían del complejo agrícola oriental con especies como la cebada de invierno, trigo almidonero, escaña menor, arveja, lenteja, lino, vicia, etc., junto con hachas de piedra, hoces de láminas, artefactos de molienda, alfarería, etc. (Katary, 2013; Mazoyer y Roudart, 2016).

Sin duda, la inundación anual del Nilo repercutió en el desarrollo de la agricultura, además de ser la base de la estructuración del calendario egipcio con la formación de tres estaciones. Primero estaba *akhet* (la crecida o inundación), que ocurría entre julio y octubre cuando las aguas de la inundación cubrían las fértiles riberas y los canales podían ser utilizados para irrigar tierras mucho más altas. Luego *peret*, entre noviembre y marzo, ideal para los cultivos de decrecida de invierno, el trabajo de arado, de siembra y la germinación de las plantas. Finalmente estaba *shemu*, la estación seca, que se prolongaba desde marzo a julio, correspondiente al período de la cosecha (Katary, 2013; Mazoyer y Roudart, 2016; Moreno, 2021).

Se ha descrito que para inicios del sexto milenio a.p. (período comprendido entre el 6.000 y 5.000 a.p.), probablemente fueron construidos los primeros estanques de decrecida para evitar las crecidas del río, los aluviones y también para asegurar la provisión de agua (Mazoyer y Roudart, 2016). Katary (2013) señala que al término del período predinástico, el riego por cuenca o inundación se utilizaba para controlar de manera natural el agua disponible con la inundación generada por el Nilo. Además, los terrenos altos eran irrigados por medio de canales. Mazoyer y Roudart (2016) mencionan la hipótesis de que hacia mediados del sexto milenio, al alero de las primeras ciudades-Estado, la construcción de estanques se habría hecho cada vez más extensa. En pequeños semitramos del valle, ubicados a ambos lados del río, se acondicionaron estanques sucesivos en forma cuadrangular separados por diques y escalonados siguiendo dos patrones: cadenas de estanques en disposición transversal y cadenas de estanques longitudinales. Estas obras requerían una gran planificación y coordinación centralizada, por lo que se piensa que las comunidades de campesinos, los principados y federaciones de comunidades implementaron la organización que se usaría en tiempos faraónicos.

Mazoyer y Roudart (2016) mencionan que durante el Estado faraónico las ciudades-Estado de mayor poderío sometieron a las más débiles. A fines del sexto milenio a.p. se constituyeron dos reinos, el Alto Egipto (reino del sur) ubicado en el valle y el Bajo Egipto (reino del norte) instalado en el delta. El reino del sur impuso su dominio sobre el norte, 5.200 años a.p. El Egipto faraónico que se desarrolló entre el 3.000 y el 664 a.e.c. ha sido descrito como un período en que la mayoría de sus dataciones se basan en antiguas listas de reyes y en registros astronómicos (Shaw, 2007). Basándose en datos arqueológicos, documentos históricos y otras fuentes, hay trabajos que describen la agricultura, sus principales características y también levantan algunas hipótesis sobre su funcionamiento y organización. Moreno (2021) detalla que en Egipto de esa época el paisaje permitió el florecimiento de una agricultura productiva, ya que la inundación generada por el Nilo renovaba constantemente la fertilidad del suelo. Cuando terminaba la inundación, los pantanos y cursos de aguas menores proporcionaban el recurso hídrico a la tierra, permitiendo el desarrollo de actividades de pastoreo, agrícolas y pesqueras. En el valle los espacios aledaños a los cursos de agua permitieron emprender la horticultura, mientras que en los terrenos libres se efectuó el pastoreo. Las áreas más altas

y con inundaciones irregulares eran aptas para la producción de cereales; en estas tierras generalmente se aplicaba un barbecho anual. Las zonas ubicadas en el punto más alto de la inundación permitieron el desarrollo de huertos de árboles, a condición de contar con una fuente de agua permanente.

En cuanto a los sistemas de riego no existen rastros que especifiquen un control centralizado de la inundación o de un sistema de irrigación; en efecto, los diques y canales de riego son poco frecuentes en las fuentes documentales y arqueológicas (Moreno, 2021). Tal como ya se ha mencionado, el riego de los campos dependía de la inundación; mediante pozos y estanques naturales cerca de los asentamientos se contribuyó a la agricultura y a las plantaciones de árboles y jardines. Una importante tecnología implementada en esta materia fue la introducción del *shaduf* en la mitad del segundo milenio a.e.c. Este artefacto servía para elevar el nivel de agua del río hacia los canales, posibilitando el riego de pequeños huertos y de cultivos especializados. Se piensa que su uso fue restringido debido a sus altos costos laborales y a que solo permitía el riego de espacios limitados (Moreno, 2021; Bunson, 2002).

En cuanto a las especies cultivadas, destacan el trigo almidonero, trigo emmer, escaña, y cebada. Se ha indicado al trigo emmer y a la cebada como los cultivos más relevantes, incluso hasta la época grecorromana. El primero, fue utilizado para elaborar el pan; mientras que con la cebada se preparaba el pan, la cerveza y se alimentaba a los animales. El lino fue otro cultivo relevante, ya que tenía un rol central en la confección de prendas y su aceite era útil para cocinar e iluminar. Cultivaron hortalizas y legumbres como cebollas, ajos, apios, lechugas, garbanzos, lentejas, rábanos, guisantes, habas y varias hierbas. Además, estaban presentes en el antiguo Egipto la granada, el algarrobo, el higo, la vid, la palmera datilera, la palmera dum, la ciruela, entre otros (Moreno, 2021; Mazoyer y Roudart, 2016; Bunson, 2002; David, 2003; Katary, 2013).

La agricultura no fue la única actividad económica ya que también se desarrolló la cría extensiva de ganado (cerdos, aves, ovejas, cabras, reses, entre otros), la recolección de frutas y planta silvestres, la recolección de miel desde colmenas y la pesca con redes y cañas (Moreno, 2021; Bunson, 2002). Las aceitunas se consumían como alimento y con ellas se elaboraba el aceite que se usaba para iluminar. Sin embargo, por la dificultad en su cultivo y su producción limitada, se restringió el uso de aceite únicamente a la elite (Katary, 2013; Moreno, 2021). El cultivo de la vid se orientó para su consumo en fresco y para la elaboración de vinos tintos y blancos, que derivaban de la fermentación del zumo y su almacenamiento en tinajas de barro. Su consumo se daba en la vida cotidiana de la elite, se utilizaba en medicina y como ofrendas en cultos funerarios y divinos (David, 2003; Bunson, 2002; Katary, 2013).

Según indican las diferentes fuentes históricas, en el antiguo Egipto el cultivo incluía labores de desmalezado, labrado, siembra y cosecha. Las quemadas para eliminar malezas y matorrales

también han sido descritas. En el labrado se ocupaban azadones y arado tirados por bueyes, dependiendo en gran medida del espacio cultivado. El arado fue indispensable para trabajar grandes extensiones y su implementación es atribuida a instituciones, campesinos ricos y terratenientes que podían mantenerlo (Moreno, 2021; Katary, 2013). La siembra se realizaba formando surcos de poca profundidad en donde se colocaban las semillas, además se efectuaba la siembra al voleo. Luego se llevaba el ganado a los campos para apisonar las semillas. Se realizaba rotación de cultivos, por ejemplo alternando cereales con forrajes (Bunson, 2002; Katary, 2013; Mazoyer y Roudart, 2016; Moreno, 2021). Utilizaban hoces para cosechar los campos de cereales, las legumbres y otras cosechas, que luego eran trasladadas a zonas de almacenamiento en donde se molía el grano. Solían cortar los cereales con poca paja, dejando rastrojos en los campos para alimentar animales y así aportar materia orgánica al terreno (Bunson, 2002; Moreno, 2021).

Mazoyer y Roudart (2016) ofrecen una descripción de la organización social en el Estado faraónico, encabezada por el faraón, quien era secundado por un visir y luego múltiples funcionarios, entre ellos los escribas y un estrato de sacerdotes. El grupo campesino estaba compuesto por familias reunidas en grandes aldeas, tenían una vivienda, una parcela pequeña, un estanque, aves de corral y en algunos casos vacas, ovejas, cabras y asnos. Asimismo, existieron artesanos y obreros que trabajaban en las grandes edificaciones, junto con una pequeña población de esclavos, mayormente extranjeros, que trabajaban en minas y canteras. El campesinado estaba sometido a un tributo en trabajo, cultivaban las tierras reales, las de sacerdotes y de altos funcionarios; además participaban en las grandes edificaciones. Los templos han sido considerados como verdaderos nodos económicos y sociales, que permitirían la articulación de las relaciones que unían a la realeza, las elites y al campesinado (Moreno, 2021). Los campesinos pagaban un impuesto en especies (cosecha o ganado) que eran almacenadas por el Estado y cuya finalidad era alimentar al faraón y sus cercanos, al ejército, a los artesanos y a los campesinos que trabajaban en las obras estatales. El Estado faraónico concentró diferentes poderes, garantizando funciones técnicas y económicas; realizó obras grandiosas como estructuras hidráulicas, templos, palacios, pirámides, etc. La decadencia del antiguo Egipto ocurrió cuando Alejandro de Macedonia lo conquistó en el 333 a.e.c. e instaló el dominio heleno hasta el año 30 a.e.c., cuando Egipto fue anexado al Imperio romano (Mazoyer y Roudart, 2016).

La agricultura en la antigua China

Tauger (2011) menciona que la agricultura China se desarrolló en el Asia monzónica, en un clima con lluvias que se prolongaban durante el verano y hasta finales del otoño. Al suceder el evento de El Niño (alza en la temperatura del océano Pacífico), en China las lluvias monzónicas pueden tener corta duración o no presentarse, provocando sequías y crisis en los cultivos;

mientras que con La Niña (baja en la temperatura del océano Pacífico), se puede generar un monzón fuerte y prolongado, con inundaciones. Por ello, la historia de la China imperial, comprendida entre el 200 a.e.c. y 1911 de la era común (e.c.), se caracterizó por continuos desastres como inundaciones, sequías e infestaciones en algún lugar de su territorio. En el presente apartado se realiza una revisión histórica que contempla aspectos que van desde el surgimiento de la agricultura hasta el término de la dinastía *Han*, en el siglo III e.c.

A partir de investigaciones arqueológicas se ha descrito que el origen de la agricultura china es tan antiguo como en el Próximo Oriente o América (Amat, 2014). Posiblemente la agricultura temprana se desarrolló en el norte de China, en el año 8.000 a.e.c. durante el período neolítico. No obstante, los datos arqueológicos la sitúan en la zona en el 5.500 a.e.c. De hecho, se ha establecido que el surgimiento de la agricultura en el valle del río Amarillo sería el resultado de un proceso de difusión originado en el sudeste asiático, pasando por sur y centro de China (Stentiford, 2010). Además, se ha estimado que el mijo, pilar fundamental en la dieta temprana china, fue domesticado de forma local (Stentiford, 2010; Parra y Casas, 2016). La primera economía china predominantemente agrícola fue desarrollada por los grupos de la tradición cultural *Yangshao*, hace aproximadamente 7.000 años a.p. (Amat, 2014). Stentiford (2010) describe que esta cultura fue una entre varias que dieron origen a la cultura china y permite comprender la transición desde la caza y recolección a una agricultura sedentaria. *Yangshao* se desarrolló entre el 6.000 y el 1.500 a.e.c., en un ambiente de tipo semiárido en las tierras altas del valle del río Amarillo, en ese momento estas regiones contaban con un suelo loess que permitió el desarrollo de la agricultura. Cultivaron el mijo y criaron cerdos, cabras y ovejas, complementando su alimentación con lo que obtenían de la caza y la pesca. Confeccionaron herramientas de madera, hueso y piedra hasta el arribo del bronce aproximadamente en el año 2.000 a.e.c. La cultura *Yangshao* ha sido reconocida en el norte de China, siempre junto al río Amarillo y sus afluentes. En el este, esta cultura se solapó con la cultura neolítica llamada *Longshan*. El autor menciona que *Longshan* también es importante para comprender el florecimiento de la agricultura en la China de la antigüedad. Este grupo se desarrolló entre el 4.000 y el 2.000 a.e.c. manifestando un proceso de transición de una agricultura de tala y quema en las colinas, a una agricultura sedentaria en las llanuras aluviales. Existe un debate sobre la relación que existe entre la cultura *Yangshao* y la cultura *Longshan*, ya que no hay acuerdo en si esta última es un desarrollo posterior a la primera, o si se dio de forma completamente separada. Stentiford (2010) detalla que la población *Longshan* cultivó el mijo y crió cerdos, además poseían perros domésticos y bueyes. Aprendieron a elaborar la seda, conocimiento que ha identificado a China durante milenios.

Tauger (2011) explica que el desarrollo de la agricultura se dio en dos contextos diferentes. En el norte de China se cultivó mijo, soja, porotos, cebada, cáñamo, trigo y hortalizas, junto a la crianza de cerdos, bueyes, ovejas, caballos, pollos y perros. En el sur se cultivó arroz solo cuando un gran número de campesinos migró allí, en los años 206 y 220 e.c. En cuanto a la

estructura agraria, detalla que entre el 1.000 al 600 a.e.c. gran parte del campesinado chino dependía de los terratenientes locales, quienes tenían derecho a una parte importante de su producción y sirvieron a gobernantes regionales en un sistema similar al feudalismo. Los agricultores cultivaban los campos siguiendo un patrón similar al juego del gato o *tíc-tac-toe*, conocido como *tsing tien* o sistema *well-field* chino, estableciendo de forma individual cultivos en los cuadrados exteriores y colectivamente en el cuadrado central, en donde producían para el terrateniente. Los antecedentes históricos evidencian que durante el siglo VIII a.e.c., la dinastía *Chou* declinó en el poder y China se separó en numerosos Estados pequeños. Luego en el 594 a.e.c., uno de estos Estados decretó un impuesto territorial que el campesinado pagó con sus ingresos, denotando su independencia frente a los terratenientes. En la agricultura se implementó el arado con adiciones de hierro y tirado por bueyes, lo cual permitió trabajar las llanuras del norte. Hacia el siglo IV a.e.c. el sistema o modelo del *well-field* chino, inició su declive por el agotamiento de los suelos. En consecuencia, muchos agricultores no pudieron sustentarse y quedaron bajo el dominio de los grandes terratenientes o abandonaron sus tierras. Carter (2010), expone que entre el 475 y el 221 a.e.c. se desarrolló el período *Chan-Kuo* o período de los Reinos o Estados Combatientes. Todos los Estados incluyeron el hierro en sus armas y en rústicos implementos para limpiar y labrar. Sus cultivos fueron irrigados y fertilizados, adaptándose a las estaciones y condiciones del suelo imperantes.

El reino de *Qin* estableció su supremacía al implementar una serie de decretos o reformas sociales y políticas, dando por finalizado el período de los Reinos o Estados Combatientes. En primer lugar, transformó la tierra en propiedad privada eliminando el sistema de *well-field*, lo cual generó que los pequeños agricultores fueran mucho más relevantes; esto repercutió en el cambio desde una sociedad feudal hacia una monarquía. El poder militar de este reino se incrementó al entregar tierras públicas a inmigrantes y agricultores para que erigieran sus granjas, permitiéndoles tener el tiempo para mejorar su condición social mediante la prestación de servicios de tipo militar. Posteriormente, el desarrollo de la agricultura y el crecimiento de la población hicieron prevalecer al reino y dinastía *Qin*, formando el primer imperio chino unificado en el año 221 a.e.c. El emperador extendió las reformas a toda China, con la finalidad de hacer uso de la productividad de los campesinos; no obstante, la dinastía *Qin* fue derrotada por una rebelión campesina y se instaló en el año 206 a.e.c. la dinastía *Han*, de origen campesino, creando un imperio que se desarrolló por más de 400 años hasta la irrupción de la dinastía *Xin*, entre el año 9 y el 23 e.c. (Carter, 2010; Tauger, 2011).

La dinastía *Han* se dividió en la dinastía *Han Occidental* (206 a.e.c. al 23 e.c.) y en la dinastía *Han Oriental* (25 al 220 e.c.). Durante el período de la dinastía *Han*, la agricultura tuvo sus cimientos en pequeñas granjas provistas de riego y fertilización, además de establecer sus cultivos respetando las características naturales del suelo. Los grupos de agricultores *Han* utilizaron rústicos implementos de hierro para labrar sus campos, cuyos cultivos eran de número acotado, entre ellos: cebada, trigo, mijo, arroz, frijol, cáñamo, calabaza, sésamo,

mora, etc. Las granjas se tornaron mucho más productivas gracias a un paulatino avance de los implementos agrícolas y a la rotación de cultivos. También se desarrollaron dos nuevas técnicas para el cultivo de secano y una nueva técnica en el cultivo de arroz. En el cultivo de secano surge el método *dai tian* de cultivo de lomas o camellones (*ridge farming*), consistente en arar para hacer surcos junto a los cuales se apilaba la tierra removida, creando camellones; concluido el proceso depositaban las semillas en los surcos y luego empujaban paulatinamente la tierra hacia adentro, conforme las plantas se iban desarrollando. Otro método ideado en esta época fue el *ou zhong* de cultivo de pozo o fosas (*pit farming*): se cavaban pequeños pozos cuadrados en las parcelas, estableciendo en ellos cultivos con una buena fertilización e irrigación. Esta técnica facilitó el trabajo de las tierras en donde era difícil utilizar el arado y contribuyó a aumentar sus rendimientos. En cuanto al cultivo de arroz, se ha referido que en el norte de China se cultivaron plantines o plántulas de arroz en un vivero, mientras otros cultivos se desarrollaban y cosechaban. Cuando las pequeñas plantas llegaban a un desarrollo adecuado, se plantaban en los campos que habían sido inundados y, de esta manera, se cosechaba el arroz después una breve temporada de crecimiento. Durante el siglo I a.e.c. la dinastía *Han* se destacó por idear e implementar una serie de políticas para la creación de sistemas de riego, lo que fue propiciado por un aumento demográfico y por las demandas de los cultivos de trigo y arroz, que elevaron de forma importante los requerimientos hídricos. De esta manera, se generaron proyectos de riego que utilizaban tecnología para la construcción de represas, canalización en los campos, sifones, ruedas hidráulicas y dispositivos para subir agua desde niveles más bajos (Carter, 2010).

Tauger (2011) reseña que en el año 7 e.c., un alto oficial chino llamado *Wang Mang* tomó el poder y fundó la dinastía *Xin*. Este gobernante intentó nacionalizar las tierras y limitar la cantidad que podían poseer los diferentes grupos sociales, además trató de eliminar la comercialización de esclavos. Sus reformas fueron difíciles de implementar y encontraron la resistencia de los terratenientes. En el año 11 e.c. ocurrió la gran catástrofe del río Amarillo, provocando inundaciones que cortaron los contactos externos de la península de Shandog e hicieron colapsar las reservas gubernamentales. Los/as campesinos/as, arruinados/as y hambrientos/as, se rebelaron contra las autoridades provinciales. Tras ello, la dinastía *Han* fue restaurada en el poder durante el año 24 e.c.

La tecnología del hierro experimentó un importante avance con el advenimiento de la dinastía *Han* Oriental: se fabricaron arados de diversos tamaños, con nuevos materiales y diseños; se crearon artefactos que araban mucho más profundo y que facilitaban la puesta en práctica de métodos como el *dai tian*, siendo el arado largo tirado por bueyes el más utilizado; se crearon implementos agrícolas de alta calidad como las hoces, palas y azadones de hierro, que contribuyeron a mejorar los procesos en la agricultura. No obstante, este tipo de innovaciones no habrían llegado a los agricultores más pobres. Durante los siglos I y II e.c., muchas personas pasaron de la agricultura a la artesanía y al comercio, marcando una división de clases

sociales. Los problemas continuaron y los/as campesinos/as, sobrecargados por los impuestos, se rebelaron en el año 184 e.c., generando una serie de guerras civiles que terminaron con la dinastía *Han* en el 220 e.c. (Carter, 2010; Tauger, 2011).

El sistema agrario griego

El presente apartado describe el sistema agrario griego entre el año 1.200 y el 300 a.e.c., contemplando elementos como la estructura agraria, la historia económica y social y las características de la agricultura en general. En cuanto a sus aspectos geográficos y climáticos, la antigua Grecia se desarrolló en una región boscosa y de suelos rocosos, con un clima fresco y lluvioso en otoño e invierno, mientras que en el verano era cálido y seco. Presentaba suelos delgados, exceptuando la provincia de Mesenia, ubicada al sur del Peloponeso, y la región central de Tesalia (Tauger, 2011).

El período descrito comienza con el fin de los sistemas palaciegos, en el período de la Edad de Bronce Reciente o también conocido como el Heládico Reciente (Pomeroy *et al.*, 2011). Este tipo de sistemas significó importantes efectos para el funcionamiento agrario. Los palacios, como por ejemplo el reconocido palacio Micénico, requerían un flujo constante de ingresos fiscales e impuestos y mano de obra para distintas actividades. Estas necesidades se satisfacían gracias a las comunidades que se encontraban presentes en su territorio. Con el tiempo las relaciones entre las comunidades locales y el palacio constituyeron un complejo sistema de acceso a la tierra y a los productos que se generaban en ella, en donde las comunidades mantuvieron su libertad, autonomía y derechos sobre la tierra. Los palacios, para satisfacer sus necesidades, desarrollaron las obligaciones individuales y colectivas o fiscales. Parte de la población se hizo dependiente de los vínculos con el sistema palaciego, tal fue el caso de los soldados y funcionarios religiosos (Pagnoux y Zurbach, 2021). Con la desaparición de los sistemas palaciegos se produjo una reconfiguración de los roles, de la participación y de los derechos de todos los habitantes. Los estratos más altos se desvanecieron, mientras que los estratos más humildes comenzaron a buscar su lugar en la nueva estructura. Se ha sugerido que los grupos de campesinos/as que fueron dependientes de este sistema continuaron trabajando la tierra durante los años venideros, en la *Época Oscura* (1150-750 a.e.c.), pero sin entregar sus excedentes a la estructura de gobierno palaciega. El resultado de este proceso fue la conformación de una comunidad que entre los siglos VIII y VII a.e.c. fue llamada *demos*. Con la desaparición de los palacios hubo una importante movilidad de bienes, pero también hubo conflictos internos entre aristócratas y no aristócratas (Isager y Skydsgaard, 1992; Pagnoux y Zurbach, 2021).

Según se ha descrito, en el año 1180 a.e.c. comenzó un período caracterizado por una completa desaparición de la escritura, a raíz de esto las nociones que los griegos tenían sobre

épocas pretéritas no son muy detalladas. Surgieron múltiples formas de Estado, desde el reino Frigio hasta las ciudades-Estado y etnias, modificando totalmente la estructura política de la zona. Sin duda, la comunidad agraria griega vivió importantes cambios a partir del 1.200 a.e.c., los cuales perduraron hasta la aparición de las ciudades-Estado. Enfrentadas a conflictos sociopolíticos relacionado con el acceso a la tierra, a la producción y a la mano de obra que en ella trabajaba, las antiguas comunidades agrarias se transformaron en las ciudades-Estado (Isager y Skydsgaard, 1992; Pagnoux y Zurbach, 2021).

El término *polis* fue el utilizado para designar a esta comunidad sociopolítica surgida durante el siglo VIII a.e.c., que estaba compuesta por un asentamiento principal y varias zonas rurales cercanas. Durante siglos esta fue la principal forma de comunidad griega, llegando a contarse cientos de ellas en el siglo V a.e.c. (Pomeroy *et al.*, 2011). Gallego (2004), señala que el desarrollo de la agricultura en la Grecia antigua fue uno de los pilares para la formación de las *polis* como una organización social. No es casual que los inicios de las *polis* estuvieran estrechamente ligados a la expansión de las prácticas agrícolas, que se enmarcaban en la granja familiar intensiva presente en las bases de las ciudades-Estado entre los siglos VIII al IV a.e.c. Durante la época arcaica, las ciudades-Estado tomaron medidas de protección para resguardar el hogar familiar de la apropiación de tierras, estableciendo límites para las hipotecas y las riquezas generadas a partir de la tierra, por esto se afirma que en este período la familia constituyó la unidad básica de producción y de residencia. También se ha descrito que en esta época se habría producido una diversificación de la mano de obra, particularmente en el siglo VII a.e.c., y prueba de ello es que los hogares aristocráticos generalmente contrataban mano de obra para realizar labores de cosecha, aunque también hubo familias que preferían a los esclavos para realizar la mayor parte del trabajo agrícola (Pagnoux y Zurbach, 2021).

Tauger (2011) explica que los agricultores griegos fueron la base de los sistemas políticos y militares, participando en guerras para expandir las fronteras o bien defender su territorio entre los períodos de siembra y cosecha; cuando concluían su labor guerrera volvían al trabajo agrícola. Menciona que los griegos emplearon dos tipos de sistemas agrícolas. El primero se desarrolló en Esparta entre los años 600 y 400 a.e.c., fue de carácter servil, basado en el trabajo de servidumbre de una población vecina a la que se imponían mediante la conquista y mantenían sometiéndolos a la violencia. Pagnoux y Zurbach (2021) indican que este proceso de conquista sería una medida de solución para las crisis internas, relacionadas a elementos como la mano de obra y la tierra. Llamaron *ilotas* a los grupos conquistados, que los griegos definían como un colectivo entre libre y esclavo. Fueron considerados propiedad de los espartanos y empleados para cultivar las tierras de familias espartanas, a quienes entregaban la mitad de sus productos. Además, se ha sugerido que habrían vivido en aldeas aisladas (Tauger, 2011; Pagnoux y Zurbach, 2021). Tauger (2011) menciona que el segundo sistema agrícola fue desarrollado por Atenas. Este se basó en fincas de propiedad privada de múltiples tamaños, que contaban con una importante mano de obra contratada y esclavos. Fueron los agricultores acomodados

quienes formaron las haciendas de mayor tamaño. Este autor indica que durante el año 600 a.e.c. Atenas afrontó una crisis social y económica que derivó en que muchos atenienses se convirtieran en *hektemoroi* y otros en esclavos. Las autoridades marcaron a los *hektemoroi* con piedras *horoi*, señalando que sus cultivos no podían ser comercializados al estar comprometidos con acreedores. Se ha mencionado que la esclavitud por deudas habría surgido en Atenas cuando los *hektemoroi* dejaron de ser la forma en que los ricos explotaban el trabajo de los más pobres, fue entonces cuando recurrieron a la esclavitud por deudas, de este modo los grupos de personas convertidos en esclavos podían ser vendidos en el extranjero sin la posibilidad de recuperar su libertad (Pagnoux y Zurbach, 2021). En el año 594 e.c., el arconte Solón estableció una serie de reformas, entre ellas anuló las deudas y contratos indicados por las piedras *horoi*, al igual que los préstamos sobre la seguridad de las personas; liberó y repatrió a los esclavos por deudas; hizo a la economía ateniense más comercial al fomentar la exportación de aceite y aceitunas, pero prohibió la exportación de otros productos agrícolas. Sus políticas obligaron a los agricultores más pobres a pagar sus deudas entregando sus tierras, convirtiéndose en jornales o arrendatarios que trabajaban para grandes terratenientes (Tauger, 2011).

En la Edad de Bronce habría existido una agricultura de subsistencia diversificada con cultivos de cereales y legumbres. Además, en adelante, se cultivaron diferentes variedades de vid y olivo, y desde el final de la Edad de Bronce hasta el final del Arcaico se habría desarrollado una agricultura diversificada, con base en la mano de obra humana y asociada al pastoreo que no era la principal actividad, exceptuando las regiones montañosas de Grecia. La diversificación permitiría el aprovechamiento de diferentes nichos ecológicos, obligando a una organización adecuada de los ciclos de trabajo agrario (Pagnoux y Zurbach, 2021; Gallego, 2004). Las investigaciones indican que los antiguos griegos se adaptaron al clima mediterráneo estableciendo diversos cultivos. La cebada era el cereal más frecuente y lo cultivaban por su capacidad de adaptación a los suelos rocosos y delgados. Cultivaron distintas variedades de trigo como el emmer y el eikorn, además del espelta. El mijo, la vid y el olivo han sido documentados desde períodos tempranos. Las legumbres, lenteja, arveja amarga (cocidas al vapor eran aptas para el consumo), guisante, habas y garbanzo estaban presentes. Entre las frutas, granada, pera, higos y manzanas. Los griegos cultivaron hortalizas como repollo, apio, nabo, cebolla y ajo. Cabe mencionar que también criaban ovejas, cerdos, vacunos y aves de corral, además de desarrollar otras actividades económicas (Pagnoux y Zurbach, 2021; Isager y Skydsgaard, 1992; Gallego, 2004; Tauger, 2011).

Respecto a las prácticas agrícolas, se ha detallado que los griegos desarrollaron un sistema bienal, además implementaron cultivos de invierno y de primavera, estos últimos considerados de emergencia cuando no se sembraba en invierno (Isager y Skydsgaard, 1992). El desarrollo de la agricultura de cereales implicó la preparación del suelo, establecimiento y desarrollo de cultivos, cosecha, procesado y almacenamiento (Pagnoux y Zurbach, 2021). El trigo era un cultivo de invierno (Tauger, 2011; Gallego, 2004), se araba en primavera, cuando iniciaba la

temporada de lluvia en otoño se realizaba la siembra a mano, en un campo que había estado en barbecho, con un suelo rico en nutrientes. Las plantas se desarrollaban hasta la primavera cuando se realizaba la cosecha con hoces. Las espigas eran llevadas al hogar en donde se realizaba la trilla con animales de tiro alrededor de la era. Los granos se almacenaban y procesaban, mientras que la paja se guardaba en graneros (Tauger, 2011; Isager y Skydsgaard, 1992). La vid y el olivo daban menos trabajo que el cultivo de cereales, pero igualmente debían ser preparados con mucho cuidado (Gallego, 2004).

Los implementos agrícolas utilizados en la antigua Grecia fueron confeccionados mayormente en madera, siendo utilizados en distintas actividades, desde la preparación de la tierra hasta el procesado de las cosechas. En la preparación del campo se describe el uso del arado *ard*, el que es definido como una herramienta simétrica que abre el suelo moderadamente, dejando prácticamente un rasguño en el suelo. Fue llamado por algunos/as investigadores/as como arado dental o de tipo dental (*bow ard*) y su forma era bastante particular ya que sus componentes se encontraban fijados a una pieza de madera muy maciza. Los registros arqueológicos muestran que la reja de arado podía estar hecha de bronce o de hierro. Su uso se habría extendido incluso hasta tiempos recientes en zonas montañosas de Grecia. En el trabajo manual de labrado de la tierra se utilizaban palas, el azadón (*makele* o *makella*) y un azadón de dos puntas (*dikella*); mientras que para la cosecha recurrían a la hoz. En la fabricación del vino procesaban las uvas en una tabla de prensado que tenía un canal que se inclinaba levemente hacia adelante. En el siglo V a.e.c. se distingue su confección en piedra (Tauger, 2011; Pagnoux y Zurbach, 2021; Isager y Skydsgaard, 1992).

La agricultura incaica

La sociedad incaica antes de la colonización española se extendió por los territorios actuales de Chile, Ecuador, Bolivia y Perú. Abarcó desde la costa pacífica desértica hacia la montaña andina fría y semiárida, incluyendo su vertiente amazónica que era mucho más cálida, húmeda y boscosa (Mazoyer y Roudart, 2016; Lorandi y del Río, 1992). La agricultura desarrollada por el Estado incaico fue el resultado de un largo proceso de desarrollo de miles de años, el cual implicó diferentes formas de trabajo que repercutieron en el nacimiento de complejos sistemas tecnológicos (Bolaños, 1991). Para realizar una completa descripción de los procesos agrícolas, sociales y culturales que alcanzaron su punto más alto con el Estado incaico, se pondrá atención en el área cultural de los Andes Centrales, la que marca una fuerte influencia sobre el área septentrional y centro-sur.

Desde una perspectiva general, es posible afirmar que la agricultura ha sido una de los ejes fundamentales de la formación social andina, presentando un largo devenir histórico y que se ha expresado en el ámbito social, político y cultural. Para encontrar una explicación al florecimiento

de la agricultura prehispánica se debe observar lo ocurrido durante el Período Arcaico (5.000-1800 a.e.c.), el cual presentaba una economía de caza, recolección y pesca, en donde se cogían vegetales selectivamente, se conocían especies como el maíz y el algodón, pero sin generar grandes modificaciones al medioambiente. Este período, en cierta medida, fue favoreciendo la recepción y adopción de la agricultura. En su etapa tardía, se distingue una jerarquía en la sociedad y la ocurrencia de complejos arquitectónicos con fines religiosos (Bolaños, 1991; Silva, 2000). El Período Formativo (1800-200 a.e.c.) se caracterizó por la presencia de la agricultura, desplazando al antiguo modo de vida del Arcaico. Además, la sociedad andina se comienza a estratificar, al dividirse en clases sociales, con la aparición de los primeros señoríos teocráticos. Asociados a centros urbanos surgen los primeros sistemas hidráulicos. En este período se puede mencionar la presencia de sitios que se asocian a la cultura Chavín (Bolaños, 1991; Silva, 2000; Rostworowski, 2014). En el siguiente período, designado como el de los Desarrollos Regionales, ubicado entre el 200 a.e.c. y 600 e.c., ocurre el proceso de transformación agrícola de los paisajes asociado a la expansión de los antiguos y nuevos Estados. Por ello fueron necesarias nuevas áreas de cultivo, una mayor fuerza de trabajo y una planificación de los sistemas hidráulicos. En este espacio de tiempo coexistieron sociedades política y culturalmente autónomas, lo que se evidenciaba en sus estilos arquitectónicos y cerámicos. Entre las sociedades que se desarrollaron en el período se puede mencionar a *Moche* y *Nazca* (Bolaños, 1991; Silva, 2000). Ha sido descrito que en el área centro-sur de los Andes emerge la cultura *Tiwanaku* (200-1.000 e.c.), impulsando el uso de camellones y terrazas agrícolas. Desde el 600 e.c. surge *Wari*, conocido por varios autores clásicos como el primer imperio andino. Aquí se perfeccionan los sistemas hidráulicos, se mantiene un sistema para controlar y organizar los recursos y los alimentos (Bolaños, 1991). Luego se desarrolla el período de los Estados Regionales Tardíos (1.100-1.420 e.c.), manifestando una intensa transformación del paisaje, con la finalidad de mantener la productividad agrícola. Los sistemas de riego fueron aún más extensos que en períodos anteriores, aumenta la expansión en búsqueda de terrenos cultivables, al igual que la complejización social. En este período se presentan importantes desarrollos regionales como lo fueron *Chimú*, *Chincha*, *Chanca* y los Reinos Altiplánicos, entre otros (Bolaños, 1991; Silva, 2000; Rostworowski, 2014). Finalmente, se encuentra el período *Inca* (1420-1535 e.c.) caracterizado por el surgimiento del *Tawantinsuyu* y por ser el último período prehispánico. Aquí se daría una agricultura de características monumentales, gracias a un complejo sistema de administración agrícola que tenía su base en el control de una importante fuerza de trabajo (Bolaños, 1991).

Respecto a los sistemas agrícolas prehispánicos, Bolaños (1991) describe que el agua fue uno de pilares en su desarrollo y que la irregularidad de los ciclos hidrológicos repercutió en la aparición de complejos mecanismos para gestionar su obtención y manejo. Asimismo, indica que la realidad geográfica influyó en el uso de tecnologías y conocimientos orientados a manejar los factores productivos presentes en la naturaleza, agrupando múltiples formas de organización social y de trabajo.

Bolaños (1991) señala que en la costa se gestaron cinco sistemas agrícolas. El primero de ellos es la agricultura de riego en los valles costeros, iniciado en el Formativo, el cual presentó sistemas de riego por gravedad que fueron útiles para reemplazar paulatinamente los suelos pantanosos y desérticos de la costa, por suelos para realizar la agricultura. Esto se habría logrado controlando los flujos, pendientes y pérdida en los canales y surcos construidos. El segundo es la agricultura en chacras hundidas, presente en los desiertos costeros, que se realizó en lugares en donde las napas subterráneas generaban humedad superficial. El uso de chacras hundidas consistió en la construcción de hoyas que medían de cuatro a seis metros de profundidad y hasta cien metros cuadrados de base. Se removía tierra o arena, hasta obtener un fondo húmedo que era favorable para los cultivos (Bolaños, 1991; Deza, 2010). El tercero es la agricultura desarrollada en lomas costeras, presentes en las sociedades tardías y precoloniales, utilizaron la captación de agua proveniente de la niebla y de ojos de agua. Esta era acumulada colocando piedras en quebradas y laderas, con las que se captaba agua de la condensación y de los escurrimientos superficiales, construyendo muros para contener el agua condensada y emplearla en la agricultura. El cuarto sistema es el cultivo de lagunas costeras, en donde fueron cultivados juncos y totoras que luego se utilizaban en construcciones, embarcaciones, etc. (Bolaños, 1991). El quinto es el cultivo de *wachaques*, estos son estanques excavados que drenaban agua hacia ellos desde una napa mediante canales subterráneos. En ellos se sembraba totora, junco, enea y achira que iban relleno hasta convertir los sedimentos acumulados en el fondo, en tierra apta para los cultivos. Presentan muros de contención, accesos a las zonas de poca profundidad y muros que marcaban su delimitación superficial. Algunos son trabajados por campesinos/as en la actualidad (Bolaños, 1991; Deza, 2010).

En cuanto a los sistemas agrícolas que fueron desarrollados en la sierra, el primero que se menciona es el cultivo de terrazas irrigadas en las laderas, utilizado en los Andes desde por lo menos el 200 a 600 e.c. Este sistema está estrechamente asociado a la ocupación *Tiwanaku* del lago Titicaca y al Estado incaico, que propiciaría su expansión a todo el *Tawantinsuyu*. Su implementación permite incrementar la cantidad de suelo cultivado, disminuye el efecto de las heladas, controla la erosión de los suelos, permite controlar el agua para cada tipo de cultivo, la calidad y la temperatura del suelo, y administrar la producción agrícola. El segundo es el sistema de riego en los fondos de valles, en él los cultivos eran irrigados con canales provenientes de los ríos o represas de agua, eran realizados en terrazas anchas en desnivel con muros de contención superficiales o barreras de pasto que regulan la erosión y la distribución del agua. El tercero es el cultivo de camellones o *waru-waru*, que son campos elevados de origen artificial rodeados por canales, siendo utilizados para la siembra de tubérculos. Están presentes principalmente en el altiplano peruano-boliviano y fueron utilizados en conjunto con terrazas de cultivo y riego, permitiendo rotar las cosechas y prevenir las heladas. Este sistema se habría iniciado durante el 1.000 a.e.c. y se cultivaron intensamente hasta la llegada de los europeos, facilitando la integración entre una economía orientada al pastoreo de camélidos, junto al cultivo de tubérculos y quinua (Bolaños, 1991; Rostworowski, 2014). El cuarto es la

agricultura de riego en pampas altoandinas, que se relaciona al cultivo de pastos y tubérculos en el altiplano del Titicaca y en el Cuzco, con una base en un sistema de captaciones múltiples instaladas en riachuelos y manantiales (Bolaños, 1991). El quinto corresponde a la agricultura con sistemas de *qochas*, ubicados en el altiplano del Titicaca, el cual se remontaría al período *Pukara*. Las *qochas* son depresiones artificiales o naturales que son ocupadas como estanques para el regadío. Miden entre 31 y 200 metros, tienen conexiones a través de canales, donde uno de ellos cumplía la función de desagüe, permitiendo realizar un manejo de las aguas. Cuando se trataba de lagunas temporales, formadas por inundaciones o filtraciones de agua en temporadas de verano o bajo intensas precipitaciones, se sembraba su fondo húmedo. En el caso de las lagunas formadas por la acumulación de los deshielos, se sembraban sus márgenes. Con las *qochas* se aumentaba la productividad del suelo, siendo utilizadas para el cultivo de pastos, tubérculos y en actividades domésticas. En la actualidad, continúan siendo utilizadas por los/as campesinos/as para cultivar sus alimentos (Bolaños, 1991; Deza, 2010; Rostworowski, 2014). El sexto es el cultivo en lagunas del altiplano, estos sistemas se encuentran presentes al sur del lago Titicaca, cultivándose especies de plantas acuáticas que generalmente serían transportadas desde el lago (Bolaños, 1991).

En cuanto al sistema agrícola desarrollado por el *Tawantinsuyu*, se ha descrito que los incas incrementaron los niveles de productividad de la tierra hasta un punto no conocido anteriormente en las sociedades andinas y tampoco en el mundo occidental (Bolaños, 1991). En cierta medida la agricultura incaica aprovechó los conocimientos, tecnologías y experiencias acumulados en los sistemas agrícolas prehispánicos. Además, presentó una estructura sociopolítica importante que dependía de una agricultura que produjera constantemente excedentes que superaran las necesidades de la población (Murra, 2014). El universo agrario del *Tawantinsuyu* tuvo como eje al modelo de control vertical de un máximo de pisos ecológicos, compuesto por subsistemas complementarios que formaban un archipiélago con diferentes pisos o niveles, en los que se obtenían diversos productos (Mazoyer y Roudart, 2016; Lorandi y del Río, 1992).

Mazoyer y Roudart (2016) describen que este modelo presentó varios sistemas regionales en distintos pisos ecológicos. El primero fue el sistema de cultivo de regadío de los oasis de la llanura desértica costera. Allí se desarrollaron sistemas de riego que transportaban agua mediante canales controlados por un sistema de embalses y esclusas, distribuyéndola en la llanura. Se cultivaba maíz, poroto, algodón, mandioca, calabaza, maní y algunas leguminosas forrajeras, que junto con los residuos de los cultivos alimentaron a llamas caravaneras. Además, se explotaron depósitos de guano del litoral, que sirvió de abono en los oasis y valles andinos. El segundo fue el cultivo de maíz con regadío y ganadería asociada en la región de la *queshwa*, que comprende los valles y vertientes situados hasta 3.600 metros de altitud, con un ecosistema cultivado que incluyó valles o tierras de regadío, tierras cultivadas sin regadío, praderas y tierras sin explotaciones. En el acondicionamiento de los valles de regadío destaca el riego por

gravedad gracias al uso de canales; el agua circulaba hacia laderas con terrazas en las que se distribuía con canales. Los valles presentaban menos obras constructivas y de irrigación. Se cultivó principalmente el maíz, además de porotos, quinua, calabazas y leguminosas forrajeras. En las tierras sin riego se establecieron papas y oca, mientras que las tierras sin explotarse utilizaron en la ganadería de llamas locales y caravaneras, complementando con la trashumancia de rebaños en zonas de mayor altura. Respecto al maíz se ha establecido que correspondería a un cultivo estatal, y se ha pensado que su introducción fomentó el desarrollo de los sistemas hidráulicos. Si bien existen variedades de maíz que se producen sin riego, desde tiempos incaicos ha sido deseable que cuenten con un suministro de agua seguro (Murra, 2014; Rostworowski, 2014). Mazoyer y Roudart (2016) señalan que el tercer piso fue el cultivo de papas y ganadería asociada de la región *suní*. Ubicada entre 3.600 y 4.200 metros de altitud, incluyó tierras cultivadas sin riego, pastos y hierbas sin cultivo. Para desbrozar y labrar la tierra se utilizó la *taclla*. Principalmente se cultivó la papa y sus diversas variedades, además de quinua, olluco, lupino, etc. La mayoría de las variedades de papa son de altura y resistentes a las heladas, eran comunes en la dieta andina y con ellas se elaboraba el chuño (Murra, 2014). El cuarto piso era el sistema pastoril de la puna, ubicada a más de 4.200 metros de altura, donde fueron explotados rebaños de alpacas y llamas, estas últimas destinadas al transporte de productos y a la producción de estiércol, pieles, carne y lana. El quinto nivel nombrado era el sistema de cultivos de la vertiente amazónica de la cordillera. En la selva se construyeron aldeas que realizaban talas y quemas para cultivar maíz, mandioca y coca. Obtenían frutos, especias y plumas ornamentales que eran llevadas al resto del *Tawantinsuyu* (Mazoyer y Roudart, 2016).

Lorandi y del Río (1992) explican que las diferentes reparticiones territoriales del Estado incaico presentaban una base alimentaria autónoma, además de generar una serie de intercambios étnicos, de esta manera cada región abastecía a las demás de productos en los que tenía ventajas productivas. Se dio una dinámica de explotación de múltiples pisos ecológicos para adquirir productos, reduciendo la obtención de recursos por trueque o comercio. Esto se consiguió con la instalación de colonos que produjeran todo aquello que no se podía obtener en su territorio de origen. Cada familia o comunidad mantenía explotaciones en distintos pisos ecológicos, en donde la actividad social y económica era regulada por la reciprocidad y redistribución entre parientes, factores que guiaban el intercambio de los recursos obtenidos entre las colonias y los territorios de origen. Además, según Mazoyer y Roudart (2016), para incrementar su población y riquezas el Estado incaico extendió constantemente sus sistemas agrícolas, aprovechando los recursos y territorios anexados; instauró un sistema de almacenamiento de productos; efectuó grandes obras viales e hidráulicas; organizó intercambios y la movilización de recursos entre regiones con un complejo sistema administrativo y religioso. Parte importante de este entramado fue el sistema de prestaciones en trabajo o *mita*, impuesto a las comunidades campesinas, el cual se desarrolló en ámbitos como las tareas agrícolas, la edificación de obras hidráulicas, militares, urbanas, viales y terrazas. Además, el Estado se organizó de forma centralizada, siendo encabezado por el Inca

quien estaba acompañado por una nobleza formada por sus descendientes y familia, además de linajes nobles de otros grupos étnicos bajo su dominio. Luego estaban los sacerdotes y los miembros de la administración, seguidos por los *curacas*. A continuación estaban los artesanos especializados y las comunidades campesinas. Así, cuando se produjo el arribo de los europeos al área andina, no encontraron poblaciones que padecieran hambrunas, muy por el contrario, en esa época se desarrolló una agricultura que tenía el apoyo de una gran fuerza de trabajo y que era capaz de sostenerse e incluso generar excedentes. Sin embargo, tras el contacto con el mundo occidental en el siglo XVI ocurrieron masacres, enfermedades, se subyugó a la población y se desmanteló la estructura social y administrativa incaica. La colonización hundió al complejo sistema económico inca, llevando a esta sociedad a un régimen colonial español (Rostworowski, 2014; Mazoyer y Roudart; 2016).



Figura 1.1. Siembra de maíz en tierras irrigadas realizada por los antiguos incas. Fuente: Guamán Poma de Ayala. En Pease, 1980 [1615], p. 468.

Figura 1.2. Recolección de papas efectuada por los antiguos incas. Fuente: Guamán Poma de Ayala. En Pease, 1980 [1615], p. 461.

La agricultura de Europa durante la Edad Media y la Edad Moderna

En la Edad Media la agricultura fue una actividad relevante en Europa, era parte importante de la vida diaria de su población e influyó fuertemente en sus prácticas sociales y costumbres (Galgano, 2010). Mazoyer y Roudart (2016) describen que durante este período en Europa se produjo una importante transición desde los sistemas de cultivo de barbecho y aperos ligeros de las antiguas sociedades complejas, hacia un sistema de barbechos y aperos pesados. Durante

el primer milenio de nuestra era surgieron en la zona norte de Europa una serie de equipos y aperos como la carreta, el carro, la guadaña, el arado de vertedera, la grada, la collera, el yugo y el herraje de los animales de tiro.

Respecto al arado, Galgano (2010) afirma que durante la Edad Media surgió el arado pesado (*heavy plow*), paulatinamente entre los siglos VIII y XI e.c., cuyo origen se remontaría a la época del Imperio romano, siendo una de las innovaciones más importantes para la vida rural del período. Este nuevo apero pesado contaba con ruedas, estaba equipado con una cuchilla fijada al poste del arado, para cortar de forma vertical el suelo. Además, se le incorporó una reja de arado plana y asimétrica, puesta en ángulo recto a la cuchilla, para cortar horizontalmente la tierra y a esto se sumó una vertedera, para girar la tierra cortada hacia un lado y crear surcos. Con el aumento en la población comenzaron a cultivar campos de mayor extensión y esta herramienta se hizo necesaria. La utilización del arado pesado de ruedas, por su peso y por los suelos donde se implementó, requería del apoyo de fuerza animal.

Mazoyer y Roudart (2016) señalan que las innovaciones del sistema de barbechos y aperos pesados, permitieron el desarrollo de prácticas ganaderas y agrícolas que hasta esa época se habían visto limitadas, como la producción de heno, el uso del arado de vertedera y la grada, la producción y utilización de estiércol y la estabulación del ganado en invierno. Los autores mencionan que este sistema se define por características estructurales y funcionales. Entre las estructurales destacan, en primer lugar, al nuevo conjunto de herramientas que permitió prácticas ganaderas y agrícolas eficientes. Los labradores del siglo XIII contaban con guadañas, un arado de vertedera, una grada, cobertizos para guardar heno y lechos para el ganado, además de herramientas como hoces, palas y azadones de metal. En segundo lugar, nombran al nuevo ecosistema cultivado que, gracias a las nuevas herramientas y prácticas, incluyó a las praderas naturales de corte destinadas a generar reservas de heno para el invierno. Así se desarrolló la ganadería y la estabulación, generando una gran producción de estiércol, lo que sumado al uso del arado de vertedera amplió las tierras labradas, que contaron con mejor preparación y fertilización, permitiendo pasar de una rotación bienal a una trienal. El nuevo ecosistema cultivado mantenía suelos con cereales mucho más extensos y productivos, posibilitando el aumento de la población, que exigió mayor producción a los bosques, huertas, vergeles y viñedos. En cuanto a las características funcionales, se recalca el refuerzo de la asociación entre la agricultura y la ganadería, donde la composición y reproducción del nuevo ecosistema se aseguró con un nuevo funcionamiento. Existió una gestión del rebaño sustentado en la estabulación invernal y la cosecha de heno, junto a una fertilización de las tierras cerealeras, basada en el uso de estiércol y una roturación de la tierra con arado de vertedera y la grada. Los autores añaden que estos nuevos sistemas se generalizaron en el norte de Europa durante los siglos XI, XII y XIII, provocando una verdadera revolución agrícola medieval. Los sistemas de aperos pesados podían desarrollarse en regiones hasta entonces no cultivadas como bosques, humedales y llanuras. Además, se realizaron distintos tipos de rozas, como las de proximidad

alrededor de pueblos y aldeas, las de tierras pobladas con zonas extensas sin ocupar y las de tierras lejanas vírgenes, estas últimas colonizadas gracias a la conquista.

Dentro del marco de las innovaciones agrícolas generadas durante la Edad Media, Rohne (2010) especifica que la revolución científica en las técnicas agrícolas del siglo XII y XIII, en un grado importante, fue realizada por el trabajo de órdenes religiosas como los Cistercienses. Esta orden surgió como un movimiento de reforma a la Iglesia de occidente cuando las primeras órdenes religiosas ya controlaban los sitios agrícolas más aventajados de Europa. Por ello se asentaron en zonas remotas de Alemania, Francia e Inglaterra y se vieron obligados a experimentar con nuevas técnicas en el ámbito agronómico. El autor señala que se les reconoció por sus innovadoras técnicas en la crianza de animales; implementaron cercos en sus pastizales para impedir la cruce de animales sin control y evitar la contaminación de sus rebaños; desarrollaron la cría selectiva, generando en su ganado características deseables como la resistencia a enfermedades o mayores tallas; además, fueron reconocidos por su trabajo de limpieza en zonas baldías y drenaje en zonas pantanosas, en donde el agua que obtenían era almacenada en presas y diques.

Se ha especificado que los cambios en la agricultura medieval manifestaron dificultades en las regiones ocupadas y superpobladas. Existió una doble competencia entre los nuevos y viejos territorios agrícolas en el mercado de productos y fuerza laboral, donde los viejos territorios debieron alinearse con el sistema de aperos pesados y las nuevas condiciones. Asimismo, se generó una transformación en las relaciones sociales, donde la difusión de los nuevos equipos agrícolas afectó la organización y condiciones del trabajo campesino. Las prestaciones manuales redujeron su importancia y fueron reemplazadas por altos tributos, en cambio, la prestación con uso de aperos pesados aumentó. Con la nueva agricultura medieval, el régimen agrario basado en el dominio señorial y en prestaciones de siervos sometidos dio paso a una nueva sociedad rural constituida por campesinos ricos y pobres, obreros agrícolas sin tierras, terratenientes burgueses o señoriales, comerciantes, artesanos y señores eclesiásticos o laicos (Mazoyer y Roudart, 2016).

La revolución agrícola medieval trajo consigo varias consecuencias. Su implementación aumentó la producción y generó un crecimiento de la productividad, condicionando el auge de actividades comerciales, artesanales, artísticas, intelectuales, etc. Algunas de ellas proporcionaron a la agricultura medios de producción más eficaces y una demanda constante de productos, estimulando así la producción agraria. Este proceso alimentó una expansión demográfica en la población de Europa occidental debido a una mayor y mejor calidad de la alimentación, generando una población más resistente a las enfermedades (Mazoyer y Roudart, 2016). Los mismos autores establecen que la economía se desarrolló en distintos ámbitos, surgiendo un artesanado rural compuesto por carpinteros, herreros, albañiles, etc. Ocurrió una intensa activación comercial donde los/as campesinos/as vendían sus excedentes, los señores

comerciaban sus reservas, los artesanos vendían su trabajo y las nuevas regiones cultivadas exportaban. Paralelamente, surgió el capitalismo al formarse las primeras sociedades por acciones. Plantean que, gracias a este proceso, se generó una expansión urbana, proliferaron núcleos demográficos en nuevos territorios y aumentaron los edificios religiosos, como monasterios, catedrales y conventos. Además, se promovió la actividad intelectual gracias al florecimiento de escuelas y universidades en los siglos XII y XIII.

Mazoyer y Roudart (2016) especifican que el auge provocado por los cambios agrícolas finalizó abruptamente a raíz de la crisis ocurrida en el siglo XIV. Europa manifestó signos de superpoblación y frecuentes situaciones de escasez. La roza de nuevos terrenos fue llevada al límite. Explican que como consecuencia surgieron hambrunas que adecuaron la demografía y las necesidades de la población, a un volumen limitado de alimentos, debido al descenso en la producción, consecuencia de la degradación y sobreexplotación del ecosistema cultivado que llevó a abandonar tierras cultivadas por su poca fertilidad. La malnutrición y las privaciones redujeron la capacidad de trabajo y resistencia a las enfermedades de la población, así llegaron la peste negra, la viruela y la tosferina, que provocaron un desplome poblacional. Se ha estimado que las pestes y la neumonía generaron un efecto devastador sobre el capital humano y se estima que un 40% de la población europea murió en este período (Gordon, 2010). Con todo esto una crisis social y política era inevitable. La escasez y la hambruna aumentaron la pobreza rural y urbana generando un descontento que derivó en conflictos y revueltas. Los poderes locales no tenían los medios para defenderse y se vieron obligados a pedir asistencia de instancias superiores (Mazoyer y Roudart, 2016). La guerra también generó estragos, provocando una reducción importante en las economías de Europa occidental (Gordon, 2010). Esto propició una gran reorganización política que concentró el poder en grandes señores, príncipes o reyes. Tras la gran debacle, a finales del siglo XV y durante el siglo XVI, operó la reconstrucción (Mazoyer y Roudart, 2016). Cuando se produjo la recuperación económica desde la década de 1460, la disminución de la población cambió la estructura social ya que tras las plagas la disponibilidad de mano de obra agrícola se redujo catastróficamente y fueron los siervos quienes sirvieron en el sistema señorial, pero ahora podían exigir a los terratenientes que sus obligaciones se remuneraran con dinero. Además, podían apoderarse de parcelas vacías e incluso transformarse en terratenientes. En el siglo XVI surge una fuerza de trabajo agrícola diferenciada, que tenía terratenientes que alquilaban su tierra por dinero y contrataban sirvientes para trabajarlas y vender su producción. Luego existía un grupo de trabajadores que tenía propiedades y vendía su trabajo por dinero a los terratenientes. También estaban quienes no tenían tierras o solo una pequeña propiedad y se mantenían con lo que ganaban al trabajar. Con el paso de un sistema netamente agrícola a uno con bases en el mercado, una gran cantidad de personas dejó el campo y migró a los centros urbanos pues allí existían más posibilidades (Gordon, 2010). Mazoyer y Roudart (2016) precisan que desde esa época los sistemas de barbecho y aperos pesados llegaron a diversos lugares, consecuencia de la colonización europea en regiones como las actuales Nueva Zelanda, Australia, África del Sur y América.

Entre los siglos XVI y XIX en múltiples zonas de Europa se desarrolló la revolución agrícola moderna, que dio nacimiento a los sistemas sin barbecho, cuyas raíces se encuentran en la Edad Media. De este modo, los barbechos fueron sustituidos por praderas artificiales de gramíneas o leguminosas forrajeras y otros forrajes como el rábano o nabo (Mazoyer y Roudart, 2016). Durante este período el patrón medieval de campos múltiples fue paulatinamente reemplazado por un sistema de rotación de cultivos (Descartes, 2010). La nueva formulación de rotaciones alternaba los forrajes con los cereales, generando que el suelo cultivable llegara a producir un rendimiento de forraje igual a la de pastizales y campos cerealeros unidos. La alternancia de cultivos estuvo acompañada de la ganadería de herbívoros, que cumplió un importante rol al proporcionar una mayor cantidad de productos de origen animal, estiércol y fuerza de tracción (Mazoyer y Roudart, 2016). A partir de esto, se ha establecido que uno de los logros más importantes de esta Revolución Agrícola fue la comprensión de que la ganadería y la agricultura de cereales podía unirse a nuevos cultivos, como los tréboles, nabos y pasturas (Descartes, 2010). El aumento del uso de abono en los campos llevó a un alza en los rendimientos de cereales e incluso permitió incorporar cultivos que requieren una alta fertilidad del suelo. Las nuevas rotaciones incluyeron especies como la papa, el maíz y la col; además de plantas de uso industrial como la remolacha azucarera, el lino, el cáñamo, entre otras (Mazoyer y Roudart, 2016). Los nuevos cultivos, sumados a las nuevas formas de labranza, contribuyeron a una mayor fertilidad del suelo, al aumento de la productividad y complementaron a la mano de obra e insumos destinados a los cultivos (Descartes, 2010).

Según Mazoyer y Roudart (2016), los nuevos sistemas duplicaron la producción de los antiguos y contribuyeron a mejorar la calidad de la alimentación para más personas. El incremento en la producción se lograba con poca inversión monetaria y poco trabajo adicional, generando un aumento en la eficiencia del trabajo y en el excedente agrícola comercializable. De esta manera, la agricultura pudo cubrir las necesidades de una población no agrícola más numerosa que la agrícola; además la actividad alcanzó una estabilidad que fue un pilar relevante para el desarrollo de la industria y del comercio. La revolución agrícola propició, en gran medida, el desarrollo de la primera revolución industrial ya que le proporcionó víveres, mano de obra y materias primas; por su parte, la agricultura mucho más productiva, constituyó un mercado relevante para los productos industriales. Gracias a esto, a finales del siglo XIX gran parte de la población activa de los países industrializados pudo dedicarse a realizar actividades fuera de la agricultura, como la minería, los servicios y labores industriales. También hubo cambios en el ámbito rural, como el surgimiento de la industrial artesanal, es decir que los/as campesinos/as sin tierras suficientes para sustentarse con la agricultura complementaron sus ingresos en sus hogares con la fabricación artesanal a pequeña escala, como lo es el caso de la elaboración de textiles (Gordon, 2010b). Se ha mencionado que los sistemas de cultivo sin barbecho, iniciados en Flandes en el siglo XV, tardaron en propagarse por Europa. Este fenómeno no se debería a razones propiamente técnicas, sino que a impedimentos de otro tipo. El labrado de los barbechos y el desarrollo de la revolución agrícola fue muy difícil hasta que no se estableciera el derecho de utilizar de forma libre las tierras cultivadas y el derecho a la propiedad exclusiva

o individual; mientras no se modificara el marco jurídico, existirían limitantes como el de la rotación de cultivos obligatoria y el derecho de aprovechamiento de pasturas sobre los barbechos. Solo fue posible implementar el sistema de cultivos sin barbecho una vez que fueron eliminados los cánones y obligaciones feudales de la servidumbre y las cargas tributarias que estremecían al campesinado. La revolución agrícola prosperó en la medida que el desarrollo urbano, comercial e industrial pudo aprovechar el excedente agrícola comerciable que esta generaba (Mazoyer y Roudart, 2016). En suma, el desarrollo de la revolución agrícola, comercial e industrial fue posible cuando se hicieron las reformas necesarias para promover la libertad de comercio e inversiones, el libre tránsito de bienes y personas y la libre disposición de las tierras. La consecución de estas reformas fue tarea de las asambleas revolucionarias y monarquías ilustradas o constitucionales. Prueba de ello es lo ocurrido en Inglaterra durante el siglo XVII, en donde una serie de medidas o leyes parlamentarias permitieron el inicio del cercado de tierras agrícolas, lo cual contribuyó a que las posesiones comunitarias transitaran de, por ejemplo, predios y zonas de pastoreo a la formación de iniciativas privadas, con fines de lucro y a mayor escala. De igual manera, el levantamiento de cercos permitió crear espacios para la experimentación, siendo un factor que claramente abrió las puertas a las innovaciones (Mazoyer y Roudart, 2016; Descartes, 2010).

Se ha planteado que las ideas de la nueva agricultura se difundieron durante la Ilustración. Economistas (fisiócratas) y agrónomos fueron testigo de los beneficios de la agricultura sin barbecho en Inglaterra y Flandes, y se transformaron en teóricos y difusores de la revolución agrícola y de los cambios que se debían realizar para su desarrollo (Mazoyer y Roudart, 2016). Al respecto se ha dicho que los científicos británicos habrían sido los primeros en investigar el aumento de la productividad agrícola. Autores como John Woodward, Robert Boyle, John Evelyn y Francis Bacon entregaron a los terratenientes una visión histórica de los logros agrícolas y con sus análisis establecieron la gran necesidad de tener avances para obtener mejores rendimientos de los cultivos (Descartes, 2010). Tras las reformas, los diferentes países europeos recibieron una estructuración agraria y social particular. Si bien, muchos de ellos contaban con pequeños y grandes propietarios, explotaciones con asalariados, explotaciones familiares, explotaciones a contrato, en arriendo o aprovechamiento directo, las proporciones entre estas categorías variaron ostensiblemente. Por ejemplo, en los territorios actuales de Dinamarca, Países Bajos, parte de Francia y de Alemania predominaban las explotaciones campesinas con mano de obra del grupo familiar; mientras que en Gran Bretaña y Prusia existían los *land lords* y los *junkers*, que desarrollaban un sistema de grandes granjas con trabajadores asalariados. Se estima que en todos estos lugares, los/as campesinos/as y empresarios agrícolas hicieron la transición hacia la nueva agricultura cuando se beneficiaron de las reformas y de los mercados que les permitieron comercializar sus productos, además de las reducciones de impuestos y el equilibrio en los precios. Sin embargo, existieron zonas como España, Italia, Hungría y Rusia que no se empaparon de la revolución agrícola, debido a su lejanía de los núcleos de industrialización y por el dominio de grandes latifundios que controlaban a la mano de obra agrícola casi como siervos (Mazoyer y Roudart, 2016).

La revolución verde

La denominada Revolución verde comienza a gestarse siglos antes de su aplicación, desde el cambio de la sociedad y agricultura medieval a una sociedad moderna capitalista, a partir del proceso de industrialización agrícola. Desde el punto de vista tecnológico, se basa en las teorías de Justus Von Liebig quien planteó la Ley del Mínimo junto con la importancia de los minerales y factores abióticos en el rendimiento de los cultivos; el desarrollo de la química durante las guerras mundiales, con Fritz Haber y Karl Bosch, la incorporación de la mecanización agrícola, sumado a la hibridación de especies vegetales de Gregorio Mendel y más tarde desarrolladas en la agricultura por Henry Wallace; la incorporación de tecnología ligada a la distribución del agua para riego y el monocultivo de una limitada cantidad de especies destinadas a la alimentación de la población global, la que es distribuida por grandes conglomerados económicos que dominan el mercado funcionando a escala planetaria. La que posteriormente se llamaría Revolución verde tiene sus inicios en un acercamiento ocurrido en 1941 entre el Gobierno de los Estados Unidos y la Fundación Rockefeller, con la finalidad de formular un programa de desarrollo agrícola dirigido hacia Latinoamérica. En 1943 la Fundación Rockefeller crea el Programa Mexicano de Agricultura junto con el Centro de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT. Los fundamentos de la Revolución verde fueron transmitidos e implementados inicialmente en otros países de Latinoamérica, como Brasil y Argentina, para finalmente extenderse a todo el mundo, siendo su más célebre difusor el agrónomo y premio nobel Norman Borlaug (Ceccon, 2008).

Los sistemas de agricultura sostenible

Las propuestas de agricultura sostenible provienen del ámbito científico-académico y también de movimientos filosóficos y sociales. A principios del siglo XIX el agrónomo alemán Albrecht Daniel Thaer, pionero desde el ámbito científico en plantear ideas de agricultura sostenible, desarrolló la noción de agricultura racional, la cual considera una gestión de terrenos de manera económica y sostenible. Diseñó una escala de fertilidad de suelos expresada en grados de fertilidad, basada en las propiedades del suelo, la demanda de nutrientes de las plantas y el sistema de cultivo. Creó la teoría del humus, donde la fertilización orgánica con estiércol de establos, residuos vegetales y abonos verdes es relevante. Los fundamentos científicos de esta teoría fueron descartados por Sprengel y Liebig en 1840, con su publicación sobre nutrición mineral de las plantas (Feller *et al.*, 2003).

Históricamente, desde mediados del siglo pasado, las propuestas de agricultura sostenible han sido consideradas como alternativas al modelo agrícola dominante basado en la Revolución verde, surgiendo como una respuesta crítica a dicho paradigma predominante. Existieron varias corrientes que se mencionan a continuación.

Agricultura biodinámica

En el año 1922 nace el método de agricultura biodinámico, basado en las ideas del filósofo austriaco Rudolf Steiner y su visión del mundo llamada Antroposofía o Ciencia Espiritual (Pfeiffer, 1992). Sus enseñanzas proceden de la filosofía planteada por Goethe, la cual está basada en antiguos escritos mesopotámicos, chinos, egipcios y romanos (Restrepo *et al.*, 2000). El término biodinámico implica trabajar acorde a las energías que crean y mantienen la vida. En 1922 y 1923, un grupo de agricultores/as pidió consejo a Steiner debido a problemas en sus predios (Pfeiffer, 1992); ante la insistencia, entre el 7 y 16 de junio de 1924 en Koberwitz, Silecia (hoy Polonia), se realizó el curso sobre agricultura, dirigido por Steiner (Paull, 2011a), donde dio a conocer el método para ser aplicado de manera práctica en la mayor cantidad posible de tierras (Pfeiffer, 1992). Allí nace el movimiento biodinámico, con la formación de una asociación de agricultores/as, además del Círculo de Investigación Agrícola y los trabajos en la sección de Ciencias Naturales del Goetheanum (sede de la antroposofía en Dornach, Suiza), para luego extenderse desde Suiza a Australia, Italia, Gran Bretaña, Francia, Escandinavia y los Estados Unidos (Paull, 2011b). Los principios del método se basan en el concepto de organismo agrícola, que considera al conjunto de todos los elementos de un predio, fuerzas vitales, fuerzas cósmicas y sus interacciones. Incluye al suelo, el clima, plantas cultivadas, fuentes de agua, estaciones del año, la luz y la influencia lunar, vitalización de la tierra con abonos, conocimiento de los ciclos biológicos y el accionar del ser humano; todos estos elementos construyen un sistema autosuficiente y de ciclo casi cerrado, reduciendo la dependencia a insumos externos, estimulando el aprovechamiento y reciclaje de los propios recursos del sistema para de ser realmente económico (Piamonte, 2004). Entre sus prácticas diferenciadoras está el uso de preparados para ser asperjados en los cultivos y para la dinamización del compost. Estos tienen en su composición elementos minerales, guano de vaca (Foto 1.1.) y especies vegetales como milenrama, ortiga, manzanilla, encino, diente de león y valeriana. Los primeros trabajos en la etapa de validación (1924-1938) fueron realizados en el Goetheanum en su sección de Ciencias Naturales, con la publicación del primer Anuario, Gää-Sophia. Ese primer año el libro incluía dos artículos relacionados con agricultura: *Agricultura en el sentido de Rudolf Steiner* y *El desarrollo de la agricultura a través de la antroposofía*. El término agricultura biodinámica no se popularizó hasta la publicación en 1938 del libro *Bio-Dynamic Farming and Gardening*, de Ehrenfried Pfeiffer. Pfeiffer emigró a los Estados Unidos donde fue mentor de muchos/as agricultores/as biodinámicos/as, además de asesorar a Jerome Rodale y ser informante de Rachel Carson en su publicación *Primavera silenciosa* (Paull, 2019). Lili Kolisko, quien asistió al curso de agricultura impartido por Steiner en 1924, junto a su esposo Eugen Kolisko fueron importantes en la validación del método biodinámico, gracias a sus experimentos publicados en el libro *Agriculture of Tomorrow*, del año 1939 (Paull, 2011b).



Foto 1.1. Preparado 500 (estiércol de vaca contenido en cuernos enterrados desde otoño a primavera) de agricultura biodinámica.

Fuente: <https://pixabay.com/es/photos/biodin%C3%A1mica-abono-el-cuerno-de-vaca-2362977/>

Agricultura orgánica

Varios/as pioneros/as en distintas partes del mundo señalaron los efectos negativos de la modernización de la agricultura y hablaron de una agricultura alternativa basada en la naturaleza. En el ámbito académico, Klages sugirió en 1928 que se consideraran los factores fisiológicos y agronómicos que influían en la distribución y adaptación de especies específicas de cultivos, para comprender la relación entre una planta de cultivo y su medio ambiente (Hecht, 1999). Hasta ese momento la explicación sobre los rendimientos de los cultivos se basaba en los trabajos de Liebig, la cual consideraba factores abióticos y la importancia de los macroelementos minerales. La sugerencia de Klages fue el primer acercamiento entre la agronomía y la ecología. Por su parte, la importancia del humus en la agricultura fue reconocida por los antiguos griegos y romanos, siendo definido en 1936 por Selman Abraham Waksman (Premio Nobel de Medicina en 1952), quien consideró la importancia de los microorganismos en las transformaciones de la materia orgánica, junto con dar a conocer la composición química del humus y explicar su rol en la naturaleza (Waksman, 1936). Su trabajo no fue valorado en Estados Unidos, donde se desempeñó en la Universidad de Rutgers, pero sí lo fue en Alemania, donde se realizaron traducciones de sus publicaciones. En 1938 William Albrecht escribió que la pérdida de fertilidad y el agotamiento de la materia orgánica en el suelo son responsables de la erosión. Para remediarlo se debían establecer prácticas como la rotación con praderas

que incluyeran leguminosas y el uso de residuos agrícolas como abonos (Albrecht, 1938). Además, estableció relaciones entre la salud del suelo con las plantas, animales e incluso personas, siendo estas fotografías bioquímicas del suelo de donde provienen. A partir de esto estableció que los problemas de salud de las personas están relacionados con el origen de su alimentación y la calidad de los suelos (Ikerd, 2011). El término agricultura orgánica apareció en 1940 con el libro de Lord Northbourne, *Look to the Land*, que recopila las ideas de Steiner sobre las granjas consideradas verdaderos organismos vivos (Paull, 2019). El botánico inglés Albert Howard, crítico de la labor experimental oficial en su época, promovió ideas innovadoras en su célebre libro *Un testamento agrícola*, publicado en 1940. Destacó la influencia de la asociación micorrizal en la alimentación de las plantas y subrayó que el humus presente en suelos fértiles entrega a los seres vivos mayor vigor y salud. Afirmó que las enfermedades de los seres vivos causadas por hongos, insectos, bacterias y virus son una manifestación de la desnutrición originada por la baja fertilidad de los suelos; por ende, los organismos desarrollados en un suelo fértil rico en humus no son atacados en forma apreciable por enfermedades; logró visualizar la conexión entre la salud del suelo y poblaciones saludables, el ganado y los cultivos; acuñó la frase “*la salud del suelo, planta, animal y el hombre es uno e indivisible*” (Howard, 1940:18). Howard es considerado el padre del compostaje moderno, debido a la creación, validación y difusión del método Indore. Documentó y desarrolló técnicas de agricultura orgánica, extendiendo su conocimiento a través de la Soil Association del Reino Unido y el Rodale Institute en Estados Unidos (Vogt, 2007). En 1942, Klages expandió su definición e incluyó factores históricos, tecnológicos y socioeconómicos que determinaban qué cultivos se producían en una región dada y en qué cantidad (Hecht, 1999). Una figura clave en el movimiento orgánico en los Estados Unidos fue el editor Jerome I. Rodale. Inspirado en el trabajo Albert Howard y otros/as autores/as británicos/as, inició un cultivo orgánico buscando dar solución a sus problemas de salud. Realizó múltiples experimentos y al poco tiempo notó que su salud y la del suelo mejoraban. Divulgó sus experiencias e inició en 1942 la publicación de la revista *Organic Gardening and Farming*, la que popularizó en Norteamérica el término orgánico; su libro *Pay Dirt* se publicó en 1945 (Vogt, 2007). Rodale escribió sobre el/la agricultor/a orgánico/a como portador/a de una confianza sagrada y alentó a los/as agricultores/as a convertirse en activistas contra las malas políticas gubernamentales y la agricultura industrial. En 1947, fundó la *Soil and Health Foundation* que más tarde pasaría a llamarse *Rodale Institute*, en la actualidad sigue en actividad (Rodale Institute, 2020).

Diseño en línea clave

En la década de 1950, el australiano Percival A. Yeomans desarrolló un sistema denominado *Keyline* (línea clave), que integraba métodos para el análisis del paisaje, la gestión del agua en los campos, la agroforestería y estrategias de construcción del suelo; para esto utilizaba un arado con cincel modificado (arado Yeomans), para marcar líneas ligeramente fuera de

contorno y pastoreo rotacional (Ferguson and Lovell, 2014). Los principios y técnicas asociadas a este sistema fueron publicados en la obra *The Keyline Plan* (Yeomans, 1954), donde lo define como un método que abarca el desarrollo progresivo de suelos fértiles para todas las tierras de cultivo y praderas, incluyendo las tierras más escarpadas y accidentadas en las que no se había realizado una mejora rápida y económica. Se basa en el trazado de una línea o líneas particulares en el terreno, denominadas *keylines*, que se utilizan en la planificación del desarrollo territorial y actúan como guías para el trabajo agrícola (Figura 1.3.). Según Gras (2009), un importante aporte de Yeomans es el desarrollo del concepto de escala de permanencia, que sirve para determinar la escala de prioridades al momento de rediseñar la topografía de un terreno. La escala está ordenada en base a la permanencia a través del tiempo, de los elementos que integran el paisaje completo de la propiedad, aplicándose al desarrollo rural de unidades productivas y al desarrollo urbano. El orden de prioridades para los factores en la escala de permanencia es el siguiente: 1) clima; 2) topografía; 3) agua; 4) caminos; 5) silvicultura; 6) construcciones; 7) subdivisiones; y 8) el suelo. Otra importante contribución fue el arado Yeomans, la primera herramienta de cultivo de subsuelo vibratorio de mango rígido, que puede aflojar más suelo a una mayor profundidad utilizando menos potencia del tractor (Yeomans, 1954). Los postulados de Yeomans sirvieron de inspiración para que, con ayuda de su maestro Bill Mollison, el entonces estudiante de diseño ambiental, David Holmgren, conceptualizara la Permacultura (Gras, 2009).

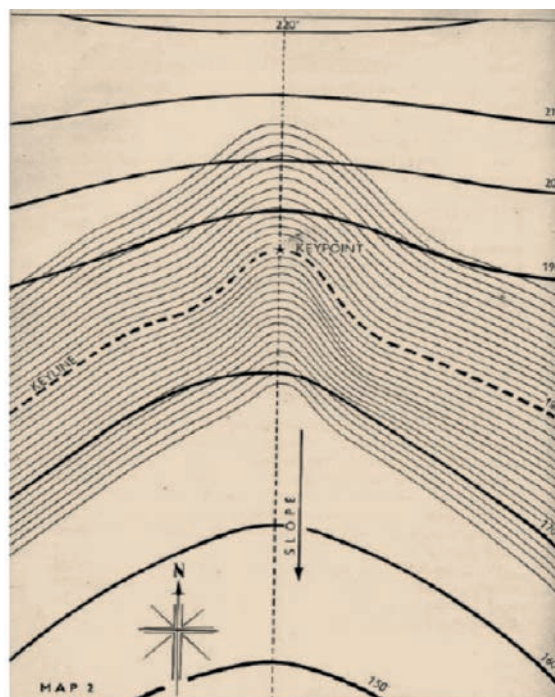


Figura 1.3. Identificación de punto clave y trazado de líneas clave. El punto clave es el lugar donde confluye el agua desde dos laderas a un punto preciso de la vertiente justo antes de empezar a correr como un arroyo. Mientras que línea clave, es la línea a nivel o contorno que se extiende a ambos lados de un punto clave. Fuente: Yeomans, 1954.

Pastoreo racional

En relación al manejo de praderas para pastoreo, es destacable el legado del francés André Voisin, creador del pastoreo racional, quien consideró que el pastoreo es el encuentro entre la hierba y la vaca, y que para realizarlo se deben satisfacer las necesidades de ambos. Antes de él la investigación se centraba en el crecimiento de los pastos, sin considerar la influencia de los animales, o en corrales donde se les suministraba el forraje. La comprensión de la afirmación de Voisin conduce a un sistema basado en el manejo más que en la incorporación de insumos externos. Los trabajos de Voisin inspiraron las propuestas de manejo holístico de Allan Savory y Pastoreo Racional Voisin (PRV), de Luis Carlos Pinheiro Machado. En la publicación *La productividad de la hierba*, Voisin (1974) da a conocer las leyes universales del pastoreo racional, las que según Lenzi (2012) pueden resumirse de la siguiente forma:

- Mantención de un tiempo de descanso adecuado, permitiendo a la planta almacenar en la raíz suficiente reserva para un nuevo y vigoroso rebrote.
- El tiempo total de permanencia del animal en el potrero debe ser lo suficientemente corto para evitar que la planta sea pastoreada más de una vez en el mismo tiempo de ocupación.
- Obtener el máximo rendimiento, por lo que se necesita privilegiar a los animales de mayores requerimientos nutricionales, contribuyendo a que tengan una mayor cantidad y calidad de forraje.
- Buscar el equilibrio mediante el rendimiento constante, donde los animales no deben pasar más de tres días en el mismo potrero.

Agricultura natural

En Japón, el microbiólogo Masanobu Fukuoka definió como agricultura natural al método que intenta imitar los procesos naturales tanto como sea posible, en lugar de depender de la intervención humana. Las bases del método están influidos por la filosofía y espiritualidad budista, donde se defiende el superar un enfoque discriminatorio del conocimiento y ser receptivos a una comprensión no discriminatoria (Mach, 2009). La agricultura natural se basa en cuatro principios. El primero es no cultivar, ya que la tierra se cultiva sola gracias a la penetración radicular y la actividad de microorganismos y lombrices. El segundo es no utilizar ningún fertilizante químico o compost, debido a que el suelo mantiene su fertilidad natural en sintonía con un ordenado ciclo de la vida vegetal y animal. El tercero es no controlar malezas con herbicidas o métodos físicos, puesto que son relevantes en la construcción de la fertilidad del suelo y la sucesión ecológica. El cuarto principio es la no dependencia de la química, porque debilita a las plantas, promueve la aparición de enfermedades y genera desequilibrios en las comunidades de insectos, dificultando la agricultura (Fukuoka, 1978).

Permacultura

Eugene P. Odum, considerado el padre de la ecología moderna, propuso un enfoque desde arriba hacia abajo para el estudio de los sistemas naturales, enfatizando en el ecosistema como unidad básica y estableciendo una visión de que el todo es más que la suma de las partes. Fue capaz de incorporar las ciencias sociales y considerar al ser humano como parte del ecosistema (Joyce, 2003), además de influenciar en la agroecología y la conceptualización de la permacultura. Entre sus publicaciones están *Fundamentals of Ecology*, de 1953 y *Ecology*, de 1963. La ecología agrícola continuó su desarrollo en las universidades durante la década de 1960. Wilsie analizó en 1962 los principios de adaptación de cultivos y su distribución en relación a factores del hábitat; Chang en 1968 prosiguió con la línea propuesta por Wilsie, pero se centró aún más en los aspectos ecofisiológicos. La ecología agrícola fue integrada a la agronomía, en cursos orientados al desarrollo de una base ecológica para la adaptación ambiental de los cultivos (Hecht, 1999).

A mediados de la década de 1970, Bill Mollison y David Holmgren fundan la permacultura, corriente que actualmente tiene presencia global. Sus fundadores compartieron las ideas de diferentes movimientos de agricultura sostenible, pero a la vez se enfocaron en la amenaza del alto uso de energía de los sistemas agrícolas intensivos. El término agricultura permanente, del que nace la permacultura, fue usado anteriormente en la literatura británica y estadounidense, siendo análogo a lo que hoy sería la agricultura sostenible. Asimismo, fue relacionado con el uso especies perennes en los sistemas agrarios (Ferguson y Lovell, 2014). La palabra permacultura, en sí misma, es una contracción no solo de agricultura permanente sino también de cultura permanente, pues las culturas no pueden sobrevivir sin una base de agricultura sostenible y una ética sobre el uso de tierra (Mollison and Slay, 1991). Restrepo y sus colaboradores (2000), definen a la permacultura como una metodología que abarca todos los aspectos de los asentamientos humanos y no solo la agricultura. Es la adaptación sostenible de una sociedad a su base de recursos, una ciencia y una ética. Atañe en parte a la agricultura, a la horticultura, los transportes, la arquitectura, las finanzas, la ingeniería social, la producción sin desperdicios y su reciclado. Es un sistema científico que busca la recuperación de las especies nativas y la restauración de los paisajes, pues la agricultura es la principal responsable de su deterioro. El énfasis de la permacultura en el diseño de sistemas completos está fuertemente influenciado por los trabajos de Eugene Odum, P.A Yeomans y Masanobu Fukuoka. Según Mollison y Slay (1991), los principios para realizar un diseño con permacultura son los siguientes: 1) ubicación relativa; 2) cada elemento cumple muchas funciones; 3) cada función importante es soportada por muchos elementos; 4) planificación eficiente de energía para casas y comunidades; 5) énfasis en el uso de recursos biológicos, más que en los provenientes de hidrocarburos; 6) reciclaje de energía en el sitio, incluyendo la energía humana y la de combustión; 7) utilización y aceleración de la sucesión natural de las plantas para establecer sitios favorables y suelos; 8) policultura y diversidad de especies para un sistema

productivo e interactivo; y 9) uso del efecto borde y de los patrones naturales para lograr la mayor ventaja.

La permacultura se basa en creencias morales y las acciones en relación a la sobrevivencia del planeta. Sus componentes son el cuidado de la tierra y de la gente, junto con la distribución del tiempo sobrante, dinero y materiales para estos fines, utilizando la cooperación en vez de la competición (Mollison y Slay, 1991). En 1981, Bill Mollison dirigió el primer curso Certificado de Diseño con Permacultura, el que se ha repetido hasta la actualidad, creando la principal red de personas que desarrollan y promueven la permacultura. Algunas publicaciones de Mollison y Holmgren son *Permaculture One* (1978), *Permaculture two* (1979), *Permaculture: A Designers' Manual* (por Mollison en 1988), *Introduction to Permaculture* (por Mollison y Slay en 1991), *Permaculture: Principles and Pathways Beyond Sustainability* (por Holmgren en 2002).

Agroecología

El término agroecología fue por primera vez usado en 1928, por el agrónomo ruso B.M. Bensin (Toledo, 2012). Su uso contemporáneo data de los años setenta, cuando existió una expansión en la literatura agronómica con un enfoque agroecológico, incluyendo múltiples obras de autores como Dalton en 1975, Netting en 1974, Van Dyne en 1969, Spedding en 1975, Cox y Atkins en 1979, Richards en 1985, Vandermeer en 1981, Edens y Koenig en 1981, Edens y Haynes en 1982, Altieri y Letourneau en 1982, Gliessman y colaboradores, en 1981, Conway en 1985, Hart en 1979, Lowrance *et al*, en 1984 y Bayliss-Smith en 1982 (Hecht, 1999). En las décadas de 1970 y 1980, un componente social comenzó a aparecer en la literatura agrícola, generada desde la academia y centros de investigación agrícola. Las limitaciones del enfoque ecológico empezaron a ser superadas, en la medida que los/as investigadores/as comenzaron a analizar los sistemas campesinos y nativos en equipos multidisciplinarios, generando evaluaciones complejas de la agricultura y una visión más holística (Hecht, 1999). Stephen R. Gliessman, fundador del programa de agroecología en la Universidad de California, definió la agroecología como “*una ciencia que aplica conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles*” (Gliessman, 2002: 13) y fue uno de los pioneros del movimiento agroecológico con sus investigaciones e importante precursor en Latinoamérica con su grupo en el Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT) en México, el cual ofreció a finales de los 70 los primeros cursos de agroecología; al mismo tiempo, en la Universidad Nacional de Colombia, el profesor Iván Zuluaga junto a Miguel Altieri ofrecían en 1976 el primer curso de Ecología Agrícola (Altieri, 2015).

A principios de los 80 aparece un movimiento que surge de la crítica a la Revolución verde, por su tecnología nociva a base de químicos y por ser inapropiada para los/as campesinos/as. A partir del libro de Altieri, *Agroecología: bases científicas para una agricultura alternativa*

(1982), se inicia la corriente más agronómica de la agroecología (Altieri, 2015). En Brasil, José Lutzenberger con *Fundamentos Ecológicos de la Agricultura* publicado en 1981, y Ana María Primavesi y su *Manejo Ecológico del Suelo* del año 1984, tuvieron importancia a nivel local e internacional; el primero, alimentando una visión filosófica y la segunda, presentando una detallada teoría de la salud del agroecosistema con base en el suelo (Toledo, 2012). La agroecología fue adoptada por organismos no gubernamentales (ONG) en los 80 y 90, impulsada por el Movimiento Agroecológico Latinoamericano (MAELA) y por el Consorcio Latinoamericano de Agroecología y Desarrollo (CLADES), que se constituyó como un programa regional de investigación, extensión y capacitación dirigido a técnicos y campesinos/as, con la finalidad de dar a conocer los principios y técnicas de la agroecología. Se basó en la experiencia de las ONG que establecieron sitios demostrativos, a los que más tarde se les denominó Faros Agroecológicos. Dentro de las ONG pioneras destacan: en Chile, el Centro de Educación y Tecnología (CET); el Centro IDEAS y el CIED, ambos en Perú; el AS-PTA Agricultura Familiar y Agroecología, de Brasil; el Instituto Mayor Campesino y la FUNDAEC, ambos en Colombia (Altieri, 2015).

Hacia finales de los 80 se generó en Centroamérica una red de conocimientos entre campesinos/as, las ONG e investigadores/as, hoy conocida como Movimiento de Campesino a Campesino, cuya metodología tiene como elemento clave el/la promotor/a campesino/a, quien es la persona encargada de visitar, asesorar y capacitar a familias y/o grupos de personas mediante el diálogo y a través de su propia experiencia (Toledo, 2012).

Con la caída del bloque socialista y la desintegración de la Unión Soviética en 1989, Cuba se vio afectada por una escasez de fertilizantes y petróleo para su agricultura. Como consecuencia se generaron iniciativas agroecológicas para reemplazar las prácticas que dominaban su antiguo e insostenible modelo agrícola. Dentro de lo más destacable se encuentra el desarrollo del control biológico de plagas y enfermedades, la utilización de coberturas de rastrojo para el manejo de malezas, siembras en contorno, la reutilización de los desechos de la industria de la caña de azúcar como forraje, biomasa energética, enmiendas potásicas y fabricación de compost, y la creación de huertos urbanos agroecológicos (IBID), llamados en la isla organopónicos. Roberto García, Fernando Funes Aguilar, Marta Monzote, Nilda Pérez y Luis Vázquez, fueron los/as cubanos/as que compartieron sus experiencias en Latinoamérica (Altieri, 2015).

La corriente académica de la agroecología se consolidó en el 2007 con la fundación de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), bajo el liderazgo de Clara Nicholls y Miguel Altieri. SOCLA ha logrado celebrar congresos, llevar programas de doctorado, impulsar iniciativas de investigación como REDAGRES, publicar en revistas (LEISA, Agroecología de la Universidad de Murcia y Revista de Agroecología y desarrollo rural sustentable de ABA, en Brasil), apoyar a instituciones públicas dedicadas a la investigación y el desarrollo rural y a organizaciones campesinas (Altieri, 2015). En diciembre de 2020, a partir

del capítulo chileno de SOCLA, se constituyó la Sociedad Científica Chilena de Agroecología (SOCLA Chile) cuya finalidad es aglutinar los esfuerzos de científicos/as, investigadores/as, profesores/as y otras personas encaminados hacia el desarrollo de sistemas sustentables de producción agraria fundamentados en los principios agroecológicos, con el objetivo fundamental de promover el desarrollo rural sostenible, privilegiando la soberanía, la conservación de los recursos naturales y biodiversidad mediante la utilización óptima de los recursos locales, potenciando las culturas rurales, los valores éticos del desarrollo rural y la calidad de vida de los/as agricultores/as de Chile.

Agricultura orgánica regenerativa

En 2015 se fundó una corriente denominada agricultura orgánica regenerativa, definida como un método holístico que aumenta los recursos naturales en vez de agotarlos y se apoya en los procesos naturales para reponer nutrientes, agua y suelo, produciendo alimentos sanos y ricos en nutrientes. La agricultura regenerativa es dinámica y holística, además de que incorpora la permacultura y las prácticas agrícolas orgánicas, como cultivos de cobertura, rotación de cultivos, compost, infraestructuras móviles para animales y rotación de pastoreos, y busca aumentar la producción de alimentos, el ingreso de los/las agricultores/as y especialmente la calidad del suelo (Regeneration International, 2015).

Según Lal (2020), la agricultura regenerativa basada en sistemas concilia la necesidad de producir alimentos adecuados y nutritivos, pero lo hace restaurando el medio ambiente, convirtiendo la agricultura en una solución a los problemas ambientales. Además amplía el concepto de Albert Howard, considerando el contexto actual de cambio climático y problemas ambientales, al afirmar que la salud del suelo, las plantas, los animales, las personas y el medioambiente es una e indivisible. Los principios básicos de la agricultura regenerativa son: 1) manejo de la fertilidad del suelo mejorando el contenido de materia orgánica, la fijación biológica de nitrógeno y el reciclaje de nutrientes, en lugar de la entrada indiscriminada de fertilizantes químicos; 2) mejorar la estructura del suelo aumentando la actividad y la diversidad de organismos vivos y la proliferación de raíces de las plantas, en lugar de arar; 3) aumentar la disponibilidad de agua verde para conservar la precipitación, reducir las pérdidas por escorrentía y evaporación, moderar la temperatura del suelo y fomentar los sistemas de raíces profundas; 4) controlar la erosión hídrica y eólica con medidas preventivas de mantenimiento de una cubierta vegetal continua, cultivos de cobertura y agricultura de conservación, en lugar de medidas correctivas y estructuras de ingeniería; 5) manejo de la acidez del suelo y desbalance de elementos minerales, mediante biofertilizantes en lugar de aplicar productos químicos; y 6) mejorar la tasa de infiltración de agua en el suelo, al reducir la formación de capas superficiales impermeables (costras), la compactación, el endurecimiento y la desecación, con la utilización de residuos como mulch, cultivos de cobertura y la formación de bioporos mediante la acción de la rizosfera.

Comentarios finales

Se ha presentado el desarrollo de la agricultura contemplando sus orígenes, su presencia en algunas sociedades complejas y también en períodos específicos como la Edad Media y la Edad Moderna. Además, se han reseñado procesos más recientes dentro de la agricultura, como la Revolución verde y el surgimiento de los sistemas de agricultura sostenible.

Así, es posible realizar la siguiente pregunta: ¿existe una relación entre la historia de la agricultura y las propuestas de agricultura sostenible? La agroecología ha manifestado un interés por poner en valor la memoria de la especie humana, la memoria biocultural que permite alcanzar una perspectiva histórica de largo plazo.

Toledo y Barrera-Bassols (2008) han destacado la importancia de la memoria en el quehacer de la etnoecología y la agroecología. Indican que la especie humana posee una memoria que le permite comprender la relación entre los seres humanos y la naturaleza a lo largo de la historia. Entre los tipos de memoria que describen los autores está la memoria cognitiva, que es la que permite describir la historia humana en distintos contextos al prestar especial atención a las formas en que los grupos humanos se han adaptado a las diversas condiciones del planeta. Lamentablemente, la memoria a la cual se hace referencia se encuentra amenazada por la modernidad y sus procesos, que influyen en diversos ámbitos. La época moderna ha hecho que estos recuerdos tan valiosos sean olvidados, haciendo imposible observar el pasado para aprender de él. Además, se ha caracterizado por no visualizar los diferentes tipos de procesos históricos, como son los de corto, medio y largo alcance, debido a un pensamiento que busca constantemente el desarrollo y la modernización.

Al inicio del capítulo se dio a conocer la historia de cuatro sociedades complejas que muestran distintas formas de adaptación y subsistencia a las condiciones del planeta. En primer lugar está la agricultura del antiguo Egipto, que muestra un extenso proceso de acumulación de conocimientos que derivó en la comprensión de las inundaciones generadas por el Nilo y sus implicancias para la agricultura, además de la selección y manejo de una gran diversidad de especies cultivadas y el desarrollo de tecnologías de riego, que permitieron el florecimiento de una agricultura productiva capaz de sostener a una importante población. En segundo lugar está la agricultura de la antigua China, que muestra el desarrollo de la humanidad en esa parte del planeta al describir a las culturas *Yangshao* y *Longshan*, y, por ende, el proceso transición de las sociedades cazadoras-recolectoras hacia sociedades agrícolas sedentarias. Asimismo, se pudo apreciar los aportes realizados por las dinastías *Qin* y *Han*, que trajeron importantes innovaciones como el cultivo de arroz, la labranza, la siembra y la irrigación y que son practicadas incluso en tiempos actuales (Stentiford, 2010; Carter, 2010). En tercer lugar se describió a la antigua Grecia, que se caracterizó por la presencia de sistemas políticos que tenían una importante base en la comunidad agraria y en la agricultura, como lo fue la

conformación de las *polis* como organización social; además, una agricultura diversificada asociada al pastoreo, que fue capaz de adaptarse a distintos nichos y desarrollar una serie de conocimientos y tecnologías que permitieron un mejor aprovechamiento de sus condiciones de vida, tales como la variedad de cultivos adaptados a su medio, el uso de un arado apto para las condiciones de sus suelos agrícolas y una serie de implementos que les permitieron obtener y procesar los frutos de su agricultura. Finalmente, la agricultura incaica, que representa el ápice de una larga historia de relaciones entre el ser humano y la naturaleza, en donde se desarrollaron diversos sistemas agrícolas adaptados a realidades tan opuestas como las presentes en la sierra y en la costa. En ellos se puede encontrar una gran cantidad de conocimientos y experiencias, que hablan sobre técnicas específicas para el cultivo en zonas costeras, de escasez hídrica o incluso el altiplano, como son los *waru-waru*, las *wachaques*, las *qochas*, los sistemas de canalización, el cultivo en terrazas irrigadas, entre otros, los que incluso se mantienen en uso en la actualidad.

Lo anterior habla de la presencia del conocimiento tradicional y en particular de experiencias históricamente acumuladas y transmitidas de generación en generación, que hoy son resguardadas por las culturas no occidentales, como las que poseen, por ejemplo, los pueblos indígenas (Toledo y Barrera-Bassols, 2008). Los autores señalan que la globalización entendida como un proceso que busca homogeneizar, es un fenómeno que va agrietando lentamente la memoria de la especie humana. Con el avance de la modernización industrial la humanidad olvida aspectos relevantes de su conciencia histórica. Para superar esta realidad se necesita un proceso de recuperación de la memoria histórica, ya que innovando a partir de los conocimientos que se han acumulado en el tiempo es posible atender las coyunturas actuales y, además, conocer el proceso histórico desde donde ha surgido la humanidad ofrecerá respuestas a los problemas esta misma ha creado.

Con lo ya expresado, se hace visible la importancia que tiene la historia de la agricultura y el papel que juega en la agroecología, como sistema agrícola sostenible. La perspectiva histórica de largo plazo permite comprender antiguos sistemas agrícolas o procesos agrarios que pueden contribuir a la teoría y práctica agroecológica. De la misma forma, el manejo de distintos sistemas agrícolas, sus implicancias económicas, sus características socioculturales y periodicidad entregan la posibilidad de analizar problemáticas sociales y agrícolas actuales. Así, puede entenderse de mejor forma, por ejemplo, la crisis del calentamiento global, la degradación medioambiental, la actual crisis sanitaria por COVID-19, las crisis sociopolíticas y sus consecuencias sobre la agricultura y sostenibilidad.

Para que esta interacción sea más fluida es necesario que la historia agraria integre nuevas perspectivas disciplinarias. Por ello, tal como lo ha planteado González de Molina (1996), es necesaria una reformulación de los aspectos metodológicos y teóricos con los que se construye la historia agraria, ya sea para avanzar hacia una historia agroecológica, o bien para que esta

constituya un insumo más útil para su quehacer. La construcción del relato histórico agrícola debe incluir conocimientos de áreas tan diversas como las ciencias sociales, humanidades, agronomía, economía, política, ecología, biología, etc., incluyendo la multiplicidad de conocimientos que poseen el campesinado y los pueblos originarios. A propósito de esto, es relevante el trabajo que realizan múltiples investigadores/as para poner en valor los conocimientos tradicionales en sus distintas dimensiones y así concretar este cambio de visión (Toledo y Barrera-Bassols, 2008).

Por otra parte, es posible argumentar que los sistemas sostenibles surgen desde los problemas generados por el modelo de agricultura industrial, como lo son la degradación del ambiente, problemas de salud de las personas y aspectos socioculturales. Las diferentes propuestas sostenibles han sido respaldadas por fundamentos científicos y prácticos en diferentes épocas (en algunos casos incluyen conocimientos tradicionales), pero aun así no logran ser completamente validadas por la sociedad, considerándose únicamente como alternativas. Solo el incremento de los problemas generados por la agricultura convencional ha hecho que estas propuestas adquieran cada vez más relevancia.

Referencias

- Albrecht, W. (1938).** *Loss of Soil Organic Matter and Its Restoration*. USDA, p. 347-360. <http://handle.nal.usda.gov/10113/IND43893598>
- Altieri, M. (2015).** Breve reseña sobre los orígenes y evolución de la Agroecología en América Latina. *Agroecología*, 10 (2),7-8. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300771>
- Amat, O. H. (2014).** Los orígenes de la agricultura: nuevos paradigmas. *Investigaciones Sociales*, 18(33), 53–86. <https://doi.org/10.15381/is.v18i33.10979>
- Bolaños, A. (1991).** Agricultura y minería en el Perú prehispánico. En Comisión Nacional del Quinto Centenario del Descubrimiento de América, Centro cultural de la Villa de Madrid y Sociedad Estatal para la Ejecución de Programas del Quinto Centenario. *Los incas y el antiguo Perú: 3000 años de historia* (Vol. I, pp. 42-57). Madrid. Sociedad Estatal Quinto Centenario.
- Bunson, M. (2002).** *The Encyclopedia of Ancient Egypt*. United States of America: Facts on File, Inc.
- Carter, J. (2010).** Chinese Agricultural Technology Advances. En Rasmussen, R. (Ed.). *Agriculture in History* (Vol. 1, pp. 135-140). Canada. Salem Press.
- Casas, A., Parra, A., Blancas, J., Rangel-Landa, S., Vallejo, M., Figueredo, C. y Moreno-Calles, A. (2016).** Origen de la domesticación y la agricultura: cómo y por qué. En Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. (Ed). *Domesticación en el continente americano* (volumen 1). Perú: Universidad Nacional Autónoma de México - Universidad Nacional Agraria la Molina del Perú.
- Ceccon, E. (2008).** La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias*, 1(91), 21-29.
- David, R. (2003).** *Handbook to life in ancient Egypt*. United States of America: Facts on File, Inc.
- Descartes, R. (2010).** England Undergoes an Agricultural Revolution. En Rasmussen, R. (Ed.). *Agriculture in History* (Vol. 1, pp. 286-292). Canada. Salem Press.
- Deza, J. (2010).** *El agua de los Incas: sistemas de riego en el Perú prehispánico*. Perú: Universidad Alas Peruanas.
- Feller, C., Thuries, L., Manlay, R., Robin, P. and Frossard, E. (2003).** The principles of rational agriculture by Albrecht Daniel Thaer (1752–1828). An approach to the sustainability of cropping systems at the beginning of the 19th century. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(6), 687-698. <https://doi.org/10.1002/jpln.200321233>
- Ferguson, R.S. and Lovell, S.T. (2014).** Permaculture for agroecology: design, movement, practice, and worldview. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34,251-274. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0181-6>

- Fukuoka, M. (1978).** *The one-straw revolution, an introduction to natural farming*. Emmaus: Rodale Press.
- Galgano, M. (2010).** Heavy Plow Increases European Agricultural Yields. En Rasmussen, R. (Ed.). *Agriculture in History* (Vol. 1, pp. 179-184). Canada. Salem Press.
- Gallego, J. (2004).** La agricultura en la Grecia antigua. Los labradores y el despegue de la polis. *Historia Agraria*, (32), 15-35.
- Gliessman, S.R. (2002).** *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. (Ed. español, 359 p). LITOCAT, Turrialba, Costa Rica.
- González de Molina, M. (1996).** Los fundamentos agroecológicos de una historia agraria alternativa. En A. Tortolero (Ed.), *Tierra, agua y bosques: Historia y medio ambiente en el México central* (pp. 401-436). Centro de Estudios Mexicanos y Centromericanos (CEMCA) Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora, Potrerillos Editores, Universidad de Guadalajara.
- Gordon, N. (2010).** Post-Plague Labor Shortages Threaten European Agriculture. En Rasmussen, R. (Ed.). *Agriculture in History* (Vol. 1, pp. 249-254). Canada. Salem Press.
- Gordon, N. (2010b).** Rising Proto-Industrial Economies Draw Workers from Farms. En Rasmussen, R. (Ed.). *Agriculture in History* (Vol. 1, pp. 306-312). Canada. Salem Press.
- Gras, E. (2009).** *Cosecha de agua y tierra: Diseño con permacultura*. Ediciones COAS. Brasil, Colombia y México. <https://www.yumpu.com/es/document/read/56191350/cosecha-de-agua-y-tierra>
- Guamán Poma de Ayala, F. (1980) [1615].** Nueva crónica y buen gobierno. En Pease, F. (Comp.). *Nueva crónica y buen gobierno* (Tomo II). Venezuela. Fundación Biblioteca Ayacucho.
- Hecht, S. (1999).** La Evolución del Pensamiento Agroecológico. En M. Altieri (Ed.), *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Uruguay. Editorial Nordan-comunidad.
- Howard, A. (1940).** *Un Testamento Agrícola*. Chile. Imprenta Universitaria.
- Ikerd, J. (2011).** *Healthy Soils, Healthy People: The Legacy of William Albrecht*. Mizzou University of Missouri. <https://web.missouri.edu/ikerdj/papers/Albrecht%20Lecture%20-%20Healthy%20Soils%20Healthy%20People.htm>
- Isager, S. and Skydsgaard, J. (1992).** *Ancient Greek agriculture: an introduction*. London; New York: Routledge
- Joyce, K. (2003).** An ode to Odum. *BioScience*, 53(12), 1229-1230.

- Katary, S. (2013).** Agriculture, Pharaonic Egypt. En R. Bagnall, K. Brodersen, C. Champion, A. Erskine and S. Huebner (Eds.), *The Encyclopedia of Ancient History* (pp. 214-217). Oxford:Blackwell
- Lal, R. (2020).** Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of soil and water conservation*, 75(5), 123A-124A. <https://doi.org/10.2489/jswc.2020.0620A>.
- Lenzi, A. (2012).** Fundamentos do pastoreio racional voisin. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 7(1), 82-94. <http://www.aba-agroecologia.org.br/ojs2/index.php/rbagroecologia/article/view/10073/pdf>
- Lorandi, A. y del Río, M. (1992).** *La Etnohistoria: Etnogénesis y transformaciones sociales andinas*. Buenos Aires. Argentina: Centro Editor de América Latina.
- Mach, T. (2009).** Masanobu Fukuoka's Enduring Influence on New Agrarian Movements Abroad. *Language and Culture*, 13, 17-35. <http://doi.org/10.14990/00000479>
- Mazoyer, M. y Roudart, L. (2016).** *Historia de las agriculturas del mundo. Del Neolítico a la crisis contemporánea*. España. KRK Ediciones.
- Mollison, B and Slay, R. (1991).** *Introduction to Permaculture*. Tyalgum, Australia: Tagari Publications.
- Moreno, J. (2021).** Egyptian Agriculture in the Bronze Age: Peasants, Landlords, and Institutions. En Hollander, D. and Howe, T. *A Companion to Ancient Agriculture*. (pp. 173-192). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, Inc.
- Murra, J. (2014).** *El mundo andino. Población, medio ambiente y economía*. Lima: IEP/Pontificia Universidad Católica del Perú. (Historia Andina, 24)
- Pagnoux, C. and Zurbach, J. (2021).** Greece and Anatolia, 1200–500 BCE. En Hollander, D. and Howe, T. *A Companion to Ancient Agriculture*. (pp. 267-287). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, Inc.
- Parra, F. y Casas, A. (2016).** Origen y difusión de la domesticación y la agricultura en el Nuevo Mundo. En Casas, A., Torres-Guevara, J. y Parra, F. (Ed). *Domesticación en el continente americano* (volumen 1). Perú. Universidad Nacional Autónoma de México - Universidad Nacional Agraria la Molina del Perú.
- Paull, J. (2011a).** Attending the First Organic Agriculture Course: Rudolf Steiner's Agriculture Course at Koberwitz, 1924. *European Journal of Social Sciences*, 21(1), 64-70.
- Paull, J. (2011b).** Biodynamic agriculture: the journey from Koberwitz to the word, 1924-1938. *Journal of Organic Systems*, 6(1), 27-41.
- Paull, J. (2019).** The Pioneers of Biodynamics in Great Britain: From Anthroposophic Farming to Organic Agriculture (1924-1940). *Journal of Environment Protection and Sustainable Development*, 5(1), 138-145. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02482345/>

- Pfeiffer, E. E. (1992).** *Introducción al método agrícola biodinámico*. Altés-Domínguez, A. (Ed.). (Bordera, V., Trad.) http://laabundancia.org.ar/wp-content/uploads/2015/02/Introduccion_a_la_agricultura_Biodinamica.pdf
- Piamonte, R. (2004).** *Agricultura Biodinámica: Conceptos y contribuciones a la agricultura ecológica*. Uruguay. INTA Las Brujas. http://www.inia.org.uy/online/files/contenidos/link_18052006021432.pdf
- Politis, G., Prates, L., y Pérez, I. (2009).** *El poblamiento de América: arqueología y bio-antropología de los primeros americanos*. Buenos Aires, Argentina. Eudeba.
- Pomeroy, S., Burnstein, S., Donlan, W. y Tolbert, J. (2011).** *La antigua Grecia: Historia política, social y cultural*. (Teófilo de Lozaya, Trad.). España. Editorial Crítica.
- Restrepo, J., Ángel, D. y Prager, M. (2000).** *Agroecología*. República Dominicana. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. (CEDAF).
- Regeneration International (2015).** *Agricultura Regenerativa*. Regeneration International. <https://regenerationinternational.org/Agricultura-Regenerativa>.
- Rodale Institute (2020).** *Our history*. Rodale Institute. <https://rodaleinstitute.org/about/our-story/>
- Rohne, K. (2010).** Scientific Cattle Breeding Is Developed in Europe. In Rasmussen, R. (Ed.). *Agriculture in History*. (Vol. 1, pp. 239-243). Canada. Salem Press.
- Rostworowski, M. (2014).** *Historia del Tahuantinsuyu*. Lima. IEP. (Historia Andina, 41. Obras Completas, VIII).
- Shaw, I. (2007).** *Historia del Antiguo Egipto*. (José Miguel Parra Ortíz, Trad.). España. La Esfera de los Libros. (Obra original publicada en 2000).
- Silva, J. (2000).** Origen de las civilizaciones andinas. En Hampe, T. *Historia del Perú*. (pp. 16-185). España. Lexus editores.
- Stentiford, B. (2010).** Yangshao and Longshan Begin Chinese Agricultural Cultures. In Rasmussen, R. (Ed.). *Agriculture in History*. (Vol. 1, pp. 55-59). Canada. Salem Press.
- Tauger, M. (2011).** *Agriculture in World History*. United Kingdom. Routledge.
- Toledo, V. (2012).** La agroecología en Latinoamérica: tres revoluciones, una misma transformación. *Agroecología*, 6,37-46. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/160651>
- Toledo, V. y Barrera-Bassols, N. (2008).** *La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. España. Editorial Icaria.

- Vogt, G. (2007).** The Origins of Organic Farming. In W. Lockeretz (Ed.), *Organic Farming: an International History*. United Kingdom. CAB International.
- Voisin, A. (1974).** *Productividad de la hierba*. Madrid. Tecnos S.A.
- Waksman, S. (1936).** *Humus: Origin, chemical composition, and importance in nature*. Wavelry Press. INC. The Williams and Wilkins Company. Baltimore. USA. <https://soilcarboncoalition.org/files/Waksman-Humus.pdf>
- Yeomans, P. A. (1954).** *The Keyline plan*. Waite and Bull. Sydney. 101p. <https://soilandhealth.org/wp-content/uploads/GoodBooks/The%20Keyline%20Plan.pdf>



La cosecha (1888). Vicent Van Gogh.

Los agroecosistemas biodiversos bien diseñados exhiben una serie de sinergias que a su vez conducen a una mayor fertilidad integral del suelo, reciclaje y retención de nutrientes, almacenamiento de agua, regulación de plagas y enfermedades, polinización y otros servicios ecosistémicos esenciales, sin depender de insumos externos, sean orgánicos o convencionales. Estos predios agroecológicamente rediseñados constituyen la base para alcanzar su propia autonomía productiva y la soberanía alimentaria de las familias campesinas.



Capítulo 2

La agroecología y su contribución a los objetivos del desarrollo sostenible

Clara Nicholls E.¹

Miguel Altieri S.²

La mayoría de nuestros problemas globales, como la escasez de energía y de agua, la degradación ambiental, el cambio climático, la desigualdad económica, la inseguridad alimentaria y otros, no pueden abordarse de forma aislada, ya que son de naturaleza sistémica, es decir, están interconectados y son interdependientes: cuando uno de los problemas se agrava, los efectos se extienden por todo el sistema exacerbando los otros problemas. Si no se comprende esta dinámica, el logro de los Objetivos del desarrollo sostenible (ODS- Cuadro 2.1) de la Naciones Unidas (UNSDG, 2018) será aún más difícil. De manera similar, si no se aplica un enfoque sistémico se harán evidentes varias limitaciones en la forma en que se abordan los ODS. Por ejemplo, en el caso del ODS₂ *Hambre cero*, centrarse demasiado en aumentar los rendimientos de los cultivos para superar el hambre, no considera adecuadamente el hecho de que el hambre actual no solo es una consecuencia de que los rendimientos sean demasiado bajos o de que los suministros mundiales de alimentos no puedan satisfacer la demanda; más bien se debe a la pobreza, la distribución deficiente de alimentos, el desperdicio de alimentos, la falta de acceso a la tierra y otros aspectos inequitativos del sistema alimentario. Una visión productivista del hambre no altera la concentración del poder económico que determina quién puede o no puede comprar alimentos o tener acceso a semillas, agua y tierra para producirlos. Se necesita abordar las causas del hambre, lo que implica aumentar el acceso a los alimentos, la tierra y los ingresos por parte de los segmentos más pobres de la población. Un cambio transformativo de los sistemas alimentarios dominantes solo se puede lograr diseñando políticas que aseguren que los/as agricultores/as de la agricultura familiar campesina (AFC) tengan acceso a tierra, agua y semillas para cultivar alimentos con prácticas agroecológicas, procesen y distribuyan alimentos localmente a través de mercados solidarios y permitan que los alimentos saludables sean accesibles para todos los segmentos de las sociedades urbanas y rurales, en particular la gente que padece inseguridad alimentaria.

¹ Investigadora y docente. Global Studies-Universidad de California, Berkeley. Co-Directora del Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (CELIA). nicholls@berkeley.edu

² Profesor emérito e investigador. Universidad de California, Berkeley y Co-Director del Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (CELIA). agroeco3@berkeley.edu

El pensamiento sistémico, asociado a una acción integrada, puede hacer avanzar varios ODS simultáneamente y de manera más efectiva que si cada ODS se implementara de forma independiente. Dado que los problemas socioecológicos están interconectados, es necesario abordarlos sistémicamente utilizando soluciones holísticas. La agroecología constituye un ejemplo inspirador de un poderoso enfoque sistémico, ya que consiste en una ciencia que aplica conceptos y principios ecológicos al diseño y manejo de ecosistemas agrícolas sostenibles y como parte de la solución aborda las raíces de los problemas más que los síntomas. Inspirados en los modelos diversificados de la agricultura tradicional, los/as agroecólogos/as promueven la diversificación de cultivos (policultivos, combinaciones de cultivos y ganado, rotaciones, sistemas agroforestales, etc.) como una estrategia ecológica efectiva para introducir más biodiversidad en los agroecosistemas, lo que a su vez proporciona una serie de servicios ecológicos, como la fertilidad natural del suelo, la regulación de plagas, la polinización, etc. La agroecología también incluye una dimensión sociopolítica que aboga implícitamente por la justicia social y la transformación del sistema alimentario industrial (Rosset y Altieri 2017). La agroecología en sus múltiples dimensiones ambientales, sociales y económicas apoya a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como se ilustra en la Figura 2.1.

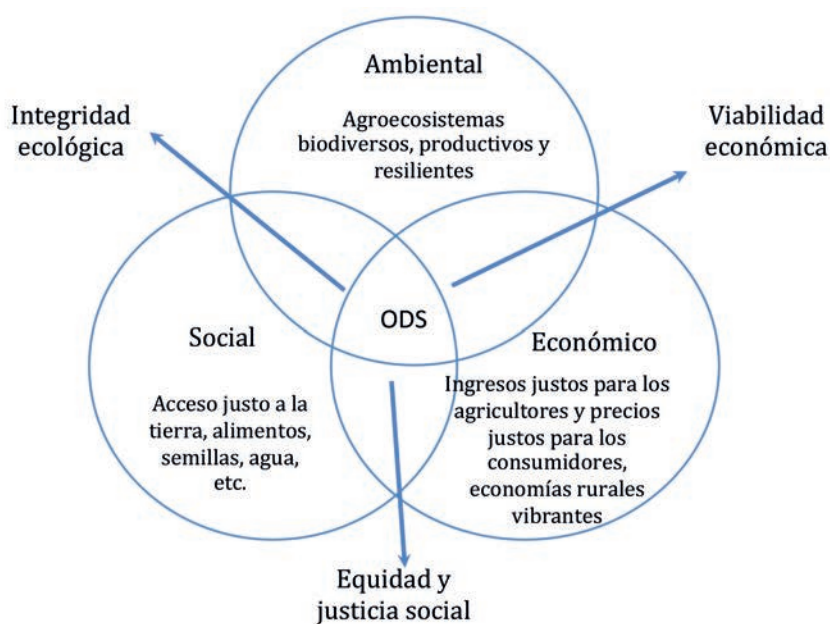


Figura 2.1. El papel de la agroecología en el apoyo a las múltiples dimensiones de los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

La agroecología y los objetivos del milenio

La agroecología está vinculada a todos los ODS y puede contribuir directa e indirectamente al avance de cada uno, al proporcionar estrategias, técnicas y sociales que permitan remodelar los sistemas alimentarios del mundo (Cuadro 2.2). La evidencia científica muestra que la agroecología puede aumentar el rendimiento de los cultivos y la producción agrícola total, aumentar la estabilidad de la producción a través de la diversificación, mejorar la resiliencia de los predios al cambio climático, mejorar las dietas y los ingresos, conservar la biodiversidad y la base de recursos naturales, y reducir la dependencia de los/as agricultores/as de los insumos externos (Altieri *et al*, 2021). Todos estos beneficios son ingredientes esenciales para revitalizar los predios y así mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de las familias de la AFC. La Figura 2.2. ilustra los efectos positivos de la diversificación como estrategia agroecológica para promover la diversidad dietética y la seguridad alimentaria, a la vez que conserva la biodiversidad fomentando servicios ecosistémicos y aumentando la autonomía productiva de los agricultores. Todos estos efectos consolidan la posibilidad de consolidar ODS específicos en comunidades rurales.

Cuando se utiliza una amplia gama de indicadores agroecológicos, es posible evaluar la contribución de los sistemas agrícolas y alimentarios diseñados y manejados basados en los principios de la agroecología, al desempeño de algunos ODS (Cuadro 2.3). Indicadores agroecológicos como productividad, calidad del suelo, reciclaje, biodiversidad, resiliencia y autonomía de los agricultores están directamente vinculados a varios ODS. Además, al mejorar un indicador biológico (productividad, calidad del suelo o biodiversidad), mejoran simultáneamente varios otros indicadores, ya sean sociales o de salud (diversidad nutricional, seguridad alimentaria, autonomía de los/las agricultores/as, etc.), vía por la cual se consigue la sinergia entre los diversos ODS.

Un desafío metodológico consiste en identificar un conjunto de umbrales que cualquier estrategia de producción agrícola debe cumplir para cada indicador (cantidad máxima de emisiones de CO₂, porcentaje mínimo de materia orgánica del suelo, número óptimo de especies y variedades de cultivos, etc.); más allá del umbral las tecnologías agrícolas causan tendencias insostenibles y pueden conducir a fenómenos de punto de inflexión o de no retorno. Solo aquellos estilos de agricultura que cumplan con los criterios establecidos por cada umbral se considerarían formas viables de agricultura que aportan a los ODS, ya que ayudan a avanzar a las comunidades rurales hacia resultados deseables de alimentación, energía, biodiversidad y resiliencia (Altieri *et al* 2012).

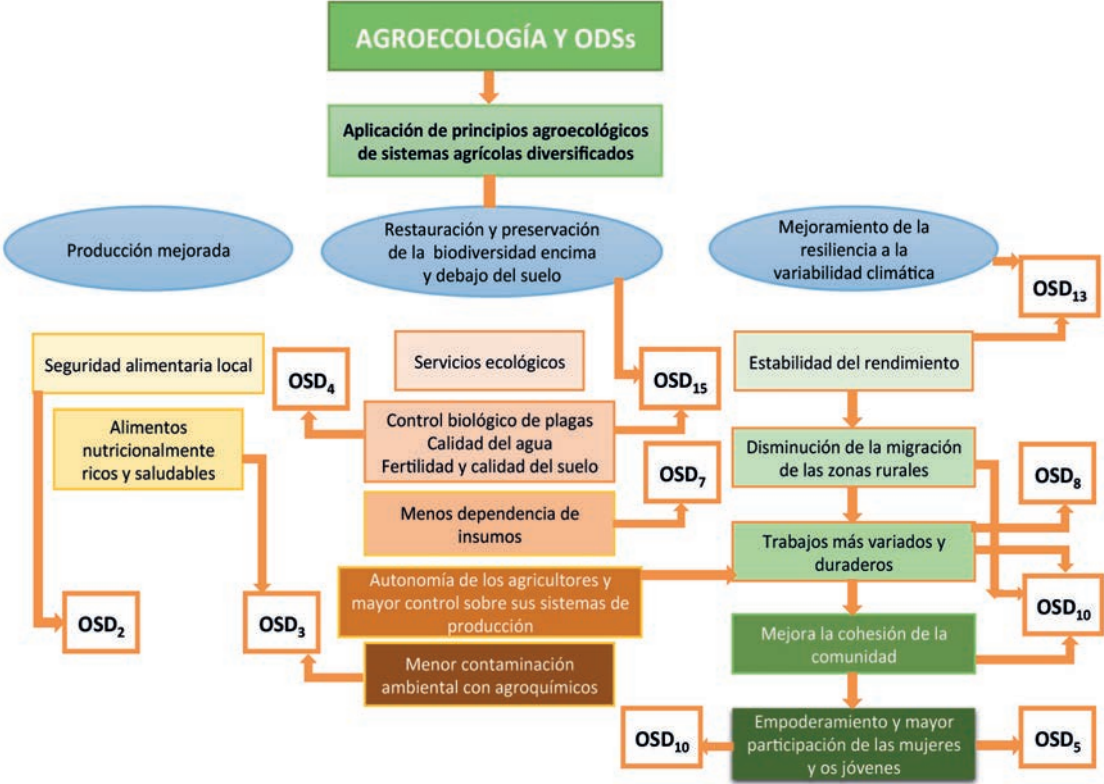


Figura 2.2. Sistemas agrícolas diversificados basados en la agroecología y sinergias entre los resultados y los Objetivos del desarrollo sostenible (ODS).

Cuadro 2.1 Los Objetivos del desarrollo sostenible.

ODS	Objetivos
1	Erradicar la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2	Poner fin al hambre, conseguir la seguridad alimentaria y una mejor nutrición, y promover la agricultura sostenible.
3	Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos/as en todas las edades.
4	Garantizar una educación de calidad inclusiva y equitativa, y promover las oportunidades de aprendizaje permanente para todos/as.
5	Alcanzar la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas.
6	Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos/as.
7	Asegurar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos/as.
8	Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos/as.
9	Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.
10	Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos.
11	Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12	Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.
13	Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
14	Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para lograr el desarrollo sostenible.
15	Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra, y frenar la pérdida de diversidad biológica.
16	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar acceso a la justicia para todos/as y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17	Fortalecer los medios de ejecución y reavivar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

Fuente: (ODS- UNSDG, 2018).

Estudios de caso

Como ilustración de los vínculos entre la agroecología y los ODS₂ y ODS₁₃ se presentan a continuación varios estudios de caso.

Agroecología y ODS₂ (Hambre cero)

La agroecología contribuye al ODS₂ al diversificar los sistemas agrícolas. Un principio clave en agroecología es la diversificación del agroecosistema, lo que resulta en un aumento de la producción total a nivel de predio, sin depender de insumos externos. Con diseños

diversificados (policultivos, sistemas agroforestales, mezclas de cultivos y ganado, etc.) los rendimientos se estabilizan y los agricultores obtienen una variedad continua y diversa de productos animales y vegetales, mejorando así la seguridad alimentaria y la nutrición a nivel familiar y comunitaria (Blesh *et al*, 2019).

Filipinas

Un proyecto implementado por MASIPAG (una red de pequeños/as agricultores/as, investigadores/as y organizaciones no gubernamentales) comparó el desempeño de 280 agricultores/as orgánicos/as, 280 en conversión a la agricultura orgánica y 280 agricultores/as convencionales (Mendoza, 2004). El proyecto determinó que los/as agricultores/as orgánicos/as, especialmente los/as más pobres, mejoraron significativamente su seguridad alimentaria. Las familias que producían alimentos orgánicos comían una dieta más diversa, nutritiva y segura, lo cual mejoró los valores relacionados con la salud. El estudio reveló que tenían una diversidad de cultivos mayor en sus predios, cultivando en promedio un 50% más de especies de cultivos que los/as agricultores/as convencionales. También los predios orgánicos exhibían mejor fertilidad del suelo, menos erosión, mayor tolerancia de los cultivos a plagas y enfermedades. Debido al menor uso de insumos externos, el grupo orgánico obtuvo mayores ingresos netos.

Chile

Desde 1980, el Centro de Educación y Tecnología (CET) ha propiciado programas de desarrollo rural destinados a ayudar a los/as agricultores/as a alcanzar la autosuficiencia alimentaria mediante diseños agroecológicos que permiten reconstruir la capacidad productiva de los predios pequeños. Un enfoque consistió en establecer varios predios modelo de 0.5 ha, con un diseño espacial y temporal con combinaciones de cultivos, forrajes, hortalizas, árboles frutales y animales. Los componentes se eligen de acuerdo con los aportes nutricionales de los cultivos y animales, su adaptación a las condiciones agroclimáticas locales, los patrones locales de consumo de los campesinos y, por último, las oportunidades de mercado. La mayoría de las hortalizas se cultivan cerca de la casa, en camas altas de doble excavación de 11 m², con aplicaciones de compost antes de cada siembra. Cada cama puede producir hasta 83 kg de hortalizas frescas por mes, una mejora considerable en relación a los 20-30 kg producidos en las huertas tradicionales de los hogares. El resto del área, de 200 metros cuadrados que rodea la casa, se utiliza para frutales y animales (vacas, gallinas, conejos y colmenas). Las hortalizas a mayor escala, cereales, legumbres y forraje se producen en un sistema de rotación de seis años, diseñado para proporcionar la máxima variedad de cultivos básicos, aprovechando las propiedades restauradoras del suelo de las rotaciones. Dividiendo la superficie en 6 parcelas rotacionales se logra una producción relativamente constante

(aproximadamente 6 t/año de biomasa útil, de 13 especies de cultivos diferentes). Varias especies de árboles frutales se utilizan como cercos alrededor del predio, produciendo más de 1 tonelada de frutas por año. La producción de leche y huevos es muy superior a la de los predios convencionales. Un análisis nutricional del sistema demostró que después de que una familia típica de cinco personas se ha alimentado, el predio produce un exceso de 250% de proteína, 80% y 550% de vitamina A y C, respectivamente, y 330% de calcio. Un análisis económico indica que el equilibrio entre la venta de excedentes y la compra de alimentos preferidos por la familia proporciona un ingreso neto de US\$ 790 por año que hace 30 años estaba por sobre el sueldo mínimo. En la medida que la rotación se optimiza, disminuyen las necesidades de mano de obra para desmalezar, fertilizar, etc., por lo que la familia dedica progresivamente menos horas por semana a las labores en el predio y utiliza el tiempo libre en otras actividades generadoras de ingresos dentro o fuera de él (Altieri, 1999).

Agroecología y ODS₁₃ (Acción climática)

La agroecología contribuye al ODS₁₃ al mejorar la capacidad de adaptación de los agroecosistemas al cambio climático. El diseño agroecológico enfatiza el mejoramiento de la diversidad y complejidad vegetal en los sistemas agrícolas, reduciendo la vulnerabilidad a los eventos climáticos extremos. La literatura sugiere que los agroecosistemas son más resilientes cuando se insertan en una matriz de paisaje compleja, con sistemas de cultivo genéticamente heterogéneos y diversificados, manejados con suelos ricos en materia orgánica y técnicas de conservación de agua (Altieri *et al.*, 2015). Las aplicaciones de materia orgánica estabilizada contribuyen al secuestro de carbono (además de mejorar la estructura y con ello la retención de agua en el suelo), estrategia clave de mitigación del cambio climático (Guo y Glifford, 2002).

Cuba y América Central

Una encuesta realizada en las laderas centroamericanas después del huracán Mitch mostró que los/as agricultores/as que utilizaban prácticas de diversificación como cultivos de cobertura, cultivos intercalados y agroforestería sufrieron menos daños que sus vecinos que poseían monocultivos convencionales. Después del huracán se realizó una encuesta que movilizó a 100 equipos de agricultores/as para llevar a cabo observaciones pareadas de indicadores agroecológicos específicos en 1804 predios vecinos con manejo agroecológico y convencional. El estudio abarcó 360 comunidades y 24 departamentos en Nicaragua, Honduras y Guatemala. Se descubrió que las parcelas con manejo agroecológico exhibieron entre un 20% y un 40% más de cobertura vegetal, mayor humedad del suelo y menos erosión, y experimentaron pérdidas económicas más bajas que sus vecinos convencionales (Holt-Giménez, 2002).

Cuarenta días después de que el huracán Ike azotara Cuba en 2008, investigadores/as realizaron una encuesta agrícola en las provincias de Holguín y Las Tunas y descubrieron que los predios diversificados exhibieron pérdidas del 50% en comparación con el 90% a 100% en monocultivos vecinos. Asimismo, los predios manejados agroecológicamente mostraron una recuperación productiva más rápida 80-90% (40 días después del huracán) que aquellos convencionales con monocultivos (Rosset *et al.*, 2011).

Colombia

Los sistemas silvopastoriles intensivos son una forma de agrosilvicultura de producción ganadera sostenible, que combina pastos mejorados con arbustos forrajeros de alta densidad, árboles y palmeras. La gran producción de leche y carne en estos sistemas diversificados se logra mediante un pastoreo rotativo con cercos eléctricos y un suministro permanente de agua para el ganado. En el predio El Hatico en el Valle del Cauca, Colombia, un sistema silvopastoril de cinco pisos compuesto por una capa de pastos, arbustos de leucaena (*Leucaena leucocephala*), árboles medianos y una copa de árboles grandes ha permitido en los últimos 18 años aumentar la carga animal a 4.3 vacas lecheras/ha y la producción de leche en 130%, eliminando completamente el uso de fertilizantes químicos. El año 2009 fue el más seco en 40 años de El Hatico, con precipitaciones que disminuyeron en un 44% en comparación con el promedio histórico. A pesar de la reducción del 25% en la biomasa de los pastos, la producción de forraje de árboles y arbustos se mantuvo constante durante todo el año, neutralizando los efectos negativos de la sequía en todo el sistema. En respuesta al clima extremo, el predio tuvo que ajustar sus tasas de almacenamiento y aumentar la suplementación de energía. A pesar de esto, en 2009 la producción de leche del predio fue la más alta registrada, con un sorprendente aumento del 10% en comparación con los 4 años anteriores. Mientras tanto, en predios vecinos y otras partes del país informaron una pérdida severa de peso animal y altas tasas de mortalidad debido al hambre y la sed de los animales. El desempeño productivo de El Hatico durante el período excepcionalmente caluroso y seco del fenómeno de El Niño, ilustra el enorme potencial de los sistemas silvopastoriles como una estrategia de intensificación sostenible para la adaptación y mitigación del cambio climático. Los beneficios combinados de regulación del agua, microclima favorable, biodiversidad y reservas de carbono en los sistemas agrícolas diversificados descritos anteriormente, no solo proporcionan bienes y servicios ambientales para los/as productores/as, sino también una mayor resistencia al cambio climático (Murgueitio *et al.*, 2011).

Cuadro 2.2. Resumen de estudios de caso que muestran cómo la agroecología contribuye a los ODS.

ODS	Contribuciones agroecológicas documentadas	Ejemplos/estudios de caso
<p>1 Fin de la pobreza. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Aumentar los ingresos de los/as agricultores/as. ● Enlaces a mercados alternativos (mercados de agricultores/as, ventas directas al consumidor, programas de almuerzos escolares, etc.) ● Independencia de insumos externos. ● Reducción de la deuda ● Menores costos de producción. 	<p>El sistema push-pull desarrollado por científicos en África consiste en el diseño de sistemas intercalados de cereales con la leguminosa desmodium (<i>Desmodium uncinatum</i>), el pasto napier (<i>Pennisetum purpureum</i>) como borde. Desmodium repele las polillas de tallo y atrae a sus enemigos naturales, mientras que la hierba napier los atrae. Desmodium por ser leguminosa, es muy eficaz en la supresión de la maleza parasítica striga (<i>Striga hermonthica</i>) mientras mejora la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno y al mejorar el contenido de materia orgánica. Ambas plantas asociadas proporcionan forraje animal de alto valor, facilitando la producción de leche y diversificando las fuentes de ingresos de los agricultores, lo que conduce a obtener ingresos totales positivos que van desde US\$351/ha- en áreas de bajo potencial hasta US\$957/ha en las áreas de alto potencial.</p> <p>https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3928888/</p>
<p>2 Hambre cero. Poner fin al hambre lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistemas agrícolas diversificados. ● Mejora de la producción total del predio. ● Autosuficiencia alimentaria a nivel agrícola y comunitario. 	<p>Un análisis de 40 proyectos y programas agroecológicos en 20 países africanos mostró que los agricultores eran capaces de aumentar la producción de alimentos mediante la adopción de prácticas agroecológicas. En las 12,8 millones de hectáreas de estos proyectos, los rendimientos de los cultivos aumentaron en promedio en 2,13 veces (es decir, un poco más del doble), en un período de 3 a 10 años. Este proceso dio lugar a un aumento de la producción de alimentos de 5,79 millones de toneladas al año, lo que equivale a 557 kg por familia campesina.</p> <p>https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3763/ijas.2010.0583</p>
<p>3 Salud y bienestar. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos/as en todas las edades.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Los sistemas de producción más diversos contribuyen a dietas domésticas más diversas. ● Acceso a la comida local. ● Alimentos sin pesticidas. ● Mayor producción nutricional. ● Verduras y frutas con mayor contenido en antioxidantes y vitaminas. ● Seguridad alimentaria a nivel agrícola y local. ● Reducción de la incidencia de enfermedades crónicas (ej. diabetes, hipertensión, etc.) 	<p>Un meta análisis basado en 343 publicaciones revisadas por pares encontró diferencias estadísticamente significativas en la composición de alimentos de cultivos orgánicos y no orgánicos. Las concentraciones de una gama de antioxidantes, como los polifenólicos, eran sustancialmente más altas en los alimentos a base de cultivos orgánicos, lo mismo que los de ácidos fenólicos, flavanonas, estilbenos, flavones, flavonoles y antocianinas. Muchos de estos compuestos se han relacionado anteriormente con un menor riesgo de enfermedades crónicas, incluyendo las neurodegenerativas y ciertos tipos de cáncer, en la intervención dietética y estudios epidemiológicos. Además, se encontró que la frecuencia de aparición de residuos de plaguicidas era cuatro veces mayor en los alimentos de cultivos convencionales y que contenían concentraciones significativamente más altas del Cd de metal tóxico.</p> <p>https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4141693/</p>

Continuación Cuadro 2.2.

		<ul style="list-style-type: none"> ●Alta participación comunitaria, reciprocidad, solidaridad, etc.) 	
4	<p>Educación de calidad. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos/as.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●Campesino a Campesino (Pedagogía Campesina). ●Intercambio horizontal de información entre agricultores/as. ●Faros como módulos de demostración. ●Escuelas de agricultores (IALAs) ●Habilidades y capacidades locales mejoradas. 	<p>En Cuba los campesinos han podido impulsar la producción de alimentos sin los escasos y costosos productos químicos agrícolas importados, haciendo una transición a sistemas agroecológicos más integrados y diversos. Esta transición masiva fue posible gracias a la adopción de la metodología pedagógica Campesino a Campesino (CAC) por parte de la Asociación Nacional de Pequeños Agricultores (ANAP). El CAC permitió la rápida propagación de la agroecología, en gran medida, debido a la metodología de los procesos sociales y la dinámica del movimiento social. A medida que los/as agricultores/as intercambiaban información, las prácticas agrícolas evolucionaron con el tiempo y contribuyeron a aumentar significativamente la producción relativa y absoluta del sector campesino, lo que resultó también en beneficios adicionales como la resiliencia al cambio climático. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03066150.2010.538584</p>
5	<p>Igualdad de género. Lograr la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de todas las mujeres y niñas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●Mayor participación y empoderamiento de las mujeres. ●Uso del conocimiento de la mujer en todas las actividades. ●Reconocimiento del papel clave de la mujer en la agricultura ●Incorporación de la perspectiva del ecofeminismo 	<p>Varias mujeres organizadas en el marco de la Asociación campesina (Asociación Sénégalaise de Producteurs de Semences Paysannes (ASPSP) que vincula a 15 organizaciones regionales de agricultores, con un total de 63 mil miembros, la mayoría de los cuales son mujeres, reciben formación en agroecología y conservación de semillas. El ASPSP promueve la autonomía de las semillas mediante la recolección y el fomento de la producción de variedades de semillas locales y ayuda a los grupos de mujeres a construir conocimientos agrícolas empíricos, mejorar su autonomía sobre la producción de alimentos y compartir prácticas agroecológicas que aumentan el rendimiento. https://www.oaklandinstitute.org/sites/oaklandinstitute.org/files/Women_Association_Senegal.pdf</p>
6	<p>Agua limpia y saneamiento. Garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación sostenible y el saneamiento para todos/as.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●Restauración de cuencas hidrográficas. ●Menos erosión del suelo y sedimentos. ●Recolección y conservación de agua ●Mayor acceso al agua para el consumo. familiar y la agricultura ●Basura natural para agua clara. 	<p>"Agua para siempre" fue creada en 1988 por una ONG llamada Alternativas y Procesos de Participación Social. Esta organización trabaja en la Mixteca, en las fronteras de los estados mexicanos de Puebla y Oaxaca e incluye una gran parte del Valle de Tehuacán donde la escasez de agua afecta a más de 250 mil habitantes rurales. En colaboración con las comunidades locales, la ONG ha emprendido un programa masivo de restauración de 35 cuencas hidrográficas, promoviendo una serie de prácticas agroecológicas para cosechar agua de manera efectiva y conservar los suelos para una producción sostenible. El proyecto ha desarrollado 7.500 obras hidráulicas en comunidades de la región, beneficiando</p>

Continuación Cuadro 2.2.

			a unos 205 mil habitantes en 200 comunidades. El agua cosechada se utiliza a nivel doméstico para uso de la familia, subsistencia animal y principalmente agricultura de subsistencia produciendo maíz, frijoles y amaranto. https://agua.org.mx/agua-para-siempre-2/
7	Energía asequible y no contaminante. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos/as.	<ul style="list-style-type: none"> ● Biogás. ● Estufas eficientes. ● Paneles solares. ● Biocombustibles producidos localmente para maquinaria. ● Molinos. ● Trabajo humano/animal. 	En "Finca bioagricultura Casa Blanca" (Perú) se construyó un biodigestor de 10 m ³ para la producción de biogás y fertilización orgánica utilizando como principal insumo el estiércol producido a partir de 300 cuyes (<i>Cavia porcellus</i>), el resultado es la producción de 3 m ³ de biogás por día. Un biodigestor más pequeño de 5 m ³ fue diseñado para pequeños agricultores utilizando el estiércol de 150 cuyes, el resultado la producción de biogás suficiente para cubrir la mayoría de las necesidades de cocción de una familia de cinco integrantes. http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-30-numero-1/1028-casablanca-biogas-para-la-familia-campesina
8	Trabajo decente y crecimiento económico. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos/as.	<ul style="list-style-type: none"> ● Proporcionar empleos significativos, decentes, variados y duraderos. ● Tareas más creativas, diversas y menos monótonas. ● Mejor entorno de trabajo (sombra, descanso, etc.) 	La agroecología incentiva la producción, el procesamiento y el consumo de alimentos locales, lo que a su vez crea más puestos de trabajo en la agricultura. En Brasil, la agricultura familiar crea 3 veces más oportunidades de trabajo que la agroindustria. Un metanálisis reciente encontró que en los países donde aumentó la diversidad de cultivos, también se generaban más empleos agrícolas. La diversificación de cultivos proporciona un sistema de empleo extendido o durante todo el año y los/as agricultores/as y/o trabajadores/as pueden proporcionar un mejor nivel de vida para sus familias al tener un empleo continuo en un solo lugar. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800918314514
9	Industria, innovación e infraestructura. Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.	<ul style="list-style-type: none"> ● Infraestructura para la conservación del agua y el suelo. ● Fabricación de implementos agrícolas. ● Métodos artesanales de procesamiento y almacenamiento de alimentos. ● Gastronomía local ● Producción de insumos locales. 	La "Finca del medio" es un predio de 10 hectáreas ubicada en Sancti Spiritu, representativa de un típico predio familiar en Cuba, manejada por la familia Casimiro-Rodríguez. Desde 1995 el predio ha sido objeto de una conversión agroecológica radical, para la cual un implemento de multiarado tirado por tracción animal, inventado por los/as agricultores/as, fue fundamental para superar las limitaciones laborales durante la transición. El multiarado es útil para mejorar el suelo: remedia la compactación, incorpora eficientemente residuos de cultivos, mejorando la estructura del suelo, controla las malezas y permite la plantación de gran variedad de cultivos, dada la capacidad de ajuste del ancho de las filas, la profundidad de la plantación, etc. http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202009-1/04-JC21a.pdf

Continuación Cuadro 2.2.

<p>10 Reducción de las desigualdades. Reducir la desigualdad en y entre los países.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Acceso equitativo a la tierra, las semillas, el agua y el conocimiento. ● Toma de decisiones más democrática. 	<p>Los sistemas de producción de alimentos a pequeña escala son los que proporcionan la mayor parte de los alimentos en África y dependen de variedades locales de semillas que se adaptan a las condiciones de cultivo y sabores locales. En Zimbabue, las variedades que tienen los/as agricultores/as locales proporcionan más del 70% de los alimentos básicos en diversas formas, como el pan, la sadza (maíz), el maheu (una bebida tradicional no alcohólica), el aceite de cocina, la cerveza elaborada para el consumo local y las prácticas culturales. Los/as agricultores/as de Senegal coincidieron en que las semillas locales producen los cultivos de mejor rendimiento para sus familias. Los/as agricultores/as plantan y replantan estas semillas de temporada en temporada, a veces en mezclas de variedades y con otros cultivos, aumentando así la resiliencia y la productividad general. Los/as agricultores/as seleccionan, salvan, comparten e intercambian semillas entre ellos, dentro de sus comunidades y con agricultores de una región más amplia. Con el fin de compartir semillas y conocimientos más ampliamente, los agricultores organizan ferias de semillas, construyen bancos comunitarios de semillas y reciben capacitación práctica sobre el uso de las antiguas prácticas de ahorro de semillas y gestión de semillas. https://www.grain.org/en/article/6035-the-real-seeds-producers-small-scale-farmers-save-use-share-and-enhance-the-seed-diversity-of-the-crops-that-feed-africa</p>
<p>11 Ciudades y comunidades sostenibles. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Circuitos alimentarios cortos. ● Agricultura urbana. ● Vínculos más estrechos entre productores y consumidores. ● Greening o ecologización de lotes vacíos. ● Nuevas oportunidades de empleo. ● Participación comunitaria. 	<p>La agricultura urbana de base agroecológica utiliza tierras y techos vacíos ociosos en todas las ciudades para la producción de alimentos saludables y libres de pesticidas. Agregar espacios verdes a un vecindario, incluyendo jardines comunitarios y predios urbanos, es valorado por proporcionar una serie de beneficios sociales, de salud, económicos y ambientales. https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1044&context=mes_capstones</p>
<p>12 Producción y consumo responsables. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Reducción del desperdicio de alimentos. ● Concienciación del consumidor sobre cómo se producen los alimentos. ● Reciclaje de residuos agrícolas. ● Métodos de producción agroecológica. ● Prácticas alternativas del sistema alimentario. 	<p>Los trabajos realizados en muchos países en América Latina y los resultados reportados en la literatura sugieren que los agroecosistemas diversificados son más resilientes cuando se insertan en una matriz paisajística compleja, con germoplasma local adaptado, con suelos ricos en materia orgánica y prácticas de cosecha y conservación de agua. Se proporcionan ejemplos de predios que han resistido el impacto de huracanes en Cuba y Centroamérica. https://www.researchgate.net/profile/Clara_Nicholls/publication/276291228_Agroecology_and_the_design_of_climate_change-resilient_farming_systems/links/555614ed08ae6943a8733699.pdf</p>

Continuación Cuadro 2.2.

<p>13 Acción por el clima. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistemas agrícolas resistentes. ● Mitigación mediante el uso de sistemas de entrada bajos. ● Secuestro de carbono. 	<p>Los trabajos realizados en muchos países en América Latina y los resultados reportados en la literatura sugieren que los agroecosistemas diversificados son más resilientes cuando se insertan en una matriz paisajística compleja, con germoplasma local adaptado, con suelos ricos en materia orgánica y prácticas de cosecha y conservación de agua. Se proporcionan ejemplos de predios que han resistido el impacto de huracanes en Cuba y Centroamérica.</p> <p>https://www.researchgate.net/profile/Clara_Nicholls/publication/276291228_Agroecology_and_the_design_of_climate_change-resilient_farming_systems/links/555614ed08ae6943a8733699.pdf</p>
<p>14 Vida submarina. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Reducción de nitrato y la escorrentía de fósforo. ● Reducción de la erosión y sedimentación del suelo. ● Promoción de la agricultura orgánica y prácticas de conservación. 	<p>La zona muerta en el golfo de México es principalmente el resultado de la escorrentía de nutrientes derivados de fertilizantes aplicados a tierras agrícolas en la cuenca del río Mississippi. La escorrentía transporta nutrientes que drenan en el río Mississippi, que fluye hacia el golfo de México. El exceso de nutrientes estimula el crecimiento excesivo de algas, que cuando se descomponen, consumen oxígeno y agotan el suministro disponible para una vida marina saludable, creando "zonas muertas". Una estrategia clave para revertir este problema es ayudar a mantener los nutrientes en los campos y fuera de las vías fluviales por medio de diferentes prácticas agrícolas, como el uso de cultivos de cobertura, la labranza reducida, la rotación de cultivos y el manejo de nutrientes que beneficia tanto a los agricultores como al medio ambiente.</p> <p>https://www.e-education.psu.edu/geog3/node/1114</p>
<p>15 Vida de ecosistemas terrestres. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Conservación in situ de las semillas locales. ● Conservación y mejora de la diversidad vegetal. ● Mejora de la biota del suelo. ● Eliminación de agroquímicos tóxicos. ● Sistemas agroforestales que albergan biodiversidad. ● Restauración de la matriz paisajística que a su vez proporciona hábitat para la vida silvestre. 	<p>Los sistemas tradicionales de café y cacao con sombra (sistemas agroforestales) a pequeña escala manejados por la mayoría de los agricultores indígenas en México y Centroamérica son importantes repositorios de riqueza biológica para diferentes grupos (árboles y epifitas, mamíferos, aves, reptiles, anfibios y artrópodos).</p> <p>https://www.researchgate.net/profile/Victor_Toledo9/publication/227694883_Biodiversity_Conservation_in_Traditional_Coffee_Systems_of_Mexico/links/5a1d6cb045851537318993b1/Biodiversity-Conservation-in-Traditional-Coffee-Systems-of-Mexico.pdf</p> <p>http://edepot.wur.nl/250675</p>

Continuación Cuadro 2.2.

<p>16 Paz, justicia e instituciones sólidas. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos/as y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Justicia alimentaria. 	<p>En el conflicto de décadas en Colombia, muchas comunidades indígenas, afrocolombianas y campesinas han adoptado la agroecología como una opción política para movilizar sus conocimientos tradicionales, hacer un uso eficiente de su biodiversidad y recursos naturales, incluyendo el suelo y el agua, a través de un trabajo comunitario organizado destinado a revitalizar sus sistemas de producción y sus medios de vida. En particular para los grupos de mujeres en Antioquia y Tolima la agroecología representa una estrategia que ayuda a las mujeres a hacer frente a la guerra y a alimentar a sus familias. En su enfoque hacia la construcción de la paz a nivel territorial, estos grupos fortalecen su base organizativa con el fin de legalizar el control de los territorios colectivos libres de agroquímicos y OMG, con el fin de ampliar los sistemas agroecológicos y los mercados locales.</p> <p>https://www.researchgate.net/publication/313959449_La_agroecologia_como_opcion_politica_para_la_paz_en_Colombia</p>
<p>17 Alianzas para lograr los objetivos. Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Organizaciones y cooperativas de agricultores/as. ● Cooperativas de consumidores/as. ● Alianzas entre científicos, ONG, gobiernos locales, organizaciones de campesinos/agricultores. ● Movimientos sociales rurales. 	<p>La Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) proporciona un espacio organizado para apoyar y compartir su trabajo. SOCLA está compuesta por más de 800 miembros de 14 países, la mayoría de ellos investigadores/as, profesores/as, extensionistas agrícolas y estudiantes, involucrados en la investigación, la enseñanza, la promoción y la difusión de la agroecología en todas sus dimensiones científicas en toda la región. Para que este trabajo académico, agroecológico sea relevante para las realidades de América Latina rural, y en particular para los/as campesinos/as, indígenas y familiares, SOCLA ha establecido estrechos vínculos de colaboración con CLOC-vía Campesina (Coordinadora Latinoamericana de Asociaciones del Campo) y MAELA (Movimiento Agroecológico de América Latina y el Caribe) y muchas otras organizaciones. El objetivo de SOCLA es promover el desarrollo de la agroecología como base científica de una estrategia de desarrollo rural sostenible en América Latina, que haga hincapié en la soberanía alimentaria, la conservación de los recursos naturales y la agrobiodiversidad, y empodere a los movimientos sociales rurales. Para lograr sus objetivos SOCLA organiza un congreso científico cada dos años, varios cursos cortos de capacitación en varios países, produce publicaciones sobre temas clave y mantiene grupos de trabajo que proporcionan información, análisis y asesoramiento técnico a una serie de organizaciones de la sociedad civil y agricultores/as involucrados/as en la agroecología en la región.</p> <p>https://www.socla.co</p>

Cuadro 2.3. Indicadores agroecológicos para evaluar el desempeño de los ODS directa o indirectamente impactados por estrategias agroecológicas.

Indicador	Unidades críticas	ODS 1	ODS 2	ODS 3	ODS 4	ODS 5	ODS 6	ODS 7	ODS 8	ODS 9	ODS 12	ODS 13	ODS 15
Productividad	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento (ton/ha). Producción total/predio. Uso equivalente de la tierra (UET). 	●	●	●							●		
Calidad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> % de materia orgánica. Cubiertas del suelo. Actividad biológica. 		●	●									●
Biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> Matriz del paisaje. Diversidad de cultivos. Diversidad genética. Fauna benéfica. 			●						●			●
Emisiones de CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> Masa (ton/ha). 											●	
Secuestro de CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> Por encima y por debajo del suelo. Masa (ton/ha). 											●	
Resiliencia	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de rendimiento (%). Tasa de recuperación. Capacidad de respuesta de los/as agricultores/as. 	●	●	●									
Seguridad alimentaria	<ul style="list-style-type: none"> Producción de nutrientes. Producción de alimentos por la familia (%). Producción agrícola. 		●	●						●		●	
Conservación del agua	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia en el uso del agua (%). Agua almacenada en el suelo (%). Capacidad de recolección de agua (%). 		●				●						
Uso de energía	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia energética. Energía producida en el predio (%). 							●					
Autonomía de los/as agricultores/as	<ul style="list-style-type: none"> Independencia de insumos externos. Insumos que entran en el predio (%). Costos de producción. 	●	●	●									
Participación social y cohesión	<ul style="list-style-type: none"> Mujeres y jóvenes involucrados en la toma de decisiones y actividades sobre el terreno (%). 			●	●								

Continuación Cuadro 2.3.

Indicador	Unidades críticas	ODS 1	ODS 2	ODS 3	ODS 4	ODS 5	ODS 6	ODS 7	ODS 8	ODS 9	ODS 12	ODS 13	ODS 15
Reciclaje	<ul style="list-style-type: none"> ● Biomasa incorporada al suelo (%). ● Uso de estiércol, abonos verdes, compost, etc. 			●								●	
Condiciones de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> ● Diversidad de tareas. ● Trabajo durante todo el año. ● Buenas condiciones de trabajo. 			●					●				
Economía	<ul style="list-style-type: none"> ● Mercados locales. ● Precios justos para agricultores/as y consumidores/as. ● Consumidores/as leales. 										●		

Comentarios finales

Invertir en agroecología, como una vía estratégica para el desarrollo agrícola, es clave para alcanzar varios ODS en forma simultánea. Cientos de programas e iniciativas con orientación agroecológica han demostrado un gran potencial, especialmente al reducir la pobreza, mejorar la seguridad alimentaria a nivel local, conservar y utilizar la biodiversidad para fortalecer los servicios ecosistémicos, restaurar los recursos del suelo y agua, divorciar a los predios de su dependencia de los agroquímicos y combustibles fósiles y mejorar la adaptabilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático. Las contribuciones de la agroecología para alcanzar los ODS se pueden medir a través de un conjunto de indicadores ecológicos, culturales, sociales, y económicos.

Con el fin de desbloquear el potencial de la agroecología para ayudar en el logro de los ODS, existe una necesidad urgente de reformas en políticas agrarias, en las instituciones y sus agendas de investigación y desarrollo, para garantizar que las alternativas agroecológicas se adopten extensamente, sean equitativas y ampliamente accesibles. Una vía importante para desatar los procesos de amplificación de la agroecología es identificar y analizar cientos

de iniciativas locales y dispersas en todo el mundo, que han permitido que la agroecología se difunda más allá de meras experiencias locales aisladas para incluir a más familias de agricultores/as en los territorios. Hay varios estudios que documentan como algunas de estas iniciativas conducen a la amplificación de los principios y prácticas agroecológicas entre las personas dedicadas a la agricultura, integrando la práctica y la ciencia a nivel de predio y paisaje. Los agroecosistemas biodiversos bien diseñados exhiben una serie de sinergias que a su vez conducen a una mayor fertilidad integral del suelo, reciclaje y retención de nutrientes, almacenamiento de agua, regulación de plagas y enfermedades, polinización y otros servicios ecosistémicos esenciales, sin depender de insumos externos, sean orgánicos o convencionales. Estos predios agroecológicamente rediseñados constituyen la base para alcanzar su propia autonomía productiva y la soberanía alimentaria de las familias campesinas (Rosset y Altieri 2017).

Con el fin de mejorar la viabilidad económica para la amplificación de las iniciativas agroecológicas, también deberían desarrollarse oportunidades equitativas de mercado local y regional. La experiencia muestra que las políticas pueden apoyar la transición hacia el manejo agroecológico si aseguran que esta alternativa se adopte ampliamente y que la producción resultante encuentre salidas garantizadas en los mercados locales o sociales. Se debe hacer especial ahínco en la participación activa de los/as agricultores/as en el proceso de innovación y difusión tecnológica a través de metodologías horizontales como campesino a campesino que se centran en compartir experiencias, fortalecer la innovación local y las capacidades de resolución de problemas.

Se necesita, además, de la creación de coaliciones que puedan fomentar rápidamente la difusión de la agroecología entre los/as agricultores/as, las organizaciones de la sociedad civil, incluidos los consumidores/as y las organizaciones de investigación cuyos fines sean relevantes y comprometidos. La transición hacia la agroecología para una agricultura socialmente justa, económicamente viable y ambientalmente racional, será el resultado de la acción coordinada de movimientos sociales emergentes en el sector rural, en alianza con organizaciones de la sociedad civil, que se comprometen a apoyar los objetivos de los movimientos de estos agricultores. Centrar las políticas agrícolas y alimentarias en la agroecología, como estrategia principal para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) universalmente adoptados, puede transformar rápidamente la forma en que se producen y consumen alimentos, al tiempo que se abordan desafíos globales, que incluyen el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la pobreza y el deterioro de la salud.

Una de las lecciones que deja la pandemia del COVID-19 es que la producción de alimentos debe quedar en la manos de campesinas/os, porque es la única manera de garantizar una provisión local de alimentos sanos y accesibles, lejos de las cadenas alimentarias globalizadas, que como ha demostrado la crisis actual, son frágiles y altamente vulnerables.

Referencias

- Altieri, M. A. (1999).** Applying agroecology to enhance productivity of peasant farming systems in Latin America. *Environment, Development and Sustainability* 1(3/4), 197–217. doi:10.1023/A:1010078923050
- Altieri, M.A, Nicholls, C. I., Henao, A. and Lana, M.A. (2015).** Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development* 35(3), 869–890. doi:10.1007/s13593-015-0285-2
- Altieri, M.A., Koohafkan, P. y Holt-Giménez, E. (2012).** Agricultura verde: fundamentos agroecológicos para diseñar sistemas agrícolas biodiversos, resilientes y productivos. *Agroecología* 7(1), 7–18. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/170961>
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Astier, M., Vázquez, L., Heano, A. e Infante, A. (2021).** *Documentando la evidencia en agroecología: una perspectiva Latinoamericana*. Boletín Científico 5. Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (CELIA), Medellín. <http://celia.agroeco.org/wp-content/uploads/2021/07/Evidencias-agroecologicas-CELIA-Boletin-5.pdf>
- Blesh, J., Hoey, L., Jones, A. D., Friedmann, H. and Perfecto, I. (2019).** Development pathways toward “Zero Hunger”. *World Development* 118, 1-14. doi:10.1016/j.worlddev.2019.02.004
- Guo, L.B., Gifford, R.M. (2002).** Soil carbon sequestration and land-use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8(4), 345–360. doi:10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x
- Holt-Giménez, E. (2002).** Measuring farmers’ agroecological resistance after hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture, Ecosystems and Environ* 93(1-3), 87–105. doi:10.1016/S0167-8809(02)00006-3
- Mendoza, T.C. (2004).** Evaluating the benefits of organic farming in rice agroecosystems in the Philippines. *Journal of Sustainable Agriculture*, 24(2), 93-115. doi:10.1300/J064v24n02_09
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A. and Solorio, B. (2011).** Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261(10), 1654–1663. doi:/10.1016/j.foreco.2010.09.027

Rosset, P.M., Machín-Sosa, B., Roque-Jaime, A.M., Avila-Lozano, D.R. (2011). The Campesino-to-Campesino agroecology movement of ANAP in Cuba: social process methodology in the construction of sustainable peasant agriculture and food sovereignty. *The Journal of Peasant Studies* 38(1):161–191. doi:10.1080/03066150.2010.538584

Rosset, P.M. and Altieri, M.A. (2017). *Agroecology: Science and politics*. Fernwood Publishing. (160 p). Nova Scotia, Canada.

UNSDG, (2018). *Desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: desafíos y ejes de política pública*, Grupo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe, Panamá. <https://unsdg.un.org/sites/default/files/Desaf%C3%ADos-y-Estrategias-para-el-Desarrollo-sostenible-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>



La comida (1891). Paul Gauguin.

El derecho a la alimentación es el derecho de toda persona, individual o colectivamente, a tener acceso físico y económico, en todo momento, a alimentos suficientes, adecuados y culturalmente aceptables que se produzcan y consuman de manera sostenible, preservando el acceso a los alimentos para las generaciones futuras.



Capítulo 3

Agroecología y sostenibilidad alimentaria

René Montalba¹

Johanna Jacobi²

Stephan Rist³

Desde su redescubrimiento docto (desde la academia), la agroecología ha centrado su atención en todo tipo de procesos agrarios y del desarrollo rural, siendo por esencia los agroecosistemas y las comunidades rurales las unidades de análisis-acción principal. Sin intención de abandonar este tradicional nivel de análisis-acción, el cual desde la agroecología es considerado un deber ético y moral, se estima que las tensiones y discusiones entre distintas concepciones y modelos de desarrollo agrario y alimentario requieren otro nivel de análisis, ya que no solo involucran a los sistemas de producción, sino que también a los sistemas de almacenamiento-distribución, así como los sistemas y procesos vinculados al consumo de alimentos. Entonces, existe la necesidad de un nivel de análisis-acción que incorpore tanto estos tres sistemas (producción-distribución-consumo) como sus interacciones, tensiones e influencias políticas y dinámicas de poder, al mismo tiempo que considere las interacciones con un ambiente bioecológico, que provee recursos y funciones, y los impactos profundos en la calidad de vida y felicidad de las personas. En este documento se plantea la adopción de los sistemas alimentarios como foco de análisis-acción de la agroecología, incorporando el rico desarrollo teórico y metodológico de la última década en la materia, y de la perspectiva de sostenibilidad alimentaria, la cual no solamente considera los distintos subsistemas, implicancias sobre la base de recursos y funciones ambientales y la calidad de vida-felicidad de las personas, sino que también orientaciones y lineamientos para la definición de metas democráticamente establecidas sobre los sistemas alimentarios que se requieren.

A diferencia del inglés, en el cual hay relativa claridad en el concepto *Sustainability* (*Sustainable*), en el debate técnico científico, político y cotidiano en los distintos países de lengua hispana suele hablarse de sustentabilidad (sustentable) y sostenibilidad (sostenible)

¹ Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de La Frontera. rene.montalba@ufrontera.cl

² Investigadora. Centro de desarrollo y sustentabilidad (CDE), Universidad de Berna (Suiza). johanna.jacobi@unibe.ch

³ Profesor Asociado. Instituto de Geografía. Universidad de Berna (Suiza). stephan.rist@cde.unibe.ch

para referirse, por un lado, a procesos o sistemas que por distintas vías mantienen en el tiempo su productividad, identidad o función; y por otro, a la perspectiva definida por primera vez en el informe de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas (WCED, 1987), desde la cual se plantea la integración de elementos y criterios económico-productivos, ecológico-ambientales y socio-culturales, desde una perspectiva de justicia intergeneracional. Si bien desde algunos contextos locales y nacionales hay ciertos consensos en que sustentabilidad correspondería a la primera situación y sostenibilidad a la perspectiva más compleja, esto cambia de país en país e inclusive de acuerdo a las comunidades (científicas o técnicas), lo cual es fácilmente constatable tanto en documentos científicos, normativas-legislaciones, como en la prensa y documentos en línea. De esta forma, tanto si se habla de sostenibilidad como de sustentabilidad, en lengua castellana se requiere de una aclaración respecto del concepto en cuestión. Con fines de homogeneización, en este documento utilizaremos sostenibilidad (y sostenible) referido a la perspectiva compleja (WCED, 1987), lo cual no implica desconocer que otros países, comunidades científicas y marcos normativos utilizan la palabra sustentable (sustentabilidad) para esta misma definición.

Sistemas agroalimentarios: surgimiento, transformación y crisis de sostenibilidad de los modelos dominantes

Como se trata en detalle en el Capítulo 1, el inicio del desarrollo de la agricultura se remonta hace aproximadamente 10.000 años, constituyendo la principal innovación tecnológica-cultural que permitió al ser humano modificar su forma de vida nómada a sedentaria y en definitiva, tuviese la posibilidad de crear civilización. Tanto el desarrollo como la expansión de la agricultura se consideran como el producto de un proceso de coevolución, o evolución conjunta, entre los seres humanos y la naturaleza, proceso mediante el cual se domesticaron más de 600 especies de animales y vegetales, las cuales con el tiempo pasaron a constituirse en la base de los sistemas alimentarios de gran parte de la humanidad (Diamond, 1998; Norgaard y Sikor, 1999). En la medida que diversos grupos humanos adaptaban y adoptaban la agricultura, debieron adaptar tanto las especies domesticadas como las prácticas de manejo en función a sus condiciones bioecológicas específicas (clima, suelo, etc.) y a sus requerimientos culturalmente determinados, lo cual también influyó la diferenciación de diversos grupos culturales, aparición de lenguajes y formas de conocimiento (Pretty *et al.*, 2009). De este modo, producto de la interacción entre grupos humanos con contextos bioecológicos y formas productivas tremendamente variadas, se desarrolló una gran diversidad de formas de practicar la agricultura con muchas y distintas especies (animales y vegetales), dentro de estas, una multiplicidad de variedades, ecotipos o razas de especies domesticadas, y un sinnúmero de prácticas, técnicas y sistemas de cultivo y de conocimiento. Asimismo, fueron desarrolladas distintas formas de almacenamiento-conservación, distribución y formas de preparación y consumo de estos alimentos de origen agropecuario.

Si se considera la producción, conservación, distribución y consumo de alimentos como subsistemas de un sistema agroalimentario, es posible considerar, también, que una característica de los sistemas agroalimentarios pre industriales fue su gran diversidad.

En los distintos territorios y a lo largo de la historia, puede considerarse que los sistemas de producción agropecuaria, como también los distintos sistemas alimentarios, han sido sometidos a distintas influencias y variados procesos de transformación, así como también han seguido distintas tendencias de incremento o pérdida de agrobiodiversidad y diversidad sociocultural, presentando por tanto distintos niveles de estabilidad, resiliencia, autonomía o sostenibilidad. No obstante, a partir del primer tercio del siglo XIX comienza a generarse un proceso de transformación global sin precedentes, desde el origen de la agricultura y de los sistemas agroalimentarios, por medio de un proceso global de modernización social y productiva (Guzmán *et al.*, 2000). Habitualmente se considera que la principal motivación de este proceso lo constituye la necesidad de alimentar a una población humana que crece exponencialmente y así evitar o reducir la grave pandemia del hambre prevista, pero el análisis histórico y geográfico nos indica que el origen de este proceso se circunscribiría a la revolución industrial europea, donde el estímulo para que la agricultura adoptase los patrones productivos de la industria se vincularía principalmente a la necesidad de incrementar la eficiencia en el uso de la tierra (producción por superficie) y en el uso de la mano de obra (mecanización), para que una industria floreciente y en rápida expansión pudiera contar con la mano de obra requerida a un costo adecuado, ya que hasta entonces más de un 90% de la población habitaba en los campos y se vinculaba a la producción de alimentos. A partir de esta motivación, los gobiernos de países industrializados estimularon y promovieron desarrollos científico-tecnológicos funcionales a este requerimiento, desarrollándose entre 1850 y 1930 las bases de una nueva forma de realizar agricultura que sería llamada agricultura moderna o agricultura industrializada. Dentro de estas bases encontramos el desarrollo del concepto de fertilización por medio de la agregación al suelo de productos químicos solubles en agua, el desarrollo de productos fertilizantes, la selección genética y mejoramiento productivo del trigo como de otros cultivos alimenticios por medio de la participación de grupos y empresas especializadas y con metas de mejoramiento funcionales al modelo en desarrollo (Andreu, 1988). Esto permitió que se incrementara la producción por superficie y la respuesta a niveles crecientes de fertilización con productos solubles en mayor rendimiento, resultando ser las nuevas semillas el catalizador que permitió la adopción, por parte de la agricultura, de los patrones y lógicas productivas de la industria (mecanización, economía de escala, estandarización). El desarrollo de posteriores avances tecnológicos en control de ambiente (ej. riego y fertilización), junto a la mecanización y desarrollo de plaguicidas generados luego de la Segunda Guerra Mundial, permitió que el modelo se perfeccionara y expandiera en los países industrializados (Grigg, 1982; Chrispeels *et al.*, 1994; Toledo, 1992; Andreu, 1998). La expansión a países no industrializados y zonas del planeta distintas a las latitudes con climas templados (como las zonas en las cuales estos

modelos se desarrollaron) se encontraba limitada por los requerimientos de capital para su implementación, pero principalmente por el hecho de que las variedades de alto rendimiento que se usaban en el modelo solo estaban adaptadas a los climas templados y gran parte de los países no industrializados presentaban condiciones tropicales o subtropicales. El contexto político e ideológico polarizado de la posguerra, el posicionamiento de ideas que planteaban la superioridad de unas economías y sociedades (desarrolladas) con respecto a otras (subdesarrolladas), la popularización de ideas altruistas respecto del fin del hambre en el mundo y requerimiento de una mayor producción de alimentos (Escobar, 1995), y las necesidades de expansión de la industria que acompañaba el nuevo modelo agrícola (petróleo, fertilizantes plaguicidas, semillas, etc.) (Ross, 1998) impulsaron la expansión de la agricultura moderna hacia zonas menos favorecidas. Parte importante de este proceso de expansión lo constituyó la organización de misiones científicas que buscaban la transferencia de los modelos agrícolas modernos, dentro de las cuales la más famosa es la liderada por el Dr. Norman Borlaug, financiada por la Fundación Rockefeller y avalada por el gobierno de México (décadas de 1940 y 1950). Mediante esta misión se logró desarrollar variedades de trigo y maíz adaptadas a las condiciones de México y que permitían la obtención de altos rendimientos, alta calidad industrial y resistencia a roya (enfermedad fungosa de muy alta incidencia y niveles de daño en sistemas trigueros, muy asociado a los niveles de fertilización nitrogenada) (Chrispeels *et al.*, 1994; RAFI, 1987). Estas variedades de altos rendimientos y el paquete tecnológico asociado fueron rápidamente adoptados por las principales zonas productoras de trigo y maíz del planeta, incrementando en forma muy notoria y significativa su productividad. Estos grandes logros llevaron a que se fundara en 1966 en México el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) e inspirados en este se fundaron símiles para el arroz en Filipinas (IRRI) y para la papa en Perú (CIP), que junto a otros centros internacionales de investigación pasaron a constituir el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) fundado en 1971, cuyo objetivo principal fue desarrollar variedades de alta producción de los distintos cultivos alimenticios y ajustar el paquete tecnológico de alto uso de insumos, tecnologías de modificación de ambiente y mecanización. El gran incremento logrado en los niveles de productividad de estos cultivos llevó a que muchos países fundaran símiles nacionales de estos centros, los cuales se han encargado de la adaptación y expansión de estos modelos productivos modernos a escalas nacionales y locales, siendo considerados tanto la modernización de la agricultura como el incremento de los niveles de rendimiento de los cultivos, como condiciones necesarias para la mejora en la calidad de vida de los/as agricultores/as y el desarrollo económico de las naciones. Avalados por el innegable incremento de rendimientos y muchas veces financiados por organismos nacionales e internacionales de desarrollo, gran parte de quienes practicaban la agricultura adoptaron las nuevas semillas de altos rendimientos y el paquete tecnológico que las acompañaba, lo cual implicó en la mayoría de las situaciones un cambio desde la utilización de prácticas y conocimientos propios a insumos, conocimientos y tecnologías importadas y económicamente costosas (Altieri, 1999; Guzmán *et al.*, 2000).

A nivel global, el proceso de modernización agraria llevó a que se produjera una drástica homogenización de los modelos de producción y distribución de alimentos, lo cual a su vez modificó profundamente la cantidad y tipo de alimentos y sus modos de consumo. De esta forma, pese a que el ser humano domesticó más de 600 especies alimenticias, solo cuatro especies animales y diez especies de plantas representan más del 80% de la alimentación humana, siendo a su vez sistemáticamente transformados (selección y modificación genética) en función de modelos productivos basados en técnicas y sistemas estandarizados altamente dependientes de insumos y energía externa. Producto de esta homogeneización, en los últimos 80 años se perdió más del 80% de la diversidad cultivada y gran parte del conocimiento agrícola que tomó a los/as agricultores/as más de 10.000 años desarrollar. Paralelamente, se ha concentrado cada vez más la propiedad de las tierras cultivables y las vías y canales de distribución de alimentos e insumos productivos (fertilizantes, plaguicidas, semillas), monopolizados por un grupo de corporaciones transnacionales, reduciéndose el control local respecto del tipo de alimentos obtenidos y sus formas de producción, distribución y consumo, siendo esto considerado como una pérdida de autonomía y de soberanía alimentaria de los pueblos.

Estrechamente ligados a los procesos de transformación de los sistemas agroalimentarios se encuentran procesos de degradación de recursos fundamentales para la agricultura (suelo, agua, biodiversidad) y la alteración negativa de los ecosistemas y de las funciones ecosistémicas que permiten el soporte de la vida en el planeta (regulación del clima, biodiversidad, ciclo de agua, etc.). Ya desde los años 60, Rachel Carson advertía con su libro *Primavera silenciosa* de los efectos de los plaguicidas en la fauna silvestre (Carson, 1962) y con posterioridad múltiples estudios evidenciaron los impactos perjudiciales en el suelo, agua, biodiversidad, agrobiodiversidad, economías y sociedades agrícolas locales, así como en el bienestar y salud humana. El peso de las evidencias, su debate y socialización en múltiples conferencias e informes científicos internacionales (Informes del Club de Roma; Conferencia de la ONU Estocolmo, 1972; Informe Global 2000, 1980; Informe de la Comisión de Medioambiente y Desarrollo de la ONU, 1987) llevó a que desde finales de los años 80 fuera prácticamente un hecho consensuado el que el modelo dominante de agricultura moderna y los modelos alimentarios derivados presentaban serios problemas, tanto a nivel ambiental como económico y social, lo cual los convertía en un modo no viable, en el mediano y largo, plazo para alimentar a la creciente población mundial.

Actualmente, son cada vez más las voces que alertan sobre los impactos de la transformación de los sistemas agroalimentarios en la salud de las poblaciones involucradas, tanto por efectos colaterales de este proceso (contaminación, intoxicación, efectos crónicos y acumulativos) como por las transformación de los alimentos frescos y procesados producidos bajo estos modelos (altos niveles de biocidas, bajos niveles en compuestos promotores de la salud, altos niveles de sustancias perjudiciales como el gluten, los azúcares simples, etc.). De

esta forma, lo que realmente está en cuestionamiento respecto de los sistemas alimentarios son los niveles de sostenibilidad (económica-ambiental y socioculturalmente determinada), sus niveles de vulnerabilidad y su capacidad de respuesta (resiliencia) ante los retos que ofrecen los procesos de cambios globales como el cambio climático, y su capacidad de seguir proveyendo de alimentos adecuados e inocuos a las poblaciones humanas crecientes en un planeta con sus recursos degradados.

Emergencia de la propuesta científica, técnica, ético-valórica y política de la agroecología

Dentro de esta encrucijada de los sistemas alimentarios contemporáneos se han planteado diversas alternativas para su solución. Por una parte, se puede agrupar aquellas que consideran a los actuales modelos muy exitosos, pero con problemas e ineficiencias, que pueden ser superadas mediante el desarrollo de tecnologías ambientalmente más amigables y que generen alimentos inocuos. Por otra, aquellas corrientes que consideran que el problema principal se encuentra en las lógicas, las bases ideológicas y éticas, desde las cuales se condujo la transformación productiva y alimentaria y que, por tanto, su transición hacia paradigmas sustentables y resilientes requiere no solamente de un cambio tecnológico-productivo, sino que también de la democratización y pluralización del conocimiento y del replanteamiento de los actuales sistemas alimentarios y de su gobernanza. Claramente la agroecología se posiciona dentro y orquestando esta segunda corriente.

Desde la academia, la agroecología se define como una perspectiva teórico-metodológica pluralista y ciencia pluriepistemológico (que se origina desde y reconoce como válidas diversas formas de generación de conocimiento), que coordina y orquesta los aportes de diversas disciplinas científicas críticas y formas de conocimiento tradicional con la finalidad de desarrollar y promover sistemas alimentarios sostenibles, resilientes, con gobernanza y base local (Altieri, 1999; Guzmán *et al.*, 2000; Gliessman, 2016).

Con la validación exclusiva del conocimiento generado desde la ciencia positiva (cartesiana, convencional), en el proceso de modernización agraria se cortó con la tradición agrícola y se invalidaron los conocimientos y prácticas tradicionales (preindustriales). A contracorriente de esta tendencia de la ciencia, la agroecología surge desde la indagación en los sistemas y el conocimiento agrícola tradicional de los distintos pueblos y culturas humanas, realizadas desde los años 60. Es a partir de los estudios generados desde variadas disciplinas, críticas al modelo dominante, que la agroecología encuentra sus principios fundamentales. Luego, son incorporados los desarrollos teóricos y metodológicos de la ecología como ciencia de integración, los estudios críticos del desarrollo rural de los años 80, y los planteamientos del movimiento ambientalista de esta misma década (Guzmán *et al.*, 2000). Posteriormente,

se incorporan también cuestionamientos desde la ecología política, la economía feminista y el ecofeminismo, entre otros nuevos aportes. De esta forma, a diferencia de las ciencias convencionales que se plantean dentro de un supuesto de objetividad y exclusión de valores, la agroecología reivindica valores y un planteamiento ético tanto de la agricultura como de los sistemas alimentarios. Este posicionamiento no invalida a la agroecología ni al conocimiento que genera, sino que lo dota de un marco contextual, un planteamiento ético y una finalidad. Es justamente esta perspectiva crítica sobre la conformación de los actuales sistemas alimentarios y su planteamiento ético respecto de la búsqueda de soluciones, lo que ha llevado a que distintos grupos y movimientos sociales agrarios y alimentarios adoptasen sus principios y la incluyeran como parte de sus reivindicaciones.

En la actualidad, se considera a la agroecología en tres dimensiones o esferas que interaccionan y retroalimentan unas a otras: 1) una ciencia crítica plural y pluriepistemológica que busca la sustentabilidad de los sistemas alimentarios; 2) una propuesta técnica de producción de alimentos que se basa en principios rectores heredados de los sistemas tradicionales y aportes de corrientes científicas críticas; 3) un discurso sociopolítico y ecológico que respalda movimientos sociales contemporáneos que buscan la transformación del actual sistema agroalimentario. Esta constitución científica, técnica y social es una de las principales características y fortaleza de la agroecología. Aunque en esencia la agroecología se posiciona sobre la meta de la sustentabilidad agraria y el manejo sustentable de sistemas agrarios, lo hace explicando las formas de degradación de los recursos y generando sistemas de reposición de recursos y generación de productos alimenticios (Altieri, 1999). Ello supone introducirse en aquellas áreas de conocimiento que le permitan entender, analizar y predecir los fenómenos sociales, económicos, políticos y culturales que generan tales formas de degradación (Guzmán *et al.*, 2000). En este sentido, la agroecología no es una disciplina nueva sino un nuevo campo de estudio que, por su enfoque, requiere combinar y orquestar los hallazgos de diferentes disciplinas (Alier y Jusmet, 2015). Lo anterior no se refiere a la caída en reduccionismos ni de buscar una utópica unificación de la ciencia, sino de aceptar un pluralismo metodológico (Norgaard y Sikor, 1999) donde los límites de los juicios de autoridad de cualquier experto sean aceptados. En este sentido, el conocimiento práctico de las poblaciones indígenas y campesinas es, a menudo, considerado igual o superior al conocimiento experto (Altieri, 1999; Jacobi *et al.*, 2018). Esta es la propuesta de la agroecología, ya que como consecuencia de su trabajo, a nivel local, termina por defender, junto al pluralismo metodológico, un pluralismo epistemológico que resulta opuesto al enfoque de las ciencias convencionales.

Enfoque alimentario de la agroecología y sustentabilidad alimentaria

Las fallas de los sistemas alimentarios dominantes se hacen visibles cada vez con más claridad (Altieri y Nicholls, 2020). Por ejemplo, los efectos de la crisis financiera global de 2007-2008, el cambio climático y la creciente demanda de alimentos y biocombustibles llevaron a un fuerte aumento en los precios mundiales de los alimentos, que desde entonces han permanecido en valores históricamente altos (De Schutter, 2011). Según el anterior relator especial de la ONU sobre el derecho a la alimentación, esto demuestra que los sistemas alimentarios que hemos heredado del siglo XX han fracasado (De Schutter, 2014). Del mismo modo, la crisis global producto de la pandemia de COVID-19 ha puesto en entredicho tanto la eficiencia, resiliencia y sustentabilidad de los sistemas alimentarios dominantes (Altieri y Nicholls, 2020) como de sus capacidades en torno a la seguridad alimentaria, suficiencia alimentaria y suficiencia nutricional. Un enfoque de sistemas alimentarios permitiría tomar en cuenta la complejidad de las fallas socioecológicas, sin perder de vista que son expresiones, muy variables de un tiempo o espacio a otro, de la vigencia del paradigma productivista (Garnett *et al.*, 2013; Constance y Moseley, 2018).

En 2017, más de 800 millones de personas seguían padeciendo hambre y unos 2.500 millones de personas carecían de los nutrientes esenciales necesarios para llevar una vida sana y activa (Prosekov y Ivanova, 2018). De acuerdo con estimaciones de la FAO (2020), América Latina y el Caribe tendrán un retroceso de por lo menos 20 años en materia de seguridad alimentaria a causa del COVID-19. El aumento de la productividad del sistema alimentario parece ser la respuesta más inmediata. Sin embargo, existe un consenso cada vez mayor, en distintas esferas de la sociedad, como por ejemplo en personas encargadas de formular políticas, o aquellas vinculadas a investigación científica como en grupos de la sociedad civil, en cuanto a que el aumento de la producción de alimentos no bastará para resolver la crisis alimentaria actual (IAASTD, 2008; Kiers *et al.*, 2008; De Schutter, 2011). En un influyente artículo de la revista *Science*, Godfray *et al.* (2010) señalan que reducir el hambre y la malnutrición y alimentar a 9.000 millones de personas para 2050 requiere una reorientación de las políticas alimentarias mundiales. Estas políticas deben estar en consonancia con las ciencias sociales y naturales relacionadas con los sistemas alimentarios, y deben ir más allá de la mera maximización de la productividad mundial de los alimentos. Más bien, el objetivo debe ser optimizar las interacciones complejas entre la producción de alimentos, los impactos ambientales y la justicia social.

La ciencia y la política ofrecen respuestas convergentes sobre cómo responder a este desafío. Las comunidades científicas, que se ocupan de un enfoque más amplio que la seguridad alimentaria, llegan a la conclusión de que para comprender mejor las interacciones complejas entre los diferentes sistemas alimentarios y sus efectos sociales, económicos, políticos y ecológicos, y más tarde actuar en consecuencia, es necesario considerar la

seguridad alimentaria como parte de un concepto más amplio: la sostenibilidad alimentaria (Aiking y De Boer, 2004; Koohafkan *et al.*, 2012; Lang y Barling, 2012; Esnouf *et al.*, 2013; Paillard *et al.*, 2014). En los debates actuales hay un acuerdo sobre la definición de sustentabilidad alimentaria, la cual debe referirse al tipo de desarrollo técnico y económico de sistemas alimentarios diversos, a veces contradictorios o complementarios, y a las implicancias que esto tiene para la equidad intrageneracional e intergeneracional (reducción de la pobreza y la desigualdad), la sostenibilidad y la resiliencia (Lawrence *et al.*, 2011; Lang y Barling, 2012; Colonna *et al.*, 2013). En su informe final, el anterior principal asesor político de las Naciones Unidas afirma que los esfuerzos para mejorar la seguridad alimentaria deben situarse en el contexto más amplio del derecho a la alimentación. Este lo define como el derecho de toda persona, sola o en comunidad con otras, a tener acceso físico y económico en todo momento a alimentos suficientes, adecuados y culturalmente aceptables, que se produzcan y consuman de manera sustentable, preservando el acceso a los alimentos para las generaciones futuras (De Schutter, 2014). De esto se desprende un concepto de sustentabilidad alimentaria que señala que un sistema alimentario sería sustentable en la medida que permite maximizar sus contribuciones a la seguridad alimentaria, al derecho a la alimentación, a la reducción de la pobreza e inequidad, al incremento de su desempeño ambiental y la promoción de su resiliencia socioecológica (Jacobi *et al.*, 2018; Tribaldos *et al.*, 2018). Por lo tanto, la sustentabilidad alimentaria no se trata solo de preguntar si las personas tienen suficientes alimentos en términos de disponibilidad, acceso y utilización adecuada, lo que representa la definición oficial de seguridad alimentaria; también se trata de preguntar en qué condiciones se producen y se distribuyen los alimentos hasta llegar al consumo. De este modo, el enfoque de sistemas alimentarios es adecuado, en este contexto, ya que implica considerar las condiciones en las que los alimentos se producen, procesan, distribuyen y consumen (Colonna *et al.*, 2013).

Del derecho de la alimentación a la agroecología

La propuesta de la agroecología planteada hasta aquí requiere de un cuadro político-legal adecuado y suficientemente fuerte como para resistir la instrumentalización de los poderes de los Estados y Gobiernos, por parte de las grandes corporaciones que dominan la estructura y la dinámica de los sistemas alimentarios corporativizados. Para ello el fortalecimiento de los movimientos sociales y políticos que operan a nivel nacional e internacional, como por ejemplo la Vía Campesina, juegan un rol muy importante. Ellos pueden incrementar su importancia e influencia nacional si se convierten en plataformas que exigen a sus gobernantes la legislación y la implementación de los derechos internacionales como son: la alimentación, la Declaración de los Derechos de Campesinos y Otras Personas Trabajando en Áreas Rurales de Naciones Unidas, o la indicación de la FAO de promover la agroecología como responsabilidad de los Estados.

El derecho a la alimentación fue reconocido en la Declaración Universal de los Derechos Humanos (ONU, 1948). Se menciona que todos/as tienen derecho a un nivel de vida adecuado para la salud y el bienestar de él, ella y de su familia, incluidos los alimentos, el vestido, la vivienda y la atención médica y los servicios sociales necesarios, y el derecho a seguridad en caso de desempleo, enfermedad, discapacidad, viudez, vejez u otra falta de medios de subsistencia en circunstancias fuera de su control (ONU, 1948). En 1966, el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (ICESCR por sus siglas en inglés) concretó el derecho a la alimentación, destacando el derecho de cada persona de estar libre de hambre y la obligación de los Estados de 1) mejorar métodos de producción, conservación y distribución de alimentos, aprovechando los conocimientos técnicos y científicos, diseminando conocimientos sobre principios de nutrición y desarrollando o reformando sistemas agrarios para el mejor desarrollo y uso de los recursos naturales, y 2) tomar en cuenta los problemas de importaciones y exportaciones de alimentos para asegurar la distribución de los suministros alimenticios según necesidades. En resumen, los Estados tienen tres niveles de obligación: respetar, proteger, y hacer cumplir el derecho a la alimentación (Bessa, 2019).

Un nuevo componente al derecho a la alimentación, de la sostenibilidad, se dio con la definición de De Schutter (2014), quien enfatiza que el derecho a la alimentación es el derecho de toda persona, individual o colectivamente, a tener acceso físico y económico, en todo momento, a alimentos suficientes, adecuados y culturalmente aceptables que se produzcan y consuman de manera sostenible, preservando el acceso a los alimentos para las generaciones futuras (ONU, 2014). Esta definición propuesta en 1987 por las Naciones Unidas apunta a la integración del concepto del derecho a la alimentación, con la preocupación por los impactos de la agricultura y la producción de alimentos sobre los recursos naturales y en la justicia intergeneracional (Bessa, 2019).

Generalmente, los gobiernos están obligados a implementar los derechos humanos según una serie de principios conocidos como PANTHER según sus siglas en inglés, lo que incluye participación, rendición pública de cuentas, no discriminación, transparencia, dignidad humana, empoderamiento y estado de derecho (FAO, 2020).

Aplicados al derecho a la alimentación, estos principios significan: 1) participación: que las personas y grupos participen libre, efectiva y significativamente en la toma de decisiones sobre temas que afectan sus vidas, y especialmente las que podrían afectar su posibilidad de acceder a alimentos; 2) rendición pública de cuentas: las autoridades deben ser responsables de sus acciones y negligencias, y tiene que haber mecanismos que permitan a las personas y grupos el cuestionar y transparentar el proceso y los contenidos de las decisiones; 3) no discriminación: el goce del derecho a la alimentación no debe sufrir ninguna limitación en base de raza, género, creencia, o algún estado físico, socioeconómico o cultural; 4) transparencia:

toda información relacionada a la alimentación, políticas, programas y presupuestos tiene que ser accesible al público; 5) dignidad humana: todas las acciones que afecten la vida y medios de vida de las personas y grupos, y especialmente sus posibilidades de tener garantizada la implementación del derecho a la alimentación, se tiene que implementar de una forma en que respete el valor absoluto de las personas; 6) empoderamiento: todas las personas y grupos tienen que contar con los recursos, lo que incluye la información relevante, para poder hacer las mejores decisiones y selecciones; 7) Estado de derecho: la autoridad del gobierno se tiene que implementar en estricto cumplimiento con constituciones y leyes en plazo pertinente (Bessa, 2019).

El derecho a la alimentación mira más allá de la seguridad alimentaria que enfatiza en la provisión de suficientes calorías a las personas para sobrevivir. En su informe final, De Schutter (2014) destaca que el acceso a recursos productivos implica que los mismos sean manejados de una forma sustentable, e incluir los impactos ambientales en las tomas de decisiones. Por ejemplo, el uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes químicos, junto con la deforestación, degradación de suelos, emisiones de gases invernadero y pérdida de biodiversidad que no fueron considerados en la Revolución verde y la mundialización de sistemas productivos y alimentarios de corte industrializado, no son compatibles con esta acepción más amplia del derecho a la alimentación (Ramadhani *et al.*, 2020).

El derecho a la alimentación también implica el derecho de las personas que producen alimentos agrícolas de no ser mercantilizadas, en el sentido de ser obligadas contra su voluntad a adaptarse a los sistemas alimentarios dominantes, que se basan en los modelos de los capitalismos actuales, sean estos privados, estatales o mixtos. Eso implica el respeto de sus derechos individuales, colectivos y comunales a los recursos productivos, especialmente el acceso a la tierra, al agua, a la biodiversidad y a las semillas, lo que se lograría mediante la expansión y promoción de la agroecología (De Schutter, 2014). Además, la implementación del derecho a la alimentación implica la democratización de los sistemas alimentarios, lo que se refiere a la posibilidad de que los actores clave de los sistemas alimentarios puedan elegir y crear relaciones sociales al interior y con los sistemas alimentarios que estén de acuerdo a sus propios valores socioculturales y éticos, que por lo tanto, apuntan a la soberanía y democracia alimentaria como base para decidir colectiva y democráticamente sobre las estructuras, funciones y roles que los sistemas alimentarios tienen que cumplir como un pilar del desarrollo sostenible. Además, tienen que considerar como horizonte final la justicia social y la emancipación de los sujetos actualmente marginados, dominados u oprimidos por los sistemas alimentarios corporativos, que son mono u oligopolios agroindustrializados, que se escapan del control social y democrático de las sociedades que dependen de ellos (De Schutter, 2014).

Comentarios finales

El sistema alimentario dominante ha mostrado signos evidentes de su insostenibilidad y baja resiliencia, por lo que se requieren alternativas que aborden, de forma integral, tanto las posturas ético-valóricas y las bases científicas y epistemológicas sobre las que se sustentan, como los sistemas y modelos de producción, distribución y gobernanza.

Desde hace más de medio siglo, la agroecología se ha ido desarrollando y posicionando como una ciencia que reconoce y valida diversas formas de conocimiento y distintas aportaciones científicas, organizándolas, estructurándolas y cooperativizándolas en post de sistemas alimentarios sostenibles, resilientes y con gobernanza principalmente local (soberanos). Este desarrollo y posicionamiento de la agroecología, también ha ido acompañado de la emergencia de múltiples movimientos sociales alimentarios, tanto urbanos como rurales, que se han visto mutuamente reflejados en la perspectiva crítica de la agroecología.

Desde un punto de vista teórico y operativo, la perspectiva y los desarrollos en el marco de la propuesta de la sostenibilidad alimentaria, pueden ser considerados como criterios e indicadores necesarios de alcanzar por los sistemas alimentarios sostenibles; mientras que el derecho a la alimentación constituye un marco político-legal adecuado para su avance en contextos adversos.

Referencias

- Aiking, H. and De Boer, J. (2004).** Food sustainability: Diverging interpretations. *British Food Journal*, 106 (5):359-365. doi:10.1108/00070700410531589
- Alier, J. M. and Jusmet, J. R. (2015).** *Economía ecológica y política ambiental*. Fondo de Cultura económica, Méjico.
- Altieri, M. (Ed.). (1999).** Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan-Comunidad.
- Altieri, M. and Nicholls, C. (2020).** Agroecology and the reconstruction of a post COVID-19 agriculture. *The Journal of Peasant Studies*, 47:5, 881-898. doi:10.1080/03066150.2020.1782891
- Andreu, J. P. (1998).** Las innovaciones biológicas en la agricultura española antes de 1936: el caso del trigo. *Agricultura y sociedad*. 86, 163-182. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_ays/a086_06.pdf
- Bessa, A. (2019).** *The Normative Dimension of Food Sustainability: A Human Rights-Based Approach to Food Systems Governance. Towards Food Sustainability Working*. Paper No. 8. Bern, Switzerland: Centre for Development and Environment (CDE), University of Bern.

- Carson, R. (1962).** *Silent Spring*. Houghton Mifflin: USA.
- Chrispeels, M. J., Sadava, D. E. and Mulligan, B. (1994).** *Plants, genes, and agriculture*. Boston: Jones and Bartlett Publishers.
- Colonna, P., Fournier, S., Touzard, J.M., Abécassis, J., Broutin, C., Chabrol, D., Champenois, A., Deverre, C.; François, M., Lo Stimolo, D.; Méry, V., Moustier, P. and Trystram, G. (2013).** Food systems in Esnouf, C., Russel, M., and Bricas, N. (Eds.). *Food System Sustainability: Insights From duALIne*. p. 69-100. Cambridge University Press.
- Constance, D. H. and Moseley, A. (2018).** Agrifood discourses and feeding the world: unpacking sustainable intensification en Constance, D.H; Konfal, J. and Hatanaka, M. (Eds). *Contested Sustainability Discourses in the Agrifood System*. Routledge. (Chapter 4, 16 pages).
- De Schutter, O. (2011).** *Agroecology and the right to food: Report presented at the 16th session of the United Nations Human Rights Council*. Geneva, Switzerland, United Nations Human Rights Council. http://www.srfood.org/images/stories/pdf/officialreports/20110308_a-hrc-16-49_agroecology_en.pdf
- De Schutter, O. (2014).** *The transformative potential of the right to food*. Report to the 25th Session of the Human Rights Council HRC/25/57. http://www.srfood.org/images/stories/pdf/officialreports/20140310_finalreport_en.pdf
- Diamond, J. (1997).** *Guns, Germs and Steel: A short history of everybody for the last 13,000 years*. Vintage Publications.
- Escobar, A. (1995).** *The making and unmaking of the third world*. Princeton University Press.
- Esnouf, C., Russel, M. and Bricas, N. (Eds.). (2013).** *Food system sustainability: insights from duALIne*. Cambridge University Press. http://assets.cambridge.org/97811070/36468/frontmatter/9781107036468_frontmatter.pdf
- FAO. (2020).** *El derecho a la alimentación*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/right-to-food/es/>
- Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P.K., Toulmin, C., Vermeulen, S.J. and Godfray, H.C.J. (2013).** Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Science*, 341(6141), 33-34. doi:10.1126/science.1234485
- Gliessman, S. (2016).** Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(3):187-189. doi:10.1080/21683565.2015.1130765
- Grigg, D. (1982).** *The dynamics of Agricultural Change. The historical experience*. Hutchinson and Co. Ltda. UK. <https://doi.org/10.4324/9780429286193>

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818. doi: 10.1126/science.1185383

Guzmán, C., G. I., González de Molina Navarro, M. and Sevilla Guzmán, E. (2000). *Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible*. Editorial Mundi Prensa.

International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development (IAASTD) (2008). Annual Report. Island Press, Washington. www.agassessment.org.

Kiers, E. T., Leakey, R. R. B., Izac, A.-M., Heinemann, J. A., Rosenthal, E., Nathan, D., and Jiggins, J. (2008). ECOLOGY: Agriculture at a Crossroads. *Science*, 320(5874), 320–321. doi:10.1126/science.1158390

Jacobi, J., Mukhovi, S., Llanque, A., Augstburger, H., Käser, F., Pozo, C., P. Mariah Ngutu, Freddy Delgado, J.M., Kitemee, B.P., Rista, S. and Speranza, C. I. (2018). Operationalizing food system resilience: An indicator-based assessment in agroindustrial, smallholder farming, and agroecological contexts in Bolivia and Kenya. *Land use policy*, 79, 433-446. doi:10.1016/j.landusepol.2018.08.044.

Koohafkan, P., Altieri, M. A., and Gimenez, E. H. (2012). Green agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 10(1), 61-75. doi:10.1080/14735903.2011.610206

Lang, T. and Barling, D. (2012). Food security and food sustainability: reformulating the debate. *The Geographical Journal*, 178 (4), 313-326. doi:10.1111/j.1475-4959.2012.00480.

Lawrence, D., Beddington, S. J., Godfray, C., Crute, I., Haddad, L., Muir, J., Pretty, J., Robinson, S. and Toulmin, C. (2011). The challenge of global food sustainability. *Food Policy*, 36(S1): S1-S113. doi:10.1016/j.foodpol.2011.01.001

Norgaard, R. B. and Sikor, T. (1999). Metodología y práctica de la agroecología. p. 31-46 en M. Altieri (Ed.). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan-Comunidad.

ONU. (1948). Naciones Unidas. (20 de marzo de 2021). *La declaración universal de derechos humanos* https://www.ohchr.org/EN/UDHR/Documents/UDHR_Translations/spn.pdf

Paillard, S., Treyer, S. and Dorin, B. (Eds.) (2014). *Agrimonde—scenarios and challenges for feeding the world in 2050*. Springer Science and Business Media.

Pretty, J., Adams, B., Berkes, F., Ferreira de Athayde, S., Dudley, N., Hunn, E., Maf, L., Milton, K., Rapport, D., Robbins, P., Sterling, E., Stolton, S., Tsing, A., Vintinner, E. and Pilgrim, S. (2009). The Intersections of Biological Diversity and Cultural Diversity: Towards Integration. *Conservation and Society*, 7(2): 100-112. <http://www.jstor.org/stable/26392968>

Prosekov, A. Y. and Ivanova, S. A., (2018). Food security: The challenge of the present. *Geoforum*, 91, 73-77. doi:10.1016/j.geoforum.2018.02.030

- RAFI (1987).** ¿De dónde vienen las semillas...y adónde van? en H. Hobbelink (Ed.). *Más allá de la Revolución Verde. Las nuevas tecnologías genéticas para la agricultura. ¿Desafío o desastre?* (pp. 13-33). Editorial Lerna S.A.
- Ramadhani, A., Maina A., Urhahn J., Koch J., Bassermann L., Goïta M., Nketani M., Herre R., Tanzmann S., Wise T.A., Gordon M. and Gilbert R. (2020).** *False Promises: The Alliance for a Green Revolution in Africa (AGRA)*. Online: https://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/Studien/False_Promises_AGRA_en.pdf <https://grain.org/e/6499>. Germany. 42p.
- Ross, E.B. (1998).** The Malthus Factor. *Population, poverty and politics in capitalist development*. Zed Books Ltda.
- Toledo, V.M. (1993).** La racionalidad ecológica de la producción campesina en: E. Sevilla Guzmán y M. González de Molina (Eds). *Ecología, campesinado e historia* (5:197-218) Ed. La Piqueta.
- Tribaldos, T., Jacobi, J. and Rist, S. (2018).** Linking sustainable *diets* to the concept of food system sustainability. *Future of food: Journal on Food, Agriculture and Society*, 6(1), 71-84. <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/2018062655731>
- WCED. (1987).** Our Common Future. Oxford University press, 383 p.



El Jardín del Edén con la caída del hombre (1617). Jan Brueghel el Viejo y Pedro Pablo Rubens.

Una de las principales formas de construcción de la naturaleza por parte de la tradición Judeo-cristiana se encuentra en el Jardín del Edén. El Viejo Testamento entrega un escenario de armoniosa cohabitación entre las diferentes especies de animales rodeadas de copiosa vegetación. Esto solo termina con el pecado original, lo que implicará la reproducción de la especie humana y la corrupción de su relación con la naturaleza prístina. Hoy en día, esta imagen sigue influenciando al mundo occidental en su relación con la naturaleza, las implicancias de su reproducción y la búsqueda por construir y conservar supuestos ideales ecológicos.



Capítulo 4

Ecología política y agroecología: una introducción a la deconstrucción socioecológica

Felipe Infante C.¹

Por un minuto llevemos nuestra mente al centro del bosque amazónico, o a la sabana africana, también pueden ser los bosques de araucarias milenarias del sur de Chile. Pensemos en cualquier paisaje natural icónico, retratado en múltiples portadas de revistas como National Geographic o documentales televisivos de un sábado por la tarde. ¿Qué vemos ahí?, probablemente vemos vegetación, árboles, arbustos, flores y frutos, tal vez algún monumental cuerpo de agua o una pequeña poza donde se juntan distintos animales, aves, mamíferos incluso algún reptil. Tal vez alguien fue más allá y visualizó la persecución de un antílope corriendo por su vida y una leona detrás tratando de conseguir alimento para sus cachorros, parte de una cadena trófica, de un equilibrio natural. ¿Falta algo en esta imagen mental? ¿Vemos personas? Probablemente muchos de nosotros olvidamos ese elemento y no es casualidad, generalmente cuando pensamos en naturaleza y paisaje no solemos integrarnos a nosotros mismos como especie en ella. Tenemos una imagen generalizada de un mundo natural donde humanos y no humanos están desconectados, esta es una ficción que se ha generado, para algunos por accidente, mientras que para otros no lo es tanto. Sin embargo, todos estos paisajes y ecosistemas son el hogar para miles de personas, desde los cazadores-recolectores bosquimanos del este de África, uno de los 400 pueblos indígenas que viven en las amazonas o las familias Pehuenche en la cordillera de Chile.

Por otro lado, si hubiésemos empezado este ejercicio llevando nuestra mente a la interacción humana con un contexto natural, si pensáramos en los efectos de las personas y sociedades en un paisaje natural, probablemente habríamos visto degradación, contaminación e incluso sobrepoblación, probablemente también

¹ Investigador Postdoctoral. Laboratorio de Estudios del Antropoceno. Universidad de Concepción. infante@ufl.edu

la pérdida del equilibrio. Hoy por hoy, y más que nunca, se ha apuntado a las personas como las principales responsables de la crisis ambiental global. Es un hecho científico inapelable que la sobreexplotación de los recursos naturales y los grandes procesos productivos, entre otros, han acelerado enormemente la degradación ambiental y el cambio climático. Sin embargo, no debemos quedarnos en explicaciones cómodas y causalidades simplistas, especialmente en problemas tan complejos. Volvamos a la sabana africana y uno de los problemas ecológicos más conocidos que se puede encontrar en esas latitudes es la pérdida de territorio para la vida silvestre. Las comunidades que habitan los territorios en cuestión son comúnmente responsabilizadas del aumento de su población y de la expansiva ocupación del territorio, pero se suele olvidar o ignorar que, en ciertos escenarios, como es el caso de Kenia, lo que ejerce mayor presión sobre la vida silvestre y su territorio es la expansión en la producción intensiva de cereales destinadas a mercados globales, especialmente para el mundo urbano global (Homewood et al. 2001). Estas miles de hectáreas de monocultivo, producida con tecnología de punta (Foto 4.1), sistemas de alta eficiencia, destinadas a alimentar principalmente a personas al otro lado del planeta, muestran que la crisis de la vida silvestre es un problema más político y económico que demográfico (Homewood et al. 2001).



Foto 4.1. Agricultores de trigo en Narok, Kenia (Fuente: George Sayagie, Nation Media Group). <https://nation.africa/kenya/business/seeds-of-gold/narok-wheat-farmers-strategy-and-good-weather-boost-crop-yield-1220360>

El ejercicio realizado corresponde a ecología política, que ubica al lector en un contexto específico y con una problemática ecológica particular. En él, se exploran las ideas y concepciones generales del contexto y su problemática, desafiándolas con la ayuda de los estudios científicos disponibles. Finalmente se ha propuesto una visión alternativa, donde se involucra el choque de fuerzas sociales, económicas y políticas en diferentes escalas.

Por otra parte, Paul Robbins (2004) presenta un ejercicio haciendo la metáfora de la ecología política como un hacha y una semilla. Por un lado, la ecología política es un hacha que debe tener la capacidad de romper las preconcepciones y mitos que rodean la relación entre humanos y su medio ecológico. Qué tan filosa sea esta hacha, depende del trabajo científico y de la capacidad crítica en el análisis de los resultados de investigación empírica, tanto primaria como secundaria, datos que muestren lo que realmente está sucediendo en ese contexto. Por el otro lado, la ecología política tiene que ser una semilla, una nueva explicación y perspectiva que pueda crecer y reemplazar lo que fue cortado con el hacha. De esta forma, la ecología política se presenta principalmente como un enfoque crítico a las relaciones que se establecen entre sociedades y ecologías, pero también debe ser propositivo y sustentado en la ciencia.

Es así como la ecología política es también una respuesta o una alternativa a la ecología apolítica. Este es el tipo más común de ecología, en donde comúnmente se separa u omiten estas fuerzas sociales, políticas y económicas externas a las interacciones ecológicas, pero que como se demuestra en datos científicos, no están separadas y tienen implicancias relevantes. Como el caso de la vida silvestre en África, un ejemplo clásico de esto es la problemática de escasez de alimentos y la hambruna en países subdesarrollados (y en otros no tanto). Todos hemos escuchado el argumento que cuestiona esta problemática en términos productivos y concluye que el problema de la hambruna no se debe a una baja producción de alimentos, sino que a un problema de concentración y distribución de estos. Ese argumento es ecología política pura.

Es así como este enfoque crítico (hacha) cuestiona la ecología apolítica por no contar la historia completa, una historia que involucra una serie de interacciones en la red global de vínculos ambientales-humanos. Sin embargo, como se planteó anteriormente, también propone (semilla) un modelo explicativo para el estudio de historias donde las cosas sí han funcionado, donde se ha alcanzado alguna forma de equidad y sustentabilidad socioambiental. No obstante, es importante presentar esta semilla no como una operación de salvataje, de registro de algo perdido o que se perderá. Se debe proponer la búsqueda por un entendimiento más profundo de los sistemas y las condiciones bajo las cuales lograron florecer estas historias exitosas, de esta forma la ecología política también debe proponer estrategias alternativas de desarrollo (Peet y Watts, 2004). Un ejemplo puntual son las terrazas de cultivo, la fabricación de estas estructuras permitió a pueblos indígenas andinos

y del sudeste asiático aumentar la cantidad de producción de alimentos de forma drástica, transformando montañas y cerros, con una alta pendiente, en miles de hectáreas para el cultivo de todo tipo de productos, especialmente cereales como el maíz en los Andes (Foto 4.2) y el arroz en Asia. Esta tecnología ha sido transmitida localmente de forma tradicional, por siglos hasta el día de hoy; sin embargo, este conocimiento también ha sido rescatado, sistematizado, compartido y propuesto para muchos lugares del mundo, no solo como una forma para aumentar la cantidad de superficie productiva, sino también, como una estrategia de conservación de recursos naturales como el suelo y el agua (Foto 4.2). Tal como proponer una visión alternativa al problema de hambruna con un argumento de distribución (hacha), el rescate y diseminación de conocimientos tradicionales sostenibles (semilla) son propuestas dentro del modelo explicativo de la ecología política.



Foto 4.2. Terrazas usadas tradicionalmente para cultivo en Maras, Perú (izquierda) (Fuente: Pedro Lastra: Unplash). <https://unsplash.com/photos/jEAcDBsrRNw>. Curvas de nivel en Portezuelo, Chile (derecha) (Fuente: propia).

No es el objetivo de este capítulo profundizar en las bases teóricas que construyen el modelo explicativo propuesto por la ecología política. Sin embargo, existen algunos fundamentos importantes que constituyen esta propuesta que deben ser rastreados desde sus raíces. Uno de los autores claves en el estudio de las relaciones humano-medioambiente es Julian Steward (1902-1972). Este antropólogo norteamericano es considerado el padre de la ecología cultural, la cual presenta una perspectiva teórica que estudia las adaptaciones humanas a sus ambientes naturales. En general, esta teoría plantea que las características del ambiente natural son claves en el desarrollo social de un grupo humano, tanto en la organización de este, como en la creación de sus instituciones. Para Steward estas características ambientales no son lo más determinante, lo fundamental es la interacción

que se genera entre humanos y naturaleza, en el contexto de supervivencia, de trabajo, en la forma en que los humanos se ganan la vida al interactuar con su ecosistema (Steward, 1973). Este enfoque fue utilizado para entender las dinámicas socioeconómicas y culturales de muchos grupos sociales, cuyas acciones en muchos casos parecieran no seguir una lógica económica occidental. Sin embargo, también surgieron críticas a esta perspectiva teórica, catalogándola de simplista y reduccionista. Una de las formas en que se buscó soslayar esta crítica fue dando protagonismo a una variable particular en esta interacción: el tiempo. Una fuerte visión histórica, a esta interacción entre el medio biofísico y las sociedades que planteaban los/as seguidores de la ecología cultural, se volvió clave dentro del modelo explicativo tomado por la ecología política. Es aquí donde el trabajo hecho por historiadores/as, arqueólogos/as, geólogos/as, paleontólogos/as, entre otros/as, ha sido esencial para comprender mejor estas relaciones humano-naturaleza a lo largo del tiempo o *longue durée*. Esta perspectiva desafía la idea de que los procesos socioambientales son instantáneos y plantea que los cambios ecológicos no son unidireccionales. Es así como los procesos de degradación ambiental o de recursos naturales pueden fluctuar o revertirse en el largo plazo.

Sin embargo, esta perspectiva adoptada y utilizada en la ecología política conlleva un nuevo desafío, si este modelo explicativo es crítico en su naturaleza, también debe serlo respecto de la historia. De ahí que nace la pregunta ¿quién escribe la historia?, tal como el planteamiento de que el problema de hambruna es uno más de distribución que de producción, es conocido el argumento de que la historia la escriben los victoriosos. Este planteamiento, que incluso algunos podrían catalogar de simplista, también representa y expresa una idea fundamental para la ecología política. Es así como esta hacha metafórica debe estar equipada para también romper mitos históricos a través de estudios más rigurosos y que miren a largo plazo las interacciones socioambientales, permitiendo develar explicaciones alternativas que muchas veces han sido ocultadas por escritos y teorías dominantes. Muchos de estos escritos y teorías provienen de un enfoque colonialista, donde grandes potencias mundiales han tomado control, no solo de los recursos naturales, sino también de la forma en cómo se construyen las verdades respecto a esos recursos y quiénes los controlan. Una de las más relevantes verdades construidas en este contexto es de presentar el medioambiente, o la naturaleza en general, como algo a ser explotado y controlado. Entonces es necesario preguntar ¿quién es el encargado de ese control y explotación: los habitantes de esos territorios o los colonizadores?

Este pensamiento colonial se ha mantenido en el tiempo, transformándose en diversos sistemas por los cuales se impone una verdad de una forma que generalmente favorece política o económicamente a quien impone estas ideas. Un ejemplo de esto, que además es atinente a la interacción de la sociedad con su medio ambiente, por medio de la producción, es el *boom* de los agroquímicos, especialmente plaguicidas. A mediados de los años 40 en Estados Unidos apareció a la venta para el público general el Dicloro-difenil-tricloroetano, o

¹ Investigador Postdoctoral. Laboratorio de Estudios del Antropoceno. Universidad de Concepción. infante@ufl.edu

mejor conocido como DDT. Este compuesto químico desarrollado como insecticida se hizo altamente popular por su eficacia en el envenenamiento de artrópodos y otros insectos. Una de las características que hace interesante el estudio de la historia del DDT fue su publicidad, la cual para muchos alcanza el estatus de propaganda ideológica, y donde se planteaba al DDT como un producto, no solo extremadamente poderoso y eficiente para el control de plagas, sino también como altamente seguro. Sin embargo, uno de los puntos más interesantes respecto a esta propaganda fue la construcción del DDT como un producto moderno (Figura 4.1). El uso de DDT conllevaba la idea de que quien lo usara dejaría de ser atrasado, estaría más cercano a la ciencia, dejaría la producción agrícola anticuada y pasaría a una nueva era más eficiente, más desarrollada y vanguardista.



Figura 4.1. Panfleto español de Gesarol, insecticida de origen suizo a base de DDT (Fuente: Desinsectador). <https://desinsectador.com/2013/02/19/apuntes-sobre-el-ddt-en-espana/gesarol-ddt-geigy/#main>

No pasaron muchos años para que esta idea construida empezará a ser cuestionada, especialmente la que presentaba al DDT como un producto seguro para las personas y el medioambiente. El libro de la bióloga norteamericana Rachel Carson (1907-1964), titulado *Primavera silenciosa* (Carson, 1962), fue probablemente el trabajo más importante para la época porque en él se compiló evidencia científica que describía y demostraba los peligros de los insecticidas y pesticidas (especialmente aquellos a base de DDT) para los humanos y los ecosistemas. El trabajo de Carson tiene una gran importancia para la ecología política, aunque

para ese tiempo aún no se usaba este enfoque teórico en los términos que se han hablado en este capítulo, ya que muestra que la evidencia científica (hacha) puede romper estas ideas construidas por cierto grupo y al mismo tiempo generar una contrarrevolución ambientalista (semilla), como la generada tras la publicación de *Primavera silenciosa* y otros trabajos similares.

La masificación en la producción y uso de pesticidas, y de agroquímicos en general, es contemporánea al proceso denominado como Revolución verde. Esta consistió en un set de iniciativas de transferencia de paquetes tecnológicos que involucraron la introducción de semillas de cereales de alto rendimiento, agroquímicos (fertilizantes y pesticidas), sistemas de riego y nuevas técnicas de cultivo, principalmente diseñadas para ser implementadas con maquinaria agrícola. La historia detrás de este proceso, como otras desarrolladas en este capítulo, muestra intencionalidades políticas y económicas materializadas en relaciones de poder hegemónicas entre el primer y el tercer mundo, donde el mismo uso del concepto revolución es intencionado. Como explican Holt-Gimenez y Altieri (2013), después de la Segunda Guerra Mundial Estados Unidos comenzó un proceso de transformación y reutilización de sus remanentes químicos utilizados en la guerra para explosivos y venenos, en fertilizantes y pesticidas. Además, se refaccionaron fábricas dedicadas a la producción de armamentos y vehículos blindados para la manufactura de maquinaria agrícola. Todo esto, además de las semillas híbridas y las nuevas técnicas de cultivo, formaron parte fundamental del paquete tecnológico de la Revolución verde. Sin embargo, esta transferencia no estaba diseñada para las necesidades productivas de los países del primer mundo, es por esto que se destina a países subdesarrollados, del sur global o al mal denominado tercer mundo. Para esto, la transferencia tecnológica fue ejecutada por medio de créditos y subsidios implementados por instituciones gubernamentales e internacionales. Este proceso tuvo un fuerte impacto en la producción agrícola de múltiples países, no obstante, estos resultados no pudieron ser estandarizados para todo el sur global. Los planes de transferencia se toparon con algo que no tenían en consideración, la diversidad. Dentro de las regiones donde se apuntó la instauración de esta nueva forma de hacer agricultura, más eficiente y moderna, existe una diversidad no solo geográfica, climática y de ecosistemas, también existe una gran diversidad cultural. Una diversidad que ha desarrollado a lo largo de siglos sistemas muy específicos de producción agrícola, adaptados a las particulares características socioambientales locales. Es así como la implementación de un plan generalizado y estandarizado chocó bruscamente con esta diversidad, repercutiendo no solamente en problemas derivados de una mala transferencia e implementación, sino también en muchos casos con el fracaso de la transferencia misma. Este plan también falló en diversos contextos porque aun cuando los paquetes tecnológicos eran propuestos de la mano de subsidios, una parte importante de las comunidades campesinas del sur global simplemente no tenía los medios económicos ni la capacidad de endeudamiento para adquirir, implementar, operar y mantener la tecnología.

La revisión histórica presentada previamente constituye el hacha que busca romper la idea de la Revolución verde, no solo como exitosa sino que como sinónimo de modernidad, eficiencia e idoneidad para el sur global. Es esencial recordar que esa primera acción crítica no es suficiente, también es necesario ser propositivos respecto a lo que se cuestiona, es preciso proponer una semilla; para muchos/as autores/as, la agroecología es esta semilla. Tal como el poderoso movimiento ambientalista que germinó del trabajo de Carson y otros, la agroecología es presentada como un contrargumento, una alternativa, un contramovimiento a la Revolución verde.

Al igual que la discusión presentada al inicio de este capítulo, donde se exploró la diferencia entre ecología política y apolítica, también se requiere someter la propuesta agroecológica a escrutinio bajo esos mismos términos. Si la agroecología se define como una ciencia dedicada al estudio de los procesos ecológicos aplicados a los sistemas de producción agropecuaria y con gran énfasis en su aplicación, se requiere analizar si también existe una propuesta crítica, o una agroecología política. Múltiples autores/as explican que esta aproximación teórica y práctica a los sistemas agroecológicos también debe ser crítica, debe derribar mitos y tener una preocupación especial en las relaciones históricas de poder a nivel local y global. A continuación se presenta un Cuadro construido desde el trabajo de Bauwens (2016) y Wezel *et al.* (2009) donde se plantea un paralelo entre una agroecología enfocada principalmente en lo biofísico versus una propuesta agroecológica política (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Paralelo entre agroecología apolítica y agroecología política.

Agroecología apolítica	Agroecología política
Es propuesta y practicada por consumidores, académicos, instituciones globales, grandes ONG e individuos dedicados a la filantropía.	Es propuesta por los movimientos campesinos.
Lo biofísico sobre lo social.	El cambio social es fundamental para el cambio biofísico.
Es vulnerable a la gran industria agrícola.	Plantea la desigualdad como la base de la inestabilidad ecológica.
Aislada del movimiento global por la soberanía alimentaria.	Tiene fuertes alianzas con el movimiento global por la soberanía alimentaria.
Las prácticas agroecológicas harán que la producción agrícola sea más sostenible y menos explotadora de los recursos naturales.	Hay que desafiar las relaciones tácitas de poder en la producción agrícola para lograr la sustentabilidad.

De esta forma se solidifica una visión de la agroecología política, no solo como una ciencia o un set de prácticas productivas sostenibles, sino que como un movimiento preocupado por las relaciones de poder que interactúan en la construcción socioecológica de los agroecosistemas. Como la ecología política, la agroecología política propone superar una visión simple de escasos recursos naturales o problemas tecnológicos y busca complejizarla mediante la introducción de factores sociales, culturales, económicos y políticos. Pero por sobre todo, plantea la necesidad de establecer una postura, una estrategia para el cambio, que responda coordinadamente a las actuales relaciones de poder hegemónicas en la esfera de la producción agrícola.

Manuel González de Molina (2013) historiador y director del Laboratorio de Historia de los Agroecosistemas, en Sevilla, plantea cuatro puntos fundamentales sobre la necesidad de una agroecología política en la búsqueda de la sostenibilidad. En primer lugar, resalta la necesidad de poner atención a los conflictos socioambientales, especialmente donde se observen motivaciones para cambiar el *statu quo* en que se encuentren estos agroecosistemas. Esto tiene que ver con las relaciones de poder que ejercen presión sobre estos sistemas muchas veces resultando en cambios. Es así como la materialización de los conflictos tiene sus bases en motivaciones relacionadas al uso, control o incluso conservación de los agroecosistemas. En segundo lugar, recalca la idea de que estos agroecosistemas son el resultado de interacciones entre los humanos y la naturaleza, por ende, son construidos por relaciones socioecológicas y en ningún caso son ecosistemas prístinos y estáticos. De esta misma forma, el autor señala que la sustentabilidad que es posible encontrar o generar en estos sistemas, al ser sociales, también son el resultado de relaciones de poder. Por ende, la agroecología debe poner énfasis en los factores sociopolíticos que interactúan en los agroecosistemas, por lo que debe equiparse de las teorías necesarias para lidiar con estos factores que van más allá de lo biofísico. Finalmente, resalta que el objetivo central de la agroecología es lograr la sustentabilidad agraria, en todo el sentido de la palabra. Es así, como agroecólogos/as deben mover su visión desde una perspectiva de predio agrícola sostenible a una perspectiva global de sostenibilidad agrícola.

Comentarios finales

La ecología política es una alternativa que está equipada por una batería de teorías que permiten lidiar con los factores que van más allá de lo biofísico en el análisis de agroecosistemas. Como se ha planteado anteriormente, la piedra angular de esta batería es la perspectiva crítica que busca deconstruir aquellas cosas que comúnmente se dan por hecho, por realidad o por verdad. Michel Foucault (1926-1984) filósofo francés, plantea en su libro *La arqueología del saber*, publicado en 1977, que “*la verdad es algo de este mundo; está producida aquí gracias a múltiples imposiciones. Tiene aquí efectos reglamentados de poder. Cada sociedad tiene su régimen de verdad, su “política general de la verdad”: es decir, los tipos de discursos que ella acoge y hace funcionar como verdaderos*” (Foucault, 2008: 187). De esta forma debemos mirar los ecosistemas como algo construido bajo el régimen de verdad de cada sociedad, debemos constantemente cuestionar los atributos que se les han entregado junto a su nombre y su verdad. ¿Es una plantación forestal un bosque? ¿Por qué alguien querría instaurar o reforzar esta idea al referirse a una plantación forestal como bosque? Esta lógica se puede aplicar a los distintos componentes de los sistemas agroecológicos (cultivo, maleza, agricultor/a productor/a, tecnológico, tradicional, etc.) y su construcción debe ser cuestionada, especialmente aquellas cosas que son dadas por hechos y que no permiten interpretaciones alternativas. En otras palabras, debemos deconstruir nuestro conocimiento respecto a las ecologías en que nos desenvolvemos y especialmente de aquellas que pretendemos intervenir.

Referencias

- Bauwne, M. (2016).** *The politics of the agro-ecological movement in the Global North and the Global South. P2P Foundation.* <https://blog.p2pfoundation.net/agroecology-lite-cooptation-resistance-global-north/2016/11/03>
- Carson, R. (1962).** *Silent Spring.* Hughton Mifflin: USA.
- Foucault, M. (2008).** *La Arqueología del Saber.* Siglo XXI: México.
- González de Molina, M. (2013).** Agroecology and Politics. How to Get Sustainability? About the Necessity of a Political Agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems.* 37:1, 45-59. doi:10.1080/10440046.2012.705810
- Holt-Gimenez, E. and Altieri, M. (2013).** Agroecology, Food Sovereignty, and the New Green Revolution. *Agroecology and Sustainable Food Systems.* 37: 90-102. doi:10.1080/10440046.2012.716388

- Homewood, K., Lambin, E. F., Coast, E., Kariuki, A., Kikula, I., Kivulia, J. Said, M., Serneels S. and Thompson, M. (2001).** Long-term changes in Serengeti-Mara wildebeest and land cover: Pastoralism, population, or policies? *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98(22), 12544–12549. doi:10.1073/pnas.221053998
- Peet R. and Watts, M. (2004).** *Liberation Ecologies: Environment, development, social movements* (2nd Edition). Routledge.
- Robbins, P. (2004).** *Political Ecology: Critical Introductions to Geography*. Blackweel Publishing.
- Steward J. (1973).** *Theory of Culture Change: The Methodology of Mtilinear Evolution*. University of Illinois Press.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D. and David, D. (2009).** Agroecology as a science, a movement, and a practice. A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4): 503-515. doi.org/10.1051/agro/2009004





II. Técnicas de producción agroecológica



La isla del árbol (2008). Isemorin Fritzner. (Colección privada, Bulnes, Chile).

La agroecología ha demostrado consistentemente que al ser más diversa, resiliente y no depender de recursos externos es capaz de aumentar de manera sostenible la producción total con el potencial de abastecer localmente a las comunidades, como se ve en la parte superior del cuadro. Por lo tanto, la agroecología se reconoce cada vez más como el camino que la agricultura debe seguir para lograr objetivos de productividad en tiempos de incertidumbre económica, sanitaria y climática, sin agotar el medioambiente.

Capítulo 5

Principios y prácticas de sistemas productivos con criterios agroecológicos

Cecilia Céspedes L.¹

Agustín Infante L.²

Soledad Espinoza T.³

Principios de producción con criterios agroecológicos

Los desafíos actuales para la agricultura que plantean la inseguridad alimentaria y el cambio climático son graves. Existe una paradoja entre el aumento de la producción de alimentos y el aumento del hambre en el mundo. Esto se debe a que se está destruyendo la base de la agricultura con prácticas insostenibles. La agricultura convencional ha contribuido significativamente a la crisis, como también al cambio climático (TWN-SOCLA, 2015). Sumado a lo anterior, la pandemia de coronavirus revela la naturaleza sistémica del planeta, que la salud humana, animal y ecológica están estrechamente vinculadas. Sin duda el COVID-19 es un llamado de atención para la humanidad a repensar el modo de desarrollo imperante, capitalista y altamente consumista, y las formas en que los humanos se relacionan con la naturaleza (Altieri y Nicholls, 2020).

La agroecología, que utiliza conceptos y principios ecológicos para el diseño y la gestión de sistemas agrícolas sostenibles, ha demostrado consistentemente que es capaz de aumentar de manera sostenible la producción total en predios diversificados, y tiene un potencial mucho mayor para combatir el hambre, particularmente durante tiempos de incertidumbre económica y climática (TWN-SOCLA, 2015). La producción con criterios agroecológicos tiene el potencial de producir localmente gran parte de los alimentos necesarios para las comunidades rurales y urbanas, particularmente en un mundo amenazado por el cambio climático y otros problemas, como la pandemia (Altieri y Nicholls, 2020) y al ser más diversa, eficiente y no depender de recursos externos es más resiliente a dichos problemas. Por lo tanto, la agroecología se reconoce cada vez más como el camino a seguir para la agricultura, capaz de lograr objetivos de productividad en tiempos de crisis, sin agotar el medioambiente.

¹ Investigadora Agroecología. INIA Quilamapu. cecilia.cespedes@inia.cl

² Director Centro de Educación y Tecnología (CET). cetbiobio@gmail.com

³ Investigadora Sistemas Ganaderos. INIA Cauquenes. soledad.espinoza@inia.cl

El diseño de sistemas agrícolas basados en la agroecología debe considerar los siguientes cinco principios (TWN-SOCLA, 2015):

- Mejorar el reciclaje de biomasa, optimizando la disponibilidad y equilibrando el flujo de nutrientes.
- Asegurar condiciones de suelo favorables para el crecimiento de las plantas, particularmente mediante el manejo de materia orgánica y el incremento de la actividad biológica del suelo
- Minimizar las pérdidas debidas a los flujos de radiación solar, aire y agua a través del manejo del microclima, la cosecha de agua y el manejo del suelo mediante una mayor cobertura de este.
- Diversificación genética y de especies presentes en el agroecosistema, a través del tiempo y espacio, a nivel de campo y paisaje.
- Mejorar las interacciones biológicas beneficiosas y las sinergias entre los componentes de la agrobiodiversidad, dando como resultado la promoción de procesos y servicios ecológicos clave.

Lo anterior es complementado por Gliessman (2017), quien sugiere que un sistema alimentario sostenible debiera, al menos:

- tener mínimos efectos negativos sobre el medioambiente y liberar insignificantes cantidades de tóxicos o sustancias dañinas en la atmósfera, superficie, agua superficial y agua subterránea;
- minimizar la producción de gases de efecto invernadero, trabajar para mitigar el cambio climático aumentando la capacidad de los sistemas manejados para almacenar carbono fijado y facilitar la adaptación humana al calentamiento del clima;
- preservar y reconstruir la fertilidad del suelo, prevenir la erosión y mantener la salud ecológica del suelo;
- usar el agua de una manera que permita que los acuíferos sean recargados y las necesidades de agua de la gente y del medioambiente sean reunidos;
- depender principalmente de los recursos dentro del agroecosistema, incluyendo las comunidades cercanas, reemplazando los insumos externos con el reciclaje de nutrientes, una mejor conservación y una base de conocimientos ecológicos ampliada;
- trabajar para valorar y conservar la diversidad biológica, tanto en la naturaleza como en los paisajes domesticados;

- garantizar la igualdad de acceso a prácticas agrícolas apropiadas, conocimientos y tecnologías y permitir el control local de los recursos agrícolas;
- eliminar el hambre, garantizar la seguridad alimentaria de maneras culturalmente apropiadas y garantizar a cada ser humano el derecho a una alimentación adecuada;
- eliminar las injusticias sociales, económicas y políticas de los sistemas alimentarios.

Cada una de estas características implica innegables beneficios para las personas y los sistemas ecológicos y sociales de los cuales ellas dependen. Con base en lo anterior, los elementos agroecológicos se pueden sintetizar en los siguientes principios:

Diversidad

En los ecosistemas naturales la diversidad de la flora y fauna está en su máxima expresión, basta recordar la gran biodiversidad de la composición biótica de un bosque. Asimismo, en los sistemas productivos tradicionales, como son los predios campesinos, no sorprende ver una gran diversidad de elementos presentes, cultivos anuales, hortalizas, alta variedad de frutales, diversos árboles nativos, aves, cerdos, vacunos, caballos y ovinos, todo rodeado de un entorno de vegetación natural, matorrales y hierbas propias del sector. Por su parte, en los sistemas agrícolas tropicales, en los asiáticos, mayas, incas y en general en las explotaciones indígenas, se observa una alta diversidad de especies vegetales. Esto, sin duda, ha permitido a los sistemas ecológicos mantenerse en el tiempo sin grandes variaciones, demostrando alta estabilidad y capacidad *buffer* para resistir períodos de estrés medioambiental (Infante y San Martín, 2016).

Los sistemas establecidos con criterios agroecológicos son muy diversos. A partir de una perspectiva biológica optimizan la diversidad de especies y recursos genéticos en diferentes caminos. Así por ejemplo, los sistemas agroforestales organizan cultivos, arbustos y árboles de diferentes alturas y formas, en diferentes niveles o estratos, aumentando la diversidad vertical; los cultivos intercalados, por su parte, combinan especies complementarias para aumentar la diversidad espacial (FAO, 2018). Por ejemplo, las rotaciones de cultivos a menudo incluyen leguminosas que aumentan la diversidad temporal, a la vez que aportan nitrógeno (N); en sistemas ganaderos el pastoreo mixto de diferentes especies de rumiantes reduce riesgos de parasitismo, mientras que diversas especies o razas locales tienen mayores habilidades para sobrevivir, producir y mantener los niveles de reproducción en entornos hostiles. Los sistemas productivos son capaces de resistir mejor el ataque de plagas y enfermedades cuando se mantiene un equilibrio funcional diversificado.

Las prácticas agroecológicas que aumentan la diversificación recuperan la complejidad biológica de los sistemas agrícolas y promueven la necesaria comunidad de organismos que interactúan para regular los brotes de plagas y enfermedades. Esto no solo a nivel de potrero o predial, sino que a escala de paisaje. El incremento de la biodiversidad contribuye a una variedad de beneficios en la producción, en la situación socioeconómica, en la nutrición y en los efectos ambientales. Planificando y gestionando diversidad en los sistemas agroecológicos se mejora la provisión de servicios ecosistémicos, incluyendo salud del suelo, control natural y polinización, de los cuales la agricultura depende.

La diversificación puede aumentar la productividad y eficiencia en el uso de recursos, optimizando biomasa y captación de agua, pero además fortalece la resiliencia ecológica, es decir, los sistemas agroecológicos diversificados tienen una mayor capacidad para recuperarse de perturbaciones, como plagas y enfermedades, además de fenómenos meteorológicos extremos, como sequías, inundaciones o huracanes. El enfoque con criterios agroecológicos también puede mejorar la resiliencia socioeconómica, incluso puede crear nuevas oportunidades de mercado (FAO, 2018).

Al tener una variedad de fuentes de ingresos, gracias al acceso a nuevos mercados, de preferencia diferenciados, con diversos productos, procesamiento de alimentos locales y agroturismo, los ingresos familiares tienden a ser más estables. Por otra parte, disponer de una amplia gama de cereales, legumbres, frutas, vegetales y productos de origen animal, incluyendo diferentes variedades, razas y especies, tanto vegetales como animales, aporta macronutrientes, micronutrientes y otros compuestos bioactivos para dietas humanas (FAO, 2018).

Unidad

En un bosque natural es altísima la unidad entre los distintos elementos biológicos, bioquímicos y geológicos. Todo cumple una función y existe una gama de interrelaciones entre ellos. Esto se ve claramente demostrado al estudiar las cadenas tróficas que hay en ese ecosistema y los ciclos naturales presentes. De igual forma, en sistemas agrícolas tradicionales los/as agricultores/as han conectado los diferentes elementos de su predio para comprender su funcionamiento. Han podido relacionar tipos de suelo con la vegetación existente, poblaciones de insectos y comportamiento de los animales. A través del tiempo han aprendido a vincular el clima con variedades y combinación de cultivos y con el mejoramiento y adaptabilidad de razas animales, por tradición y en la práctica, aplicando la unidad de los elementos suelo-planta-animal que conforman su sistema productivo (Infante y San Martín, 2016).

La unidad como principio agroecológico se puede describir, por ejemplo, con la inmensa comunidad de organismos vivos pertenecientes a numerosas especies que habitan la

mayor parte de los campos agrícolas y conforman redes alimentarias muy complejas. Esta formidable biodiversidad está presente en las comunidades de la mayoría de los suelos agrícolas. Estos organismos realizan una serie de funciones muy diversas en su entorno. A través de sus diferentes entradas y salidas, cualquier agroecosistema termina siempre conectándose con otros sistemas agrícolas, ecosistemas naturales y sistemas urbanos (Powers y McSorly, 2000).

La agroecología presta especial atención a la unidad y diseño de sistemas diversificados que combinan selectivamente cultivos anuales y perennes, ganado y animales acuáticos, hierbas, arbustos, árboles, suelos, agua y otros componentes en granjas y paisajes agrícolas para mejorar las sinergias en el contexto de un clima cada vez más cambiante. La agroecología promueve así los sistemas agrícolas con los necesarios factores biológicos, socioeconómicos y diversidad institucional y alineación en el tiempo y el espacio para generar una mayor eficiencia.

Reciclaje

El desperdicio es un concepto relacionado con la actividad del ser humano, no existe en los ecosistemas naturales (FAO, 2018). Las hojas de los vegetales y el guano de los animales aportan fertilidad a los bosques y mantienen la actividad microbiana del suelo. No es extraño ver a los/as agricultores/as utilizando rastrojos como cama animal y el estiércol de sus establos como enmienda en los suelos. Desde sus inicios la agricultura hizo del reciclaje su gran aliado para mantener la fertilidad del suelo, solo la llegada de los fertilizantes sintéticos redujo esta importante práctica. Al imitar los ecosistemas naturales, las prácticas agroecológicas estimulan los procesos biológicos que impulsan el reciclaje de nutrientes, biomasa y agua en los sistemas de producción, con lo que se aumenta la eficiencia en el uso de los recursos y se reduce al mínimo el desperdicio y la contaminación (FAO, 2018).

El reciclaje puede tener lugar tanto a escala del predio como dentro de los paisajes, a través de la diversificación y construcción de sinergias entre diferentes componentes y actividades. Por ejemplo, los árboles que tienen un enraizamiento más extenso pueden capturar nutrientes de estratos más profundas que las raíces de cultivos anuales (Buresh *et al.*, 2004), luego sus hojas o podas pueden ser utilizadas en la elaboración de biopreparados, reciclando dichos nutrientes. En los sistemas de cultivo y ganadería se promueve el reciclaje de materiales orgánicos mediante el uso de los rastrojos y subproductos de los cultivos como alimentos para el ganado y el estiércol para compostaje o también directamente aplicado al suelo (FAO, 2018).

El reciclaje ofrece múltiples beneficios al cerrar los ciclos de nutrientes, utiliza bien los recursos y reduce la contaminación, aumenta la eficiencia y minimiza los residuos, lo que

se traduce en menor dependencia de recursos externos y aumento de la autonomía de los/as productores/as, reduciendo su vulnerabilidad ante perturbaciones económicas o naturales (Powers y McSorley, 2000; FAO, 2008).

Uso eficiente de los recursos

Debido a su reducida diversidad en estructura y función, los sistemas agrícolas son menos resistentes a las perturbaciones que los ecosistemas naturales. La atención casi exclusiva en la cosecha domina cualquier intento de autoequilibrio, de modo que el sistema solamente puede ser sostenido por la actividad humana en forma de trabajo o de insumos externos (Gliessman, 2002). En los sistemas naturales y en la agricultura tradicional es posible apreciar que, gracias a la diversidad, a la unidad y al reciclaje, se produce un uso óptimo del suelo, de los nutrientes, agua, luz y componentes bióticos. El uso de los recursos naturales en estos sistemas es bastante eficiente y no existe tanta dependencia de insumos externos como en la agricultura convencional; así también, se utilizan en general los recursos renovables que son más baratos y a la vez menos contaminantes (Infante y San Martín, 2016).

El uso adecuado de los recursos también se manifiesta en el aumento de la eficiencia y es una propiedad de los sistemas agroecológicos, los cuales se planifican cuidadosamente y gestionan la diversidad para crear sinergias entre diferentes componentes del sistema. Los sistemas agroecológicos mejoran el uso de recursos, especialmente los que son abundantes y libres, como la radiación solar, el carbono y el nitrógeno atmosférico.

El óptimo uso de los recursos propios y la reducción de la dependencia de recursos externos empoderan a los/as productores/as aumentando su autonomía y resistencia a los desajustes naturales o económicos. Al reducir la dependencia de insumos externos, la agroecología puede reducir la vulnerabilidad de los/as productores/as al riesgo económico (FAO, 2018).

Valor social y humano

Los sistemas agroecológicos se diseñan de acuerdo al conocimiento específico de cada contexto. No ofrecen recetas fijas, sino que las prácticas agroecológicas deben diseñarse en adaptación a la realidad ambiental, social, económica, cultural y política de cada situación. La cocreación, el diálogo de saberes y el intercambio de conocimientos juegan un papel central en el proceso de desarrollo y ayudan a implementar innovaciones agroecológicas para abordar desafíos en los sistemas alimentarios (FAO, 2018). Así, la agroecología combina los conocimientos tradicionales e indígenas, con los conocimientos prácticos de productores/as y comerciantes y el conocimiento científico global. El fomento de los procesos participativos

e innovaciones institucionales que generen confianza mutua permiten la cocreación y el intercambio de conocimientos, contribuyendo a procesos de transición agroecológica relevantes e inclusivos (FAO, 2018). La identidad cultural está estrechamente vinculada al paisaje y a sus sistemas alimentarios.

En el año 2017 casi 800 millones de personas sufrían de hambre y 2 mil millones, carencias de micronutrientes (FAO, 2017). Sin embargo, en 2016 existía un aumento descontrolado de la obesidad y las enfermedades relacionadas con la dieta, con más de 1.900 millones de adultos/as con sobrepeso, de los cuales más de 650 millones eran obesos/as (WHO, 2020). La agroecología busca cultivar una relación sana entre las personas y la alimentación, juega un papel importante en el equilibrio entre la tradición y los hábitos alimentarios modernos, promoviendo la salud mediante la producción y consumo de alimentos sanos (FAO, 2018).

La agroecología enfatiza los valores sociales, como dignidad, equidad, inclusión y justicia, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de las personas; ubica las aspiraciones y necesidades de quienes producen, distribuyen y consumen los alimentos en el centro de los sistemas alimentarios; construye autonomía y capacidad de adaptación para gestionar sus agroecosistemas, es decir, los enfoques agroecológicos empoderan a las personas y a las comunidades para superar la pobreza, el hambre y desnutrición, al tiempo que se promueven los derechos humanos, como el derecho a la alimentación y a la protección del medioambiente, para que las generaciones futuras también puedan vivir en prosperidad. La agroecología busca abordar las desigualdades de género creando oportunidades para las mujeres y, de la misma forma, ofrece esperanza a los/as jóvenes que han decidido dedicarse a las labores del campo. La agroecología se basa en una forma diferente de producción agrícola, intensiva en conocimientos, respetuosa con el medioambiente, socialmente responsable e innovadora (FAO, 2018).

Prácticas de producción con criterios agroecológicos

A partir de los principios de producción agroecológica nacen una serie de manejos, que al llevarlos a la práctica conectan y potencian los principios agroecológicos y permiten lograr el éxito de la gestión.

En el Cuadro 5.1 se pueden observar las prácticas agroecológicas que mayoritariamente sustentan uno o más de los diferentes principios. Sin embargo, se debe señalar que en un predio manejado con criterios agroecológicos por un período mayor, por lo que se encuentra estable, todas las prácticas contribuyen de una u otra forma a los principios mencionados.

Cuadro 5.1. Principios de la producción con criterios agroecológicos y prácticas más fuertemente asociadas.

Prácticas	Principios				
	Diversidad	Unidad	Reciclaje	Uso eficiente de los recursos	Valor social
Aplicación de MO al suelo	●	●	●	●	●
Uso de leguminosas	●	●	●	●	●
Asociaciones de cultivos	●	●		●	●
Rotaciones de cultivos	●	●	●	●	●
Cultivos de cobertura	●	●	●	●	
Abonos verdes	●		●	●	
Uso de mulch orgánico	●		●	●	
Eliminación de quemas agrícolas	●	●	●	●	●
Labranza conservacionista	●	●	●	●	●
Conservación de suelos	●	●	●	●	●
Sistemas agroforestales	●	●	●	●	●
Manejo nutricional	●	●	●	●	
Uso y manejo del agua		●		●	●
Manejo ecológico de plagas	●	●	●	●	●
Manejo ecológico de enfermedades	●	●	●	●	●
Manejo ecológico de malezas	●	●	●	●	●
Eliminación de productos tóxicos	●	●	●	●	●
Cortinas cortaviento y cercos vivos	●	●		●	
Corredores biológicos	●	●		●	
Control natural y biológico	●	●		●	
Mercados locales	●			●	●
Circuitos cortos				●	●
Alimentación sana	●			●	●
Organización de agricultores/as					●
Diálogo de saberes					●

A continuación, se detallan algunas de las prácticas señaladas en el Cuadro 5.1., que no son consideradas en los capítulos siguientes de este libro.

Aplicación de materia orgánica al suelo

La aplicación de materia orgánica (MO) al suelo responde a los cinco principios de la agroecología, ya que usa eficientemente los recursos, mediante el reciclaje de residuos orgánicos, que al ser aplicados al suelo incrementan la biodiversidad y favorece la unidad del ecosistema suelo. Esta práctica no es nueva ya que combina la tradición de los/as productores/as con técnicas modernas, lo cual les permiten obtener productos de mayor calidad y de forma más eficiente.

Los suelos son sistemas muy diversos y complejos, constituyen el hábitat para plantas, animales, micro y macro organismos, todos interconectados entre sí. El suelo es el factor más importante en la producción agrícola y al mismo tiempo es el más influenciado por el manejo agronómico, constituye la base de la producción agropecuaria y, con eso, la base de la alimentación. Dentro de los componentes sólidos del suelo se encuentran las partículas minerales (arena, limo y arcilla) y la MO. Las partículas minerales se organizan en agregados determinando el espacio poroso, del cual depende la dinámica de agua y el aire en el suelo, el crecimiento de las raíces y la susceptibilidad a los procesos erosivos.

La materia orgánica del suelo (MOS) está formada por compuestos que provienen de restos de organismos, ya sea plantas y animales, y sus productos de desecho; su composición es de complejidad variable y se encuentra en distintos estados de transformación, desde los residuos de cultivos y animales recientemente incorporados, hasta la compleja estructura del humus alcanzada después de períodos muy extensos de transformación (Céspedes y Millas, 2015).

La incorporación de materia orgánica (MO) es de vital importancia para la fertilidad del suelo: incrementa la biomasa microbiana que está relacionada con el reciclaje de nutrientes, aumentando el contenido total y la disponibilidad de ellos para los cultivos; permite mantener unidas las partículas primarias del suelo, en conglomerados de mayor tamaño que al unirse dejan espacio poroso entre ellos, mejorando la estructura y la estabilidad del suelo y, con ello, la retención e infiltración del agua (Chabert y Sarthou, 2020) (Figura 5.1.), lo cual es de gran relevancia particularmente en el nuevo escenario de cambio climático, donde las precipitaciones se han concentrado en períodos más cortos causando temporadas más extensas de sequía. Es así como Hudson (1994) demostró que los suelos con altos contenidos de MO tienen una capacidad de agua disponible significativamente mayor que los suelos de textura similar que contienen menos MO (Figura 5.2.). Lo refuerzan Bhadha *et al.* (2017), quienes indican que al incrementar en 1% el contenido de materia orgánica del suelo es posible aumentar hasta 18,7 L de agua disponible en 1 m² de suelo.

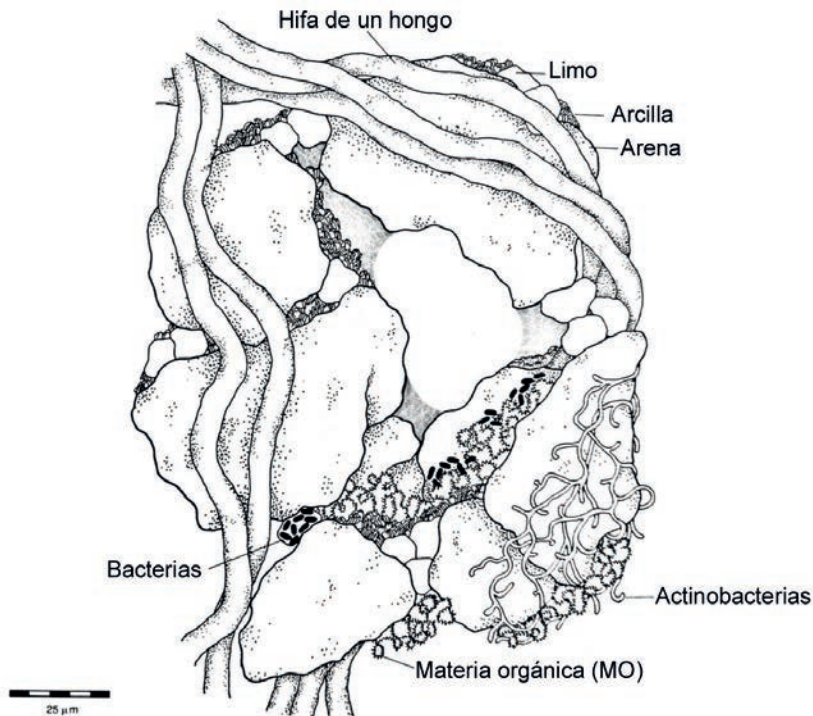


Figura 5.1. Materia orgánica, materiales inorgánicos precipitados y microorganismos, unen las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) formando un microagregado típico del suelo. Fuente: Hartel, 1998.

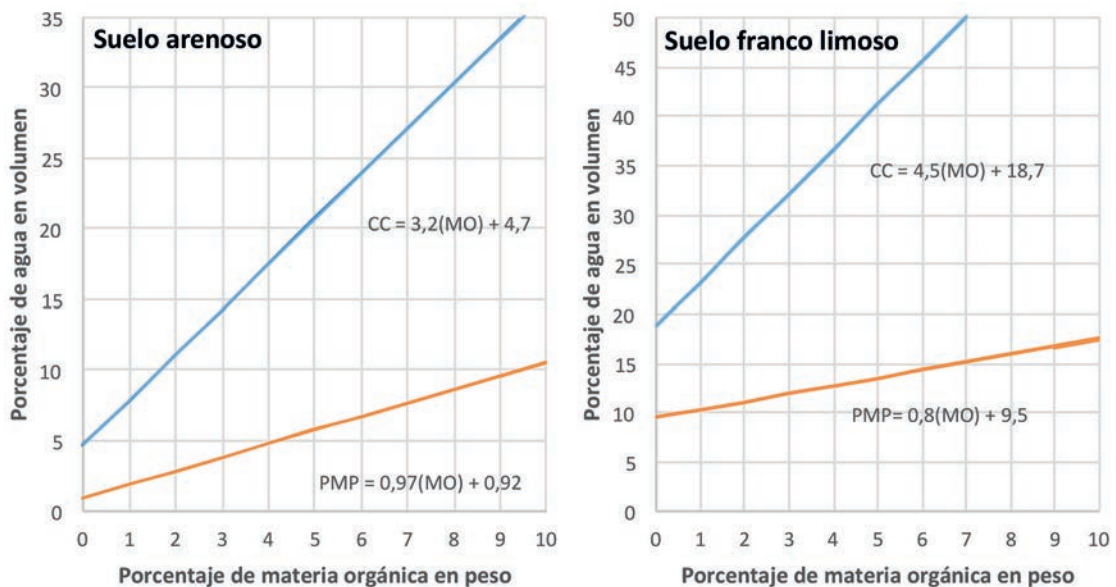


Figura 5.2. Contenido de agua a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) en relación al contenido de materia orgánica en un suelo arenoso (izquierda) y franco limoso (derecha). Fuente: Adaptado de Hudson, 1994.

En el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, se evaluó el efecto de la aplicación de MO en suelos graníticos de las regiones de Ñuble y Biobío, demostrando que la agregación estable al agua se incrementa (agregados de 1 a 2 mm de tamaño) en la medida que se aplica MO al suelo por períodos prolongados (Figura 5.3. izquierda).

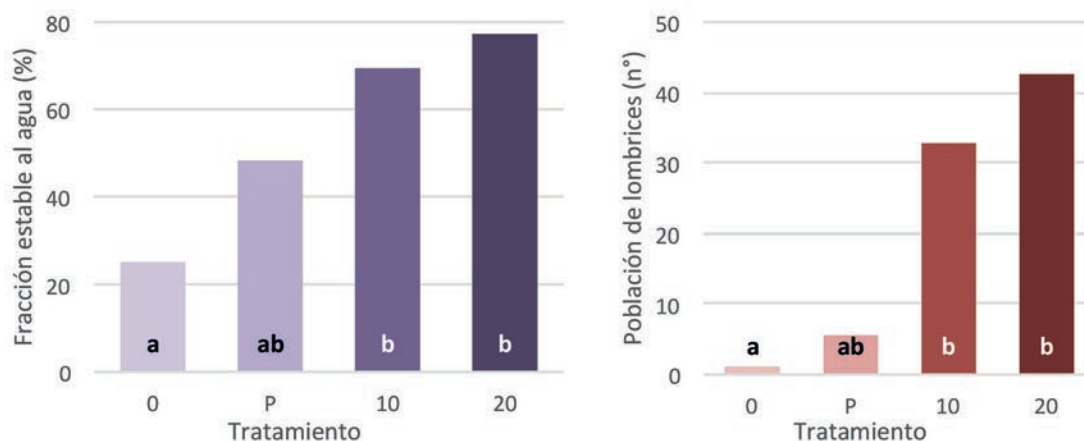


Figura 5.3. Indicadores de calidad de suelos, agregación estable al agua (izquierda) y poblaciones de lombrices (derecha), en suelos graníticos de las regiones de Ñuble y Biobío, sin aplicación de materia orgánica (MO) y suelo descubierto (0), sin aplicación de MO y con pradera natural (P), con aplicación de 10 t/ha/año de MO durante 5 a 10 años consecutivos (10), con aplicación de 10 t/ha/año de MO durante 15 a 20 años consecutivos (20). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas $p < 0,5$.

Entre los principales factores que influyen en la agregación del suelo se encuentra: la acción de los macro y micro organismos, algunas variables ambientales, agentes inorgánicos que mantienen las partículas unidas y la presencia de raíces (Torres-Guerrero *et al.*, 2013). Los macro agregados (> 2 mm) se forman gracias a la ayuda de las raíces de plantas, especialmente gramíneas que tienen raíces finas y muy abundantes, estos macro agregados están formados por agregados más pequeños (0,2 a 2 mm) que se mantienen firmemente unidos producto de la actividad de los microorganismos o de excrementos de lombrices. Por ello, en el mismo estudio realizado por INIA fue interesante demostrar que las poblaciones de lombrices aumentan con aplicaciones sucesivas de MO al suelo, por períodos más prolongados (Figura 5.3. derecha).

Una buena estructura del suelo depende también de la actividad biológica en él, al aplicar MO aumentan las poblaciones de microorganismos, debido a la disponibilidad de alimento y albergue. Los microorganismos que se alimentan de la MOS corresponden a un grupo denominado descomponedores, que participan en la mineralización de compuestos orgánicos, dejando disponibles macro y micronutrientes para ser reutilizados por plantas y otros muchos organismos que viven en el suelo. Muchos de ellos participan como catalizadores en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, facilitando su reciclaje y disponibilidad para otros

organismos (entre los que se encuentran las plantas), por ello al aplicar MO se incrementa la biomasa microbiana y la actividad enzimática del suelo (Céspedes-León *et al.*, 2006).

Entre los organismos del suelo se encuentran los que antagonizan o compiten con patógenos, los que liberan antibióticos, los que causan enfermedades a las plagas, todos ellos reducen los problemas sanitarios de los cultivos, esto se conoce como supresión (ver capítulo 12).

También existen microorganismos que liberan promotores del crecimiento, fijan nitrógeno (N) del aire (en forma libre o en simbiosis con plantas; Zuberer, 1998), bacterias que exudan aglutinantes, las hifas fúngicas que mantienen juntas las partículas del suelo y las lombrices de tierra, que descomponen y forman agregados mejorando la estructura del suelo (Lehmann *et al.*, 2017), entre muchos otros organismos benéficos.

Es importante saber que la MOS está compuesta por diferentes fracciones, que de acuerdo a su composición tendrán una diferente velocidad de reciclaje. Dichas fracciones se caracterizan en el Cuadro 5.2.

Cuadro 5.2. Calidad de la materia orgánica del suelo.

Activa	Estabilizada	Humificada
Compuestos orgánicos de bajo peso molecular.	Compuestos orgánicos de cadena intermedia.	Compuestos orgánicos de cadena larga.
Gran velocidad de reciclaje. Biológicamente activa.	En transición.	Lenta descomposición.
Fracción lábil de la materia orgánica.	Moderadamente estabilizada.	Altamente estabilizada con la fracción arcillosa.
Fácilmente afectada por el manejo agronómico y por lo tanto fácilmente mineralizable.	Susceptible de ser atacadas por la biomasa microbiana del suelo.	Difícilmente atacada por la biomasa microbiana.

Fuente: Elaboración propia.

Es posible aplicar la MO fresca (guanos, estiércoles o abonos verdes) aportando mayor cantidad de MO activa, la cual es consumida rápidamente por los microorganismos liberando nutrientes fácilmente aprovechables por los cultivos, o bien aplicar la MO más estabilizada (compost, bokashi o lombricompost) permitiendo que parte importante quede retenida en el suelo, promoviendo su rehabilitación y aportando a la mitigación del cambio climático gracias al secuestro de carbono (C).

Además, se debe considerar que, debido a la etapa termófila del proceso de compostaje, mueren propágulos de malezas y patógenos que pudiesen estar presentes en las materias primas (Day y Shaw, 2004), y se multiplican microorganismos benéficos que permiten suprimir enfermedades gracias a la liberación de antibióticos y otros mecanismos de control biológico (Céspedes y Millas, 2015).

Por lo tanto, el contenido de MOS influye positivamente en la estructura, en la capacidad de intercambio catiónico, en la disponibilidad de nutrientes y en la actividad biológica del suelo y, por lo tanto, en el vigor y sanidad de los cultivos.

Uso de leguminosas

Es fundamental incorporar leguminosas en los sistemas productivos manejados con criterios agroecológicos, ya sea en rotaciones, cultivos de cobertura, abonos verdes, cultivos asociados y/o intercalados, ya que pueden aportar importantes cantidades de N que queda disponible en el suelo (de Oliveira *et al.*, 2017) gracias a la simbiosis que realizan con bacterias fijadoras de N del género *Rhizobium*, denominada fijación biológica de nitrógeno (FBN), además del efecto positivo de los sistemas radicales diversos y extensos que tienen las leguminosas permitiendo una mayor extracción y reciclaje de nutrientes (Carvalho *et al.*, 2015).

Se recomienda sembrar las leguminosas en invierno, como abonos verdes, para evitar periodos prolongados de barbecho, junto con aportar N para cultivos sucesivos en la rotación (Enrico *et al.*, 2020). Pero también pueden ir asociadas como cultivos de cobertura, favoreciendo al cultivo principal. La contribución de N mediante FBN por parte de algunas leguminosas se presenta en el Cuadro 5.3, donde se aprecia el aporte de N, alcanzando entre 32 a 866 kg N/ha año, dependiendo de la especie de leguminosa. Además, la cantidad de N₂ fijado por leguminosas de grano y forrajes tiene una relación lineal con la producción de fitomasa de la parte aérea; esta relación varía entre 15 – 25 kg N/ ha por cada tonelada de materia seca acumulada en la parte aérea (Anglade *et al.*, 2015; Espinoza *et al.*, 2020).

Cuadro 5.3. Rendimiento de fitomasa (kg/ha), contenido (%) y aporte (kg/ha/año) de nitrógeno (N), en algunas especies de leguminosas en Chile.

Especie	Nombre científico	Producción de fitomasa (kg/ha)	Contenido de N en la biomasa (%)	Aporte total de N (kg/ ha/año)	Referencia
Haba	<i>Vicia faba</i> var. Fresh water	12.720	4,20	534	Elaboración propia
Vicia	<i>Vicia Atropurpurea</i>	8.715	3,26	284	
Lupino australiano	<i>Lupinus angustifolius</i> var. Wonga	9.656	4,10	396	
Arveja	<i>Pisum sativum</i> var. Milano	21.745	2,76	600	
Arveja	<i>Pisum sativum</i> var. Rocket	11.182	3,87	433	Espinoza <i>et al.</i> , 2012
Lupino amarillo	<i>Lupinus luteus</i> var Motiv	4.213	3,46	146	
Lupino blanco	<i>Lupinus albus</i> var. Rumbo	5.288	4,07	215	
Trébol vesiculoso	<i>Trifolium vesiculosum</i> cv. Zulu	8.830	4,10	362	Espinoza <i>et al.</i> , 2011
Trébol encarnado	<i>Trifolium incarnatum</i> cv. corriente	3.378	4,16	141	
	<i>Trifolium subterraneum</i> var. Mount Barker	6.820	2,99	204	Ovalle <i>et al.</i> , 2010
	<i>Trifolium subterraneum</i> var. Clare	3.510	2,08	73	Ovalle <i>et al.</i> , 2006
	<i>Trifolium subterraneum</i> var. Seaton Park	2.533	1,75	44	
	<i>Trifolium subterraneum</i> var. Gosse	1.950	1,62	32	
Trébol balansa	<i>Trifolium michelianum</i> cv. Paradana	3.680	2,07	76	
Serradela amarilla	<i>Ornithopus compressus</i> cv Tauro	3.740	2,44	91	Ovalle <i>et al.</i> , 2006
Hualputra	<i>Medicago Polymorpha</i> cv Cauquenes INIA	2.310	2,37	55	
Serradela rosada	<i>Ornithopus sativus</i> cv Cádiz	1.490	1,99	30	
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i> var. Criolla	21.340	4,06	866	Campillo <i>et al.</i> , 2003
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i> var. Huía	10.400	3,96	412	
Trébol rosado	<i>Trifolium pratense</i> var. Quiñequeli	9.070	3,74	339	

Asociaciones de cultivos

El monocultivo es la práctica de cultivar en un sistema agrícola una sola especie a la vez. Ha sido utilizado en la agricultura convencional debido a que permite minimizar la cantidad de mano de obra, facilitando la mecanización. Sin embargo, lleva asociado el empobrecimiento del suelo, ya que el cultivo utiliza los mismos nutrientes obtenidos de la misma profundidad del suelo, existe una mayor exposición a plagas y enfermedades que tienen una rápida propagación debido a la falta de diversidad biológica. Por lo anterior, la agroecología fomenta la diversidad, ya sea espacial (o en forma simultánea) con los cultivos intercalados, y/o temporal (o en forma sucesiva) como las rotaciones de cultivos.

El cultivo intercalado es una práctica agrícola que involucra dos o más especies de cultivos, o genotipos, juntos y conviviendo por un tiempo; esta práctica ha sido importante en muchos sistemas agrícolas de subsistencia o de limitados insumos y/o recursos, ha permitido incrementar el rendimiento sin utilizar mayores insumos (Brooker *et al.*, 2014), responde a cuatro de los cinco principios de la agroecología, tiene un valor social, ya que recupera las prácticas ancestrales, permite usar eficientemente los recursos suelo, nutrientes, agua y luz, incrementa la diversidad y favorece la unidad del sistema.

El cultivo intercalado puede ser una vía para lograr una intensificación sostenible, ya que logra un mejor aprovechamiento de los recursos; para ello, es necesario hacer una combinación inteligente de plantas con diferentes hábitos y períodos de crecimiento, sistemas radiculares y épocas de maduración. Las asociaciones de cultivo favorecen la biodiversidad en un mismo momento (biodiversidad espacial), reducen el riesgo sanitario o climático y permiten diversificar la producción.

Los policultivos pueden establecerse intercalados en franjas o surcos (Brooker *et al.*, 2014), por ejemplo cuatro hileras de un cultivo y cuatro hileras del otro o una hilera de cada cultivo, como se usa en la producción hortícola intensiva (Foto 5.1.), se cultivan de forma simultánea en hileras de plantación bien definidas alternando dos o más especies o mixtos, donde dos o más especies se siembran o trasplantan mezcladas, tanto entre hileras como sobre ellas.



Foto 5.1. Cama alta con riego por goteo y cultivos intercalados.

Las asociaciones de cultivos pueden tener una mayor probabilidad de resistir la sequía que el monocultivo, lo cual es importante en el nuevo contexto de cambio climático ya que las especies más resistentes pueden compensar las más sensibles. En un estudio realizado por Wright *et al.* (2021), en los Países Bajos, se establecieron monocultivos y mezclas de cuatro y ocho especies diferentes, evaluando la productividad cada año, desde el 2000 hasta 2010; se determinó que seis de ocho especies fueron afectadas cuando crecían en monocultivo durante años secos, pero las mismas especies no se vieron afectadas por la sequía cuando crecían en policultivo, concluyendo que se puede utilizar la biodiversidad como una herramienta para proteger especies individuales de las condiciones de sequía.

Además, los policultivos permiten lograr mayor eficiencia productiva. Existe un concepto que permite comparar monocultivos con sistemas asociados, es el Índice de uso equivalente de la tierra (IET; Benzing, 2001) o LER por su traducción al inglés (*Land equivalent ratio*).

$$IET = \frac{RAc1}{RMc1} + \frac{RAc2}{RMc2} + \frac{RAc3}{RMc3} + \dots =$$

RA= Rendimiento cultivo en asociación. RM= Rendimiento monocultivo. c= cultivo
Fuente: Adaptado de Benzing (2001).

Benzing (2001) indica que existen asociaciones muy eficientes, como maíz (*Zea mays*) en mezcla con haba (*Vicia faba*), maíz con quinua (*Chenopodium quinoa*) y haba con quinua. Los resultados obtenidos en un ensayo en Cusco lograron un IET superior a 2 en las tres asociaciones, lo que significa que para obtener en los monocultivos el mismo rendimiento que en una hectárea de la asociación se necesitarían 2 ha de monocultivo. Otro estudio realizado en Egipto concluyó que el cultivo intercalado de habas y cebolla es exitoso, registrando un IET de 1,59 (Abou-Keriasha *et al.*, 2013); los autores concluyeron que la asociación de cultivos puede traer mejoras en el uso de los recursos (tierra, nutrientes, especialmente N de suelo, luz y agua) en alrededor de 10 al 50% por sobre los monocultivos, expresados en IET. En el Faro agroecológico de INIA Quilamapu, ubicado en Chillán, se evaluó el IET en una asociación de maíz y poroto (*Phaseolus vulgaris*) manejado con criterios agroecológicos (Foto 5.2.), obteniendo un IET de 1,5; y en un experimento similar asociando alforfón (*Fagopyrum esculentum*) con maíz el resultado obtenido fue de 1,95. Sin embargo, estos resultados no son siempre tan espectaculares, ya que las plantas compiten entre ellas y es necesario conocer cuáles son las que se benefician con las asociaciones.



Foto 5.2. Asociación de maíz y poroto con manejo de malezas y mulch de paja de trigo.

En huertos familiares de diversas localidades y regiones se puede observar gran diversidad de hortalizas en las camas de plantación, como también la mezcla con otras especies que permiten aumentar la diversidad del sistema. Por ello es fundamental conocer las especies que se benefician al ser establecidas en hileras vecinas, o intercaladas en la misma hilera, ya que hay algunas que son compañeras (se benefician mutuamente), son indiferentes o tienen una relación desfavorable (Cuadro 5.4.).

Cuadro 5.4. Asociaciones favorables (verde), desfavorables (rojo) e indiferentes (blanco).

Cultivos	Acelga	Ajo	Apio	Arvejas	Berenjena	Betarraga	Cebolla	Coliflor-Brócoli	Espinaca	Frutilla	Haba	Lechuga	Pepino	Perejil	Pimentón	Poroto	Puerro	Rabanito	Repollo	Sandía	Tomate	Zanahoria	Zapallo italiano
Acelga			+		+		+	+				+			+	+	-	+	+		-	+	+
Ajo				-		+	+	-		+	-	+	+			-	+		-		+	+	
Apio	+			+	+	+		+	+		+	+	+			+	+		+		+	-	
Arvejas		-	+		-	+	-	+	+			+	+	-	-	-	-	+	+		-	+	+
Berenjena	+		+	-								+		+	-	+	+		+				
Betarraga		+	+	+			+	+				+	+		-	+	-		+		-	-	
Cebolla	+	+		-		+		-	+	+	-	+	+	+		-			-		+	+	+
Coliflor	+	-	+	+		+	-		+	-		+	+				+	+	+		-	+	
Espinaca			+	+		-	+	+		+	+	+				+		+	+				
Frutilla		+					+	-	+			+				+	+	+	-				
Haba		-	+				-		+			+					-		+				+
Lechuga	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	-	+	+	+	+	+		+	+	+
Pepino		+	+	+	-	+	+	+				+			-	+		-	+		-		
Perejil				-	+		+					-			+	+		+			+	+	
Pimentón	+			-		-						+	-	+		+	+		+		+	+	
Poroto	+	-	+	-	+	+	-		+	+		+	+	+	+		-	+		+	+	+	+
Puerro	-	+	+	-	+	-		+		+	-	+			+	-			+		+	+	
Rabanito	+			+				+	+	+		+	-	+		+			+		+	+	
Repollo	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+		+		+	+			+	+	+
Sandía																+							
Tomate	-	+	+	-		-	+	-				+	-	+	+	+	+	+	+			+	
Zanahoria	+	+	-	+		-	+	-			+	+		+	+	+	+	+	+		+		
Z. italiano				+			+					+				+			+				

Fuente: Adaptado de Bueno, 2010.

El objetivo de los cultivos asociados no es obtener una cosecha máxima en el mejor de los años, sino reducir el riesgo de perder todo en un año desfavorable, ya que las asociaciones: evitan el avance explosivo de plagas y enfermedades; compiten mejor con las malezas debido a que existe menos superficie descubierta; reducen la competencia por agua y nutrientes, ya que al combinarlas en forma adecuada utilizan de mejor forma dichos recursos, al ser distintas especies con diferentes patrones de crecimiento radicular; el uso de policultivos permite, en algunos casos, reducir la evaporación, como en el caso del zapallo, cuyas hojas cubren el suelo, y también pueden reducir del efecto secante del viento en plantas altas como el maíz (Benzing, 2001).

Los sistemas de cultivos intercalados tienen el potencial de aumentar la sostenibilidad de la producción de alimentos, con bajos insumos. Si bien algunos de los mecanismos por los que brindan beneficios ya son comprendidos, existe un considerable potencial para mejorarlos

basándose en nuevos conocimientos, probando nuevas combinaciones de cultivos para explotar mecanismos beneficiosos que ya han sido identificados, o bien desarrollar nuevas prácticas agronómicas, como la mecanización de sistemas de cultivos intercalados y mejorar el manejo de los nutrientes (Brooker *et al.*, 2014)

Rotaciones de cultivos

Después de la Segunda Guerra Mundial, la agricultura occidental pasó de sistemas con baja entrada de energía a sistemas con alto uso de fertilizantes inorgánicos y pesticidas, dado el bajo costo de los combustibles fósiles, abandonando las rotaciones de cultivos que hasta esa fecha eran ampliamente utilizados (Karlen *et al.*, 1994), el uso de fertilizantes nitrogenados reemplazó el aporte de las leguminosas e incorporó los plaguicidas para reducir los problemas sanitarios (Benzing, 2001). Esto condujo a una reducción de la diversidad, por la siembra o plantación sucesiva de los mismos cultivos en los mismos potreros y la muerte de organismos por efecto de los pesticidas; además, los desequilibrios causados por la repetición de los cultivos año tras año, favoreció la proliferación de plagas y enfermedades que encontraban fácilmente su planta hospedera, sumado al agotamiento de los suelos por la extracción de los mismos nutrientes en las mismas estratas.

La rotación de cultivos es otra forma de aumentar la diversidad del sistema productivo, además de contribuir a la unidad y uso eficiente de los recursos del sistema productivo. Una rotación bien planificada es una práctica de manejo que busca maximizar la productividad por unidad de superficie, optimizando el uso de los recursos. Consiste en la sucesión de diferentes cultivos en el mismo suelo a través del tiempo, esperando a lo menos tres temporadas agrícolas para volver a poner en un mismo sitio determinado cultivo o familia de plantas, para ello se van rotando cultivos de diferentes familias y tipos vegetativos o que tengan un desarrollo diferente, así se conserva la biodiversidad en forma sucesiva (biodiversidad temporal). La biodiversidad del suelo también se ve favorecida por la rotación de cultivos, gracias a la mejora en su estructura y contenido de MO, lo que aumenta la cantidad de predadores que regulan plagas y enfermedades de los cultivos (Karlen *et al.*, 1994).

Es de conocimiento general la importancia de diseñar rotaciones de cultivos alternando familias de plantas, con el objetivo de evitar problemas sanitarios, lo cual trae consigo beneficios para las funciones ecosistémicas, tales como: secuestro de carbono, control de plagas, reciclaje de nutrientes y, en consecuencia, el incremento de rendimientos (Peralta *et al.*, 2018). También es recomendable rotar especies con diferentes estructuras radiculares, que permitan explorar y absorber los nutrientes en distintas estratas el perfil del suelo y con distintos órganos de cosecha, ya que requieren diferentes proporciones de nutrientes (Figura 5.4.).

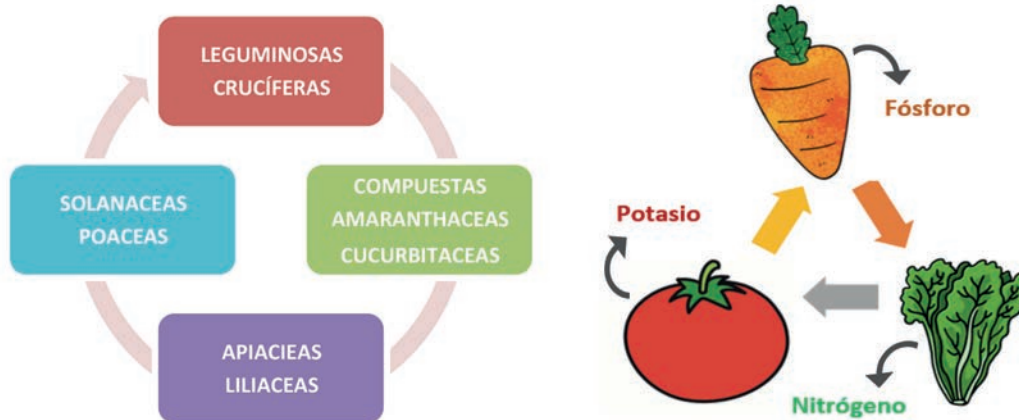


Figura 5.4. Rotación de cultivos, considerando familias (izquierda) y órganos de cosecha (derecha).

La rotación de cultivos constituye uno de los principales pilares de la producción con criterios agroecológicos pues otorga sostenibilidad al sistema, ya que tiene efectos positivos en el contenido de MO, estructura del suelo, reducción de la erosión, enfermedades, plagas y malezas, aumento de la disponibilidad de nutrientes residuales en el suelo, particularmente N al incluir leguminosas (Silva *et al.*, 2015). Ryan *et al.* (2008) señalan que al incrementar la MO con la rotación de cultivos aumenta la estabilidad de los agregados, como también la infiltración y la conductividad hidráulica de los suelos. En monocultivos se ha observado menor formación y estabilidad de agregados, menor tasa de infiltración y menor conductividad hidráulica, causando una mayor pérdida de agua por escorrentía superficial (Silva *et al.*, 2015). Al rotar un cereal de invierno con una leguminosa se obtiene el efecto contrario y este efecto se potencia cuando la leguminosa es forrajera (Ryan *et al.*, 2008). Además, el cultivo y los rastrojos cubren el suelo disminuyendo las pérdidas por evaporación directa y el aumento de MO provoca una mayor retención del agua en el suelo y una menor erosión gracias a la cobertura del cultivo y la mantención de los rastrojos (Silva *et al.*, 2015). Asimismo, la sincronización de los cultivos en la rotación, es decir, evitar dejar el suelo descubierto por períodos prolongados, reduce la pérdida de nutrientes por volatilización y/o lixiviación, siendo aprovechados en el cultivo siguiente. Por lo anterior, la rotación de cultivos, al igual que los cultivos asociados, responde a cuatro de los cinco principios de la agroecología: tiene un valor social, ya que recupera las prácticas ancestrales; permite usar eficientemente los recursos suelo, nutrientes, agua y luz; incrementa la diversidad; permite la unidad del sistema.

En la pampa central de Argentina, Enrico *et al.* (2020) evaluaron el aporte de N derivado de la FBN de vicia (*Vicia sp.*) y arveja (*Pisum sativum*), además determinaron la respuesta del rendimiento de grano de maíz a la fertilización nitrogenada, el cual fue sembrado después de la vicia y de la arveja con y sin inoculación de la semilla con rizobacterias. La FBN cubrió el 60% de la demanda de N de la vicia y la arveja, y el rendimiento del maíz no

respondió a la fertilización con N cuando se sembró después de las leguminosas inoculadas. Estos resultados enfatizan la importancia de inocular leguminosas, con el fin de tener una contribución neta de N al sistema agrícola que permite reducir el uso de fertilizantes nitrogenados (Enrico *et al.*, 2020).

Las rotaciones de cultivos deben diseñarse considerando la aptitud agrícola del sitio en que se va a establecer, incluyendo los cultivos que se adaptan a esas condiciones, en lo posible iniciando con una pradera o un abono verde, para aumentar la MO y mejorar la estructura del suelo, continuando con los cultivos anuales que aportan nutrientes al suelo, como son las leguminosas, para terminar con los cultivos más extractivos, como los cereales.

El éxito de los sistemas agroecológicos depende en gran parte del diseño de las rotaciones que, en resumen, deben responder a los siguientes criterios técnicos:

- Equilibrar la acumulación de la fertilidad con la extracción que hacen los cultivos, pues hay cultivos que aportan nutrientes y otros que los extraen.
- Incluir cultivos de leguminosas y abonos verdes.
- Incluir cultivos con diferentes sistemas radiculares.
- Separar en el espacio y en el tiempo los cultivos que presenten susceptibilidades similares a plagas y enfermedades.
- Mantener o, de preferencia, incrementar los niveles de MOS.

Cultivos de cobertura

El cultivo de cobertura, como su nombre lo indica, corresponde a una cubierta vegetal viva que cubre el suelo, por lo tanto, también contribuye a aumentar la biodiversidad del sistema, protege el suelo y permite utilizar más eficientemente los recursos. Los cultivos de cobertura pueden ser permanentes o temporales, en asociación con otras especies, protegiendo la entre-hilera del cultivo principal (Foto 5.3. izquierda) o en relevo entre un cultivo y otro, evitando dejar el suelo descubierto en la rotación, también llamados abonos verdes (Foto 5.3. derecha).

Los cultivos de cobertura entre hileras de frutales u otros cultivos perennes, se mantienen por períodos más prolongados, es decir, no son incorporados al suelo como los abonos verdes y por ello el efecto de las raíces y de los exudados que liberan es aún más beneficioso para la actividad biológica, estructura y calidad del suelo. Habitualmente se dejan crecer como una pradera entre las hileras del cultivo principal y se cortan periódicamente dejando la fitomasa sobre la hilera o simplemente sobre la cobertura, entre la hilera. Las especies más utilizadas como cultivos de cobertura en Chile se presentan en el Cuadro 5.5.

Cuadro 5.5. Especies forrajeras utilizadas frecuentemente como cultivos de cobertura entre hileras.

Especies	Nombres científicos	Varietades	Principales características	Dosis de semilla (kg/ha)
Avena sativa	<i>Avena sativa</i>	Urano-INIA, Supernova-INIA, Júpiter-INIA, Strigosa, Llaofen y Nehuen.	Es un cereal anual, con raíces más abundantes y profundas que otros cereales. Es muy recomendada por el alto valor biológico de la proteína de sus granos, el efecto limpiador del cultivo sobre hongos del suelo y tener buen comportamiento en diferentes condiciones de clima y suelos.	120
Avena + vicia	<i>Avena sativa</i> / <i>Vicia atropurpurea</i>	Urano-INIA, Supernova-INIA, Júpiter-INIA, Strigosa, Llaofen y Nehuen/ corriente	La avena en mezcla con vicia es muy utilizada como cubierta vegetal entre hileras, aportando al sistema las características de ambas especies.	80/50
Trébol encarnado	<i>Trifolium incarnatum</i>	Corriente	Leguminosa forrajera anual se recomienda para zonas con al menos siete meses de estación de crecimiento.	25
Trébol balansa	<i>Trifolium michelianum</i>	Paradana	Leguminosa forrajera anual de resiembra que posee tolerancia a suelos de texturas pesadas y con problemas de anegamiento temporal.	25
Trébol alejandrino	<i>Trifolium alexandrinum</i>	Corriente	Leguminosa anual invernal muy versátil que puede utilizarse para pastoreo directo, heno, silo o abonos verdes. Normalmente no se resiembra. Se adapta a un amplio rango de suelos y tolera bien suelos salinos y alcalinos y condiciones de anegamiento temporal.	30
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	350 acb con 4 meses de latencia, WL 458 HQ y Sardi Grazer con 6 meses de latencia, 550 acb, WL 903 HQ y Sardi Ten con 8, 9 y 10 meses de latencia respectivamente.	Leguminosa perenne, con un ciclo de vida de entre cinco y doce años dependiendo del suelo, clima y variedad utilizada. Posee una raíz principal pivotante, robusta y muy desarrollada con numerosas raíces secundarias. Requiere suelos profundos y bien drenados, menos de 60 cm de profundidad no son aconsejables para la alfalfa, pH ideal 6.	20
Pasto Ovillo	<i>Dactylis glomerata</i>	Greenly, Visión, Savy	Gramínea perenne, de alta producción de materia seca, con buena resistencia a estrés hídrico y gran capacidad de macolla. Si se pastorea, posee hojas suaves y de buena palatabilidad. Ideal para suelos francos a franco-arenosos neutros, aunque resiste bastante bien la acidez.	15-20

Continuación Cuadro 5.5.

Especies	Nombres científicos	Variedades	Principales características	Dosis de semilla (kg/ha)
Festuca	<i>Festuca arundinaceae</i>	Exella II, Easton	Gramínea perenne de raíces profundas, tolera suelos de baja fertilidad, áreas húmedas, mal drenadas y de salinidad moderada.	25
Ballica anual	<i>Lolium multiflorum</i>	Wimmera, Tama	Gramínea anual, resistente al pisoteo, de rápido rebrote, germinación y muy buena palatabilidad. Requiere de suelos fértiles para expresar todo su potencial, pero se adapta bien a suelos de menor calidad, e incluso con condiciones limitantes.	25-30
Ballica inglesa	<i>Lolium perenne</i>	Banquet II, Base, Extreme, Prospect, Halo	Gramínea perenne, tolera el frío moderado, pero es sensible al calor y a la sequía. Se adapta a un amplio rango de suelos de texturas medianamente pesadas, necesita de una fertilidad de suelo moderada a alta para crecer. Soporta la compactación, pero no tolera el encharcamiento.	25-30
Lotera	<i>Lotus corniculatus</i>	San Gabriel, Quimey	Leguminosa forrajera perenne con tolerancia a suelos moderadamente ácidos. Sensible a niveles significativos de aluminio en el suelo.	4
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i>	Bounty, Tribute, Huia, Mainstay, Demand, Legacy	Leguminosa forrajera perenne con mayor crecimiento en primavera, verano y otoño. Adecuada para una amplia gama de suelos, siendo relativamente tolerante a suelos ácidos. Tolerancia al pisoteo.	3
Trébol subterráneo	<i>Trifolium subterraneum</i>	Seaton Park, Campeda, Antas, Clare, Mount Barker	Leguminosa forrajera anual de resiembra, de alto potencial de producción de biomasa y de semillas, lo cual asegura una buena persistencia.	25
Mediterránea 400	<i>Trifolium subterraneum</i> <i>Trifolium michelianum</i>	Losa, Dalkeith, Campeda y Seaton Park Paradana	Leguminosa forrajera anual de resiembra, Mezcla de cuatro cultivares precoces e intermedios de trébol subterráneo y trébol balansa, corresponden a leguminosas anuales de resiembra, para zonas con precipitaciones de 400 a 600 mm anuales, ambientes de mayor aridez, suelos arcillosos y de posición baja como el secano.	25
Mediterránea 500	<i>Trifolium subterraneum</i> <i>Trifolium michelianum</i>	Campeda, Seaton Park, Antas y Clare Paradana	Mezcla de cuatro cultivares intermedios y tardíos de trébol subterráneo y trébol balansa, leguminosas anuales de resiembra, especialmente en zonas con precipitaciones de 500 a 800 mm anuales y con suelos de lomaje.	25

Continuación Cuadro 5.5.

Especies	Nombres científicos	Varietades	Principales características	Dosis de semilla (kg/ha)
Mediterránea 600	<i>Trifolium michelianum</i> y <i>Trifolium subterraneum</i>	Paradana Monti, Antas y Clare	Mezcla de trébol balansa y trébol subterráneo, leguminosas anuales de resiembra, para zonas con precipitaciones de 600 a 800 mm anuales y en suelos de llanos o de vegas del secano interior adaptados a condiciones de suelos de drenaje deficiente.	25
Mediterránea 700	<i>Trifolium subterraneum</i> y <i>Trifolium vesiculosum</i>	Antas y Denmark Cefalu	Mezcla de dos cultivares tardíos de trébol subterráneo y trébol vesiculoso, corresponde a leguminosas anuales de resiembra para zonas con precipitaciones mayores a 700 mm anuales y suelos trumaos de precordillera y de terrazas marina de la costa.	25

Fuente: Elaboración propia.



Foto 5.3. Cultivo de cobertura en la entre-hilera del cultivo principal (izquierda) y en una rotación de cultivos como abono verde (derecha).

Los abonos verdes, en cambio, consisten en cultivos o forrajes que se establecen, se dejan crecer y se cortan cuando alcanzan su máximo crecimiento, antes de que pierdan su turgencia, cuando alcanzan la floración en el caso de las forrajeras, o a mitad de llenado de grano en el caso de cultivos de grano. El follaje se tritura y se incorpora en el mismo lugar donde se hizo la siembra, de esta forma es rápidamente descompuesto por los microorganismos, aportando nutrientes a los cultivos siguientes en la rotación, además de mejorar la estructura y actividad biológica del suelo, a través de la incorporación de materia orgánica fresca.

Después de la incorporación de abono verde al suelo, los factores que afectan el proceso de descomposición son la textura, estructura, pH, actividad microbiana y estado de los nutrientes del suelo (Dhakal *et al.*, 2018), por ejemplo, en un suelo de textura arenosa la tasa de mineralización es mayor que en suelos de textura fina (Meena *et al.*, 2018). También tiene un importante efecto la especie establecida como abono verde y su estado de desarrollo en el momento de la incorporación, por ejemplo, los abonos verdes compuestos por leguminosas poseen una baja relación C/N, bajo contenido de lignina, por lo que se descomponen más fácilmente que los cereales, siendo su mineralización más rápida (Meena *et al.*, 2018).

En esencia los abonos verdes permiten incorporar al suelo la máxima producción de biomasa, antes de que pierdan su turgencia, proveyendo de nutrientes a los cultivos siguientes en la rotación, además de mejorar las propiedades del suelo gracias a la incorporación de materia orgánica. Además, permiten reducir el crecimiento de las malezas y protegen el suelo de la erosión (Ziblim *et al.*, 2013). En el caso de incluir leguminosas en los abonos verdes, los beneficios son mayores gracias a la FBN, generalmente se utilizan leguminosas de grano y/ o forrajeras, solas o en mezcla con gramíneas, o simplemente estas últimas, cubriendo toda la superficie. En el Cuadro 5.6. se presentan algunas especies habitualmente utilizadas como abonos verdes.

Cuadro 5.6. Especies forrajeras utilizadas como abonos verdes en otoño-invierno.

Especies	Nombres científicos	Varietades	Principales características	Dosis de semilla (kg/ha)
Arveja	<i>Pisum sativum</i>	Milano, Utrillo, Rocket, Livioletta	Leguminosa anual, resistente a temperaturas entre 2 y 6 °C bajo cero durante sus primeros estados de crecimiento. No obstante, es muy sensible a las heladas a partir del periodo de floración, que se manifiesta con la caída de flores y vainas en formación.	220
Haba	<i>Vicia faba</i>	Corriente, Fresh wáter, Tic Bean, Súper aguadulce, Portuguesa-INIA, Reina Mora, Luz de otoño	Leguminosa anual, su sistema radical está constituido por una raíz primaria pivotante bien desarrollada y profundizadora, además de numerosas raíces secundarias y terciarias, que, en el caso de asociarse a bacterias simbióticas, fijadoras de N (<i>Rhizobium</i> sp.), se le pueden observar los nódulos.	120
Vicia	<i>Vicia atropurpurea</i>	Corriente	Leguminosa forrajera anual, planta de carácter trepadora, con abundantes tallos y hojas. Se adapta a suelos de diversa textura, fertilidad y profundidad, no es recomendable en suelos con pH ácido.	110
Avena	<i>Avena sativa</i>	Urano-INIA, Supernova-INIA, Júpiter-INIA, Strigosa, Llaofen y Nehuen.	Es un cereal anual, con raíces más abundantes y profundas que otros cereales. Es muy recomendada por el alto valor biológico de la proteína de sus granos, el efecto limpiador del cultivo sobre hongos del suelo y tener buen comportamiento en diferentes condiciones de clima y suelos.	120
Avena + vicia	<i>Avena sativa</i> / <i>Vicia atropurpurea</i>	Urano-INIA, Supernova-INIA, Júpiter-INIA, Strigosa, Llaofen y Nehuen./ corriente	La avena en mezcla con vicia, es la mezcla más utilizada como abono verde, el cual aporta al sistema productivo las características de ambas especies.	80/50
Lupino australiano	<i>Lupinus angustifolius</i>	Gungurru, Merrit, Jenabillup, Coromup, Mandelup y Wonga.	Leguminosa anual, posee una raíz pivotante, se adapta bien a climas mediterráneos subhúmedos, pero no se recomienda en suelos de textura fina con mal drenaje, ya que no tolera el anegamiento.	120
Lupino blanco	<i>Lupinus albus</i>	Alboroto-INIA, Boroa-INIA, Rumbo-Baer, Precosa- Baer y Tip Top-Baer	Leguminosa anual, posee una raíz pivotante, se adapta bien en climas mediterráneos húmedos y tolera pH entre 6-6,8.	120
Trébol encarnado	<i>Trifolium incarnatum</i>	Corriente	Leguminosa forrajera anual, se recomienda para zonas con al menos siete meses de estación de crecimiento.	25

Continuación Cuadro 5.6.

Especies	Nombres científicos	Variedades	Principales características	Dosis de semilla (kg/ha)
Trébol balansa	<i>Trifolium michelianum</i>	Paradana	Leguminosa forrajera anual de resiembra, tolera suelos con problemas de anegamiento temporal y textura pesada.	25
Trébol alejandrino	<i>Trifolium alexandrinum</i>	Corriente	Leguminosa anual invernada muy versátil, normalmente no se resiembra. Se adapta a un amplio rango de suelos, tolerando bien desde suelos salinos a alcalinos y condiciones de anegamiento temporal. Puede utilizarse para abono verde, pastoreo directo, heno o silo.	30
Mostaza blanca	<i>Sinapis alba</i>	Corriente	Crucífera melífera, con raíz pivotante y de rápido crecimiento, lo que permite una buena competencia con las malezas.	20
Nabo forrajero	<i>Brassica rapa</i>	Norfolk, Barkant, Balance	Crucífera anual, de alto potencial productivo y buena relación hoja/raíz, el crecimiento de la raíz permite descompactar el suelo y ser de fácil consumo por los animales.	4
Raps	<i>Brassica oleracea</i>	Licarpo, Goliath	Crucífera bianual, con capacidad de rebrotar, una vez que se ha consumido o cortado gran parte de su follaje, mantiene crecimiento vegetativo durante la primera temporada y emite un tallo floral durante la segunda primavera completando su ciclo. Como abono verde se utiliza solo una temporada, se incorpora y se establece el siguiente cultivo.	5

Fuente: Elaboración propia.

En un estudio realizado en el Faro agroecológico de INIA Quilamapu, en el valle central de la Región de Ñuble, sobre un suelo derivado de cenizas volcánicas, se comparó la rotación de una leguminosa (haba var. Portuguesa) y de un cereal (avena var. Urano) como cabecera de rotación antes de cebolla var. Valinia-INIA. Como se puede observar en el Cuadro 5.7., el haba alcanzó una producción de 16 ton materia seca/ha, siendo superior en un 67% a la avena. Luego se cortó el follaje de ambos cultivos, se determinó contenido de N foliar y se incorporó al suelo, para finalmente, cuando estuvo descompuesto, establecer los plantines de cebolla. El N acumulado en la materia seca de los abonos verdes fue de 495 y 117 kg N/ha para haba y avena, respectivamente, y la cebolla establecida después de haba alcanzó una producción de 11,7 toneladas más que la establecida luego de la gramínea. Lo que permite dilucidar los beneficios anteriormente expuestos de integrar una leguminosa como abono verde en la rotación.

Cuadro 5.7. Comparación de dos abonos verdes en rotación con cebolla var. Valinia.

Secuencia de Cultivo	Materia seca producida por los abonos verdes (kg/ha)	Contenido N en follaje del abono verde (%)	N acumulado en la fitomasa del abono verde (kg N/ha/año)	Rendimiento cebolla (t/ha)
Haba - cebolla	16.570 a	2,99 a	495 a	54,39 a
Avena - cebolla	9.920 b	1,18 b	117 b	42,69 b

Fuente: Elaboración propia.

Para decidir qué especie elegir de acuerdo al período de tiempo que se proyecta tener el abono verde en el campo, a las precipitaciones, pH del suelo y contenido de fósforo es posible considerar la clave que se presenta en la Figura 5.5.

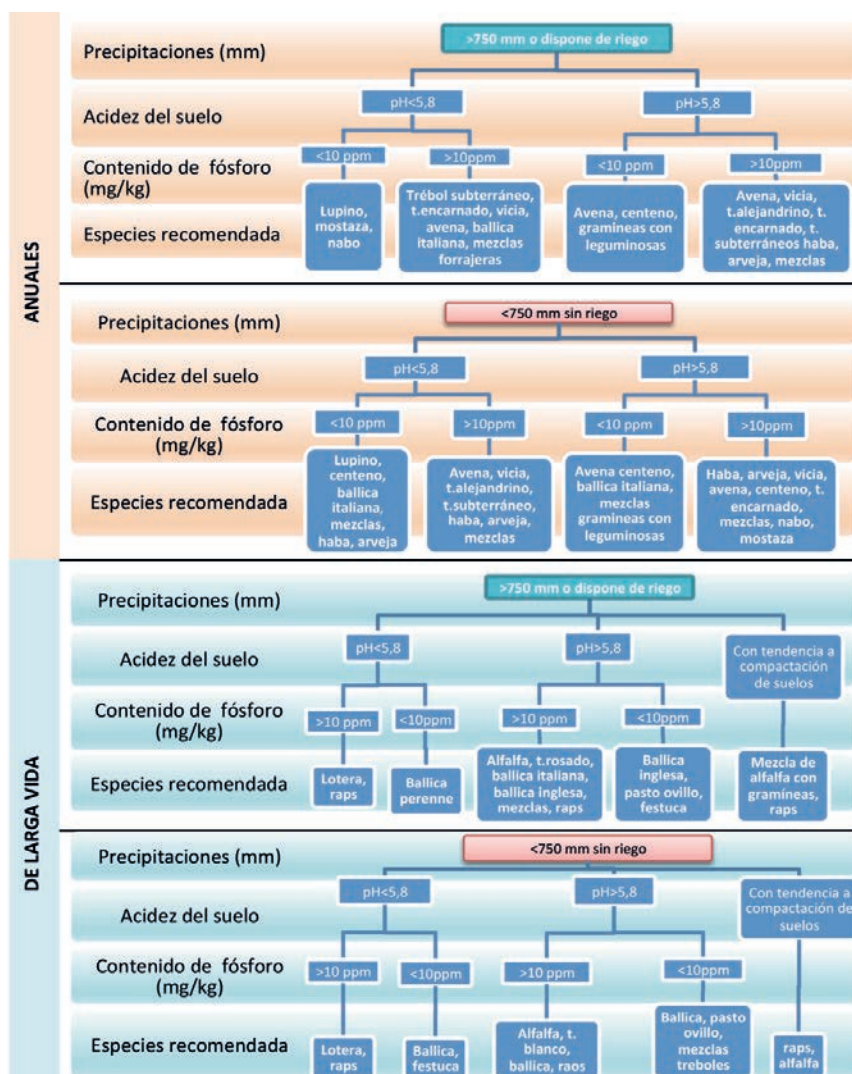


Figura 5.5. Clave para la elección de abonos verdes adecuados para diferentes condiciones agroclimáticas. Fuente: Adaptado de Valdivieso et al. (2004).

En la figura 5.6. se detalla el efecto de los abonos verdes en el proceso de fijación y mineralización de N en el suelo.

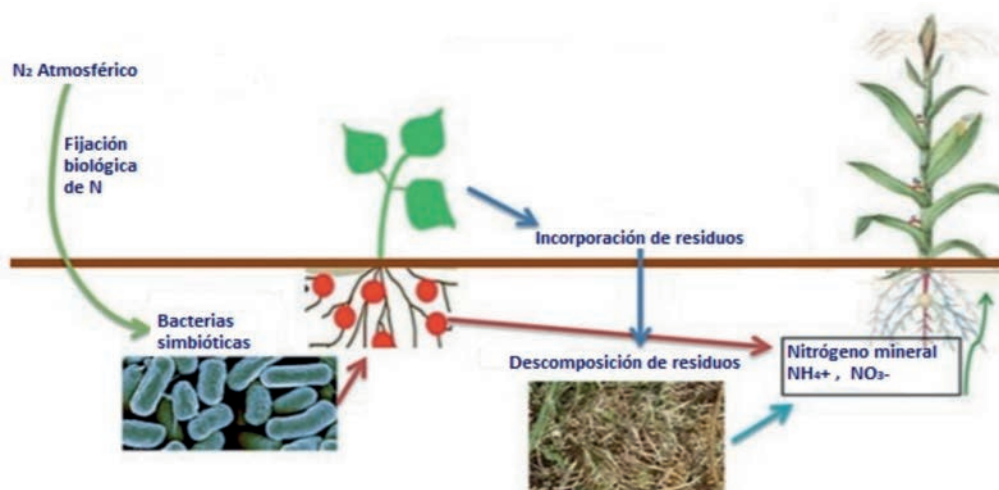


Figura 5.6. Fijación y mineralización de N proveniente de los abonos verdes de leguminosas, en el suelo. Fuente: Adaptado de Meena et al. (2018).

Durante las últimas décadas, los/as agricultores/as han integrado cada vez más los cultivos de cobertura (entre hileras y/o abonos verdes) en sus sistemas productivos, ya que los servicios ecosistémicos que proporcionan promueven la sostenibilidad de la explotación a largo plazo y reducen las externalidades ambientales negativas, como la erosión y escorrentía, especialmente si reemplaza un período de barbecho por un abono verde. Además, mejoran la salud del suelo acumulando MO, estimulando la biomasa microbiana, la retención de la humedad y fijación de N atmosférico, regulando la calidad del agua, reduciendo la lixiviación de N, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y controlando malezas y plagas, lo que conlleva a un aumento del rendimiento del cultivo comercial (Figura 5.7.) (Bergtold *et al.*, 2017; Daryanto *et al.*, 2018; Kaye y Quemada, 2017). Daryanto *et al.*, (2018) reportaron un aumento notable del rendimiento con cultivos de cobertura, particularmente en agricultura de bajos insumos, como sin aplicaciones de N o agricultura orgánica con criterios agroecológicos, que dependen únicamente de los abonos verdes para suplir N, además encontraron una reducción de los costos debido a la disminución del uso de fertilizantes nitrogenados y de herbicidas.

Los cultivos de cobertura presentan una oportunidad para aumentar los servicios ecosistémicos sin poner en peligro el rendimiento, como se observa en la Figura 5.7. Sin embargo, existen grandes desafíos para optimizar sus beneficios y lograr una mayor adopción de esta práctica de manejo, debido a las múltiples interacciones entre los servicios de los ecosistemas y con otros manejos, por ejemplo, algunos cultivos de cobertura de leguminosas tienen propiedades alelopáticas para malezas pero, debido a su contribución al contenido de N, también pueden estimular su crecimiento (Daryanto *et al.*, 2018).

Incluir el cultivo de cobertura como parte del manejo es una solución basada en la naturaleza y, como tal, es un tema complejo, que involucra el tipo de clima, de suelo, las interacciones entre los organismos y el manejo de los suelos, pero permite cambios graduales en el medioambiente y aporta al conocimiento y habilidades del/de la agricultor/a (Daryanto et al., 2018; Kaye y Quemada, 2017; Meena et al., 2018).

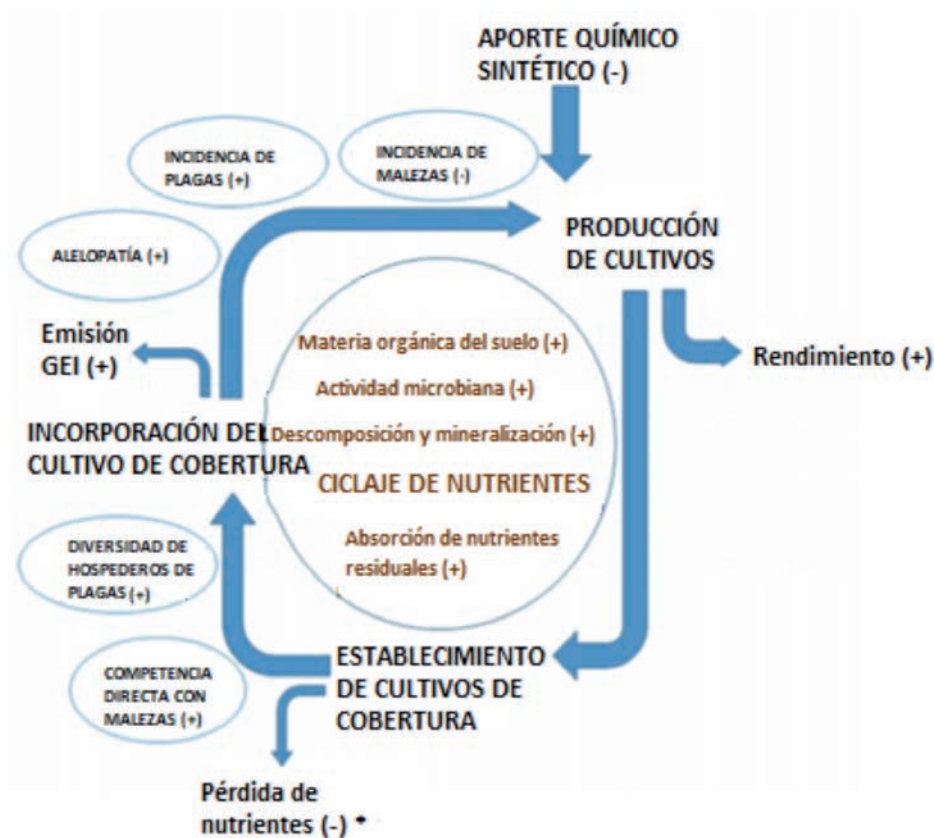


Figura 5.7. Efectos de los cultivos de cobertura en diferentes insumos, productos y procesos en los agroecosistemas. *Los nutrientes menos móviles no se pierden y tienden a acumularse en el suelo (ej. fósforo). Fuente: Daryanto et al., 2018.

Mulch o acolchado del suelo

Los acolchados o mulch consisten en reutilizar rastrojos de cosecha, mallas antimalezas o polietileno para proteger el suelo y el medioambiente (Zhang *et al.*, 2020). Habitualmente se usan para controlar malezas sobre la hilera de plantación, por lo que han cobrado gran importancia en sistemas productivos donde no se utilizan herbicidas.

Según el tipo de material, pueden clasificarse como orgánicos e inorgánicos. El acolchado inorgánico o cobertura plástica evita el crecimiento de malezas, disminuye la evaporación

del agua de riego mejorando la retención de humedad y evita el contacto de los frutos con el suelo (Zenner y Peña, 2013). Se ha utilizado ampliamente porque permite ahorrar agua en zonas agrícolas susceptibles a la sequía. Aunque puede prevenir la pérdida de nutrientes del suelo, puede también cambiar las características biológicas del mismo e impactar negativamente su calidad y sostenibilidad, e incluso causar alcalinización, lo que daña las plantas (Zhang *et al.*, 2020). Para establecer los mulch inorgánicos habitualmente se utilizan mallas antimalezas que pueden resistir varios años o polietileno reciclable que permite evitar la contaminación y no es necesario retirarlo, bajando los costos de mano de obra, ya que se degrada al estar fabricado con biopolímeros de almidón de maíz. Este mulch está pensado para cultivos de ciclo corto, que les permita ayudar a la planta en su primera etapa de vida.

En cambio, el mulch orgánico permite utilizar residuos de origen vegetal del predio, como rastrojos de cultivos, hojas de árboles, recortes de césped seco, aserrín, cortezas y astillas de madera, capotillo de arroz, cartones, etc., que se ubica en capas sobre el suelo, para no permitir el paso de la luz y así evitar la germinación de las malezas; además, al descomponerse los residuos orgánicos liberan los nutrientes contenidos en su fitomasa, aumentando la fertilidad, salud y biodiversidad del ecosistema suelo; también reducen fluctuaciones de temperatura y humedad, logrando un hábitat más estable para los organismos que viven en él (Zhang *et al.*, 2020; Mulumba y Lal, 2008). Los mulch orgánicos minimizan el escurrimiento superficial, evitando pérdidas de suelos por erosión (hídrica y/o eólica) al ser más estables sus agregados, mejoran la porosidad y reducen la compactación (Mulumba y Lal, 2008).

Para averiguar el efecto del acolchado orgánico e inorgánico sobre el rendimiento y rentabilidad de zapallo italiano (*Cucurbita pepo* L.), se llevó a cabo un ensayo de campo durante las temporadas 2018 y 2019 en Uttarakhand, India. El primer tratamiento consistió en utilizar hojas de helecho, disponibles localmente, en capas de 3-4 cm de espesor; el segundo usó polietileno negro de 25 μ , y el testigo fue establecido sin mulch. El zapallo italiano con mulch de plástico negro tuvo el mayor rendimiento (58,1 t/ha) y una relación costo:beneficio de 3,1; el mulch orgánico tuvo un rendimiento un poco más bajo (50,1 t/ha) y también resultó rentable con una relación costo: beneficio de 3,0; en comparación con el testigo, que tuvo un rendimiento de 39,1 t/ha y un costo: beneficio de 2,4. Los dos tratamientos con mulch se comportaron de forma similar al comparar el rendimiento y rentabilidad económica, pero las hojas de helecho tienen la ventaja de no contribuir a la contaminación con plástico (Chaurasia y Sachan, 2020).

En la Universidad Estatal de Ohio, Columbus, sobre un suelo franco limoso (Aeric Ochraqualf mésico) fino y mixto en la clasificación del USDA, 1996 citado por Mulumba y Lal (2008) se utilizó mulch de paja de trigo en dosis de 0, 2, 4, 8 y 16 t/ha año, sobre el suelo, sin labrar y sin cultivar, lo que aumentó la porosidad total, la capacidad de agua disponible, la agregación

estable al agua y el contenido de humedad a capacidad de campo. Sin embargo, el efecto de la tasa de aplicación de mulch sobre la densidad aparente del suelo no fue lineal. Las tasas de mulch de 2 t/ha aumentaron dramáticamente la porosidad del suelo en comparación con la ausencia de mulch; sin embargo, con más de 8 t/ha de mulch no se observaron aumentos significativos en la capacidad de agua disponible, por lo que el umbral de la tasa de cobertura para ese suelo fue de 8 t/ha. Esto demuestra que diferentes coberturas tienen efectos variables. Zhang *et al.* (2020) señala que el acolchado orgánico tiene un efecto regulador sobre las características fisicoquímicas y este efecto es positivo sobre las bacterias del suelo, comunidades de hongos y funciones del ecosistema.

Eliminar las quemas agrícolas

Los suelos son uno de los recursos no renovables (a escala de tiempo humano) más valiosos, que sirven como soporte esencial para los sistemas naturales, ya que sus funciones primarias proporcionan apoyo, regulación y aprovisionamiento de servicios ecosistémicos, por ello cualquier deterioro de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas que reduzca su calidad o salud es probable que tenga consecuencias irreversibles (Alcañiz *et al.*, 2018).

Los rastrojos son los residuos de los cultivos anuales que quedan en el campo después de la cosecha y que constituyen entre un 55 y 75% de la biomasa total, por lo que causan problemas a los/as agricultores/as ya que no pueden sembrar con mucha paja en el suelo puesto que se inhibe el crecimiento de los cultivo. Por esto el uso del fuego en la agricultura es una práctica ancestral y en Chile está muy arraigada de norte a sur, deteriorando fuertemente el medioambiente, ya que es una de las fuentes principales de emisiones de gases y material particulado (MP), además de generar riesgo de incendios, lo cual impacta la calidad de vida y el funcionamiento del ecosistema (Varnero *et al.*, 2015).

Las quemas controladas constituyen claramente una perturbación al medioambiente, pero los efectos sobre las propiedades del suelo difieren mucho según el tipo de fuego, características iniciales del suelo y tipo de vegetación (Alcañiz *et al.*, 2018). La materia orgánica del suelo se ve afectada negativamente por la combustión total que se produce durante el episodio del fuego, mientras que en otros casos se produce una incorporación de materiales semicomcombustionados al suelo. Por otra parte, la reducción de materia orgánica puede tener un efecto directo o indirecto sobre propiedades físicas o biológicas, incluyendo estabilidad de los agregados del suelo, repelencia al agua, modificación de la densidad aparente y biomasa microbiana. Una quema agrícola puede tener efectos positivos en la disponibilidad de nutrientes, inducidos por su liberación durante la combustión de la vegetación y materia orgánica y su posterior incorporación al suelo. Sin embargo, los efectos positivos van acompañados de una marcada reducción de la biodiversidad, el fuego puede

afectar las comunidades de organismos directamente (matando o lesionando los organismos) o indirectamente (por influencias a largo plazo, debido a la sucesión de plantas o las transformaciones de la materia orgánica del suelo), pero los daños son mayores en suelos secos, porque las temperaturas alcanzadas son mayores (Alcañiz *et al.*, 2018).

Para minimizar los múltiples impactos que generan las quemas agrícolas, sumado al riesgo de incendios forestales, esta práctica es regulada. La legislación vigente faculta a Conaf, a través del Decreto Supremo 276/1980, del Ministerio de Agricultura, para establecer medidas de utilización del fuego en forma segura y solo como quema controlada. En mayo del 2016 se publicó el decreto 34 en el Diario Oficial de la República de Chile, el cual modificó el Decreto Supremo 276/1980 y lo hizo extensivo a todo el territorio nacional. En adelante, se estableció que para realizar una quema controlada es necesario que, antes de usar el fuego, el interesado se acerque a las oficinas de Conaf y avise su intención de hacer una quema controlada, para lo cual se le solicitarán algunos antecedentes y recibirá un comprobante del aviso de quema, el que señalará día, hora y medidas imprescindibles de ejecutar antes y durante la quema controlada. Después de obtener el comprobante e implementar las medidas, el interesado podrá realizar la quema en la fecha y hora indicada (Conaf, 2021a). Este control solo permite reducir incendios. Conaf (2021b) informa en su página institucional que entre los años 2003 y 2020 casi un 5% de los incendios forestales en el territorio nacional fueron causados por faenas agrícolas, lo que incluye las quemas agrícolas y algunos accidentes como chispas de maquinaria agrícola, entre otros.

Sin embargo, se siguen quemando rastrojos ya que es más económico para los/as agricultores/as, a pesar de que existen varias alternativas al uso del fuego en la agricultura, como realizar manejo de rastrojos sin quema, para establecer los cultivos siguientes en la rotación, uso en alimentación animal, cama animal, producción de compost y mulch, con beneficios directos para el suelo, los cultivos y la biodiversidad, y alternativas industriales como uso de paja para la producción de champiñones, uso en bioenergía, todo en función del nivel y capacidad del productor (Ruiz, 2015). También es posible implementar la degradación biológica de rastrojos utilizando digestatos, como acelerantes de la degradación de la materia orgánica, inoculantes provenientes de biodigestores, una nueva tecnología accesible con costos muy bajos para los/as agricultores/as; en el caso del rastrojo de cereales degradado por procesos biológicos, se logra una mejora significativa de las propiedades físicas y químicas del suelo, no siendo tóxico para la germinación y el establecimiento de nuevos cultivos (Varnero *et al.*, 2015).

Aprovechar todos los residuos orgánicos en la elaboración de enmiendas y para la alimentación animal permite reducir los costos productivos, junto con evitar daños al medioambiente y mejorar las condiciones del suelo.

Labranza conservacionista y prácticas de conservación de suelos

Si a todas las prácticas señaladas se suma evitar voltear el suelo, mantenerlo cubierto y elaborar curvas a nivel o de escurrimiento en suelos con pendiente, es posible evitar procesos erosivos y mejorar la retención de humedad.

Junto con facilitar las labores de siembra, controlar malezas y generar la cama de semillas deseada, la labranza que invierte el suelo tiene algunos efectos no deseados, ya que expone el suelo al agua y viento, los cuales ejercen una acción erosiva que disminuye su capacidad productiva. La magnitud de este efecto negativo depende de la cantidad de suelo removido por la erosión, ya que las capas más superficiales son las que tienen la mayor concentración de carbono y de nutrientes (Acevedo y Silva, 2003).

Al incorporar suelos a la agricultura ocurre una disminución del contenido de carbono y nitrógeno, la labranza tiene un efecto directo sobre esta pérdida. En el Cuadro 5.8. se puede ver la cantidad de C liberado de un suelo después de diferentes manejos de labranza.

Cuadro 5.8. Porcentaje de carbono (C) liberado de un suelo después de diferentes operaciones de labranza.

Sistema de labranza	C liberado (%; residuo*)
Aradura	134
Rastrajes	58
Cinzel	54
Cero labranza	27

* Residuo: 4,12 toneladas de trigo/ha, incluyendo raíces (59% de materia orgánica es C y 45% del residuo de trigo es C). Fuente: Reikosky y Lindstrom, 1993, citado por Acevedo y Silva, 2003.

La aradura abre e invierte el suelo y al mismo tiempo que incorpora los residuos genera un rápido intercambio de O₂ y CO₂, lo que favorece la multiplicación y actividad de los microorganismos en el suelo que oxidan la MO, por ello al arar se hace muy difícil aumentar el C orgánico del suelo. Por el contrario, con la cero labranza, donde se ubica la semilla de los cultivos sobre el suelo sin remover los residuos del cultivo anterior, gran parte de los residuos quedan sobre el suelo y solo una fracción pequeña queda en contacto con el suelo y sus microorganismos, por lo que la descomposición ocurre lentamente (Acevedo y Silva, 2003).

Se estima que la labranza intensiva ha sido responsable de pérdidas entre 30 y 50% de carbono orgánico del suelo (COS) por la incorporación de nuevos suelos a sistemas de cultivo tradicionales. (Acevedo y Silva, 2003). En un estudio realizado por Ye *et al.*, (2020), en un suelo calcáreo en el suroeste de China, se determinó no solo la pérdida del COS sino también

el efecto sobre la fracción estable. Los tratamientos fueron diferentes intervalos de labranza del suelo durante un año, cada 6 meses (T1), cada 4 meses (T2), cada 2 meses (T3), cada mes (T4) y labranza cero (T0) como control, con el fin de provocar alteración de los agregados con diferentes intensidades de labranza. Después de 1 año el contenido de COS se redujo significativamente con los tratamientos (T1, T2, T3 y T4), pero no se observaron cambios significativos en T0. La pérdida de COS dentro de los primeros 3 meses representó entre el 70% y el 84% del COS total, la más importante durante el período inicial de labranza. El COS se almacenó principalmente en agregados de suelo de 2 a 8 mm. La rotura de los agregados de 5-8 mm resultó en una disminución de la protección física, lo que condujo a una pérdida sustancial del COS en estos agregados. Además, la pérdida de COS se correlacionó positivamente con la cantidad de Ca^{2+} lixiviado, lo que sugiere que la mayor disolución de carbonatos contribuiría a la disminución de la estabilidad de los agregados y a la pérdida de COS asociada.

Algo similar ocurrió en un estudio realizado en España, por Bienes et al. (2021), donde se analizaron treinta años de manejo de tres sistemas de labranza: convencional (LC), mínima (ML) y cero (NL), y con dos rotaciones de cultivo, monocultivo de trigo de invierno (*Triticum aestivum* L.) y trigo-arveja (*Triticum aestivum* L.-*Vicia sativa* L.). El suelo bajo NL experimentó el mayor aumento en carbono orgánico (Figura 5.8.), secuestro de carbono orgánico (SCO), estabilidad de macroagregados y densidad aparente. En los tratamientos ML y NL, el contenido de COS seguía aumentando después de 32 años, siendo 26,5 y 32,2 t/ha, respectivamente, en comparación con 20,8 t/ha en LC.

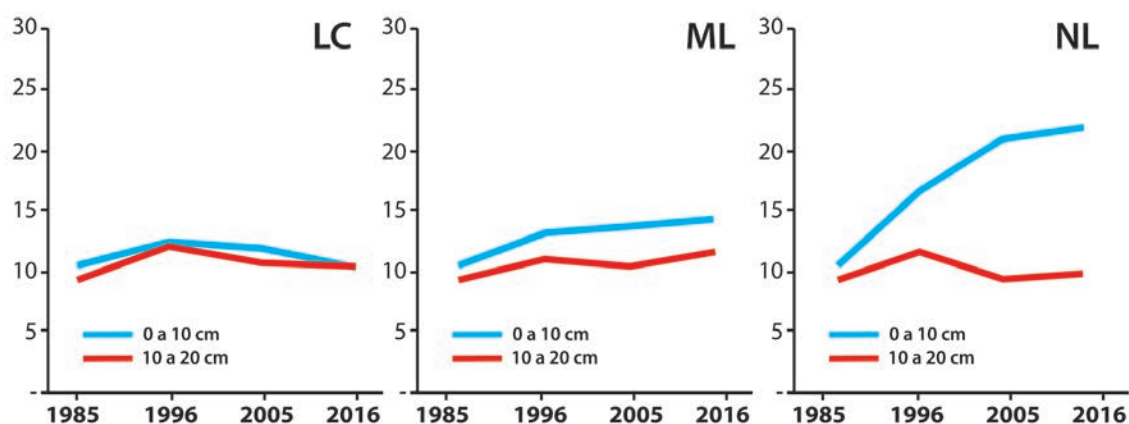


Figura 5.8. Evolución temporal de la concentración de carbono orgánico del suelo con tres sistemas de labranza: convencional (LC), mínima (ML) y cero (NL) Fuente: Adaptado de Bienes *et al.*, 2021.

Los efectos de la intensidad de la labranza fueron más pronunciados con los tratamientos de monocultivo, en la densidad aparente, COS, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y capacidad de agua disponible. Esto sugiere que las rotaciones de trigo y arveja pueden mitigar los efectos negativos de la labranza en la estructura del suelo, estabilidad y capacidad de retención de agua.

Con los estudios anteriores queda de manifiesto la importancia de la labranza cero y la mantención de grandes macroagregados de suelo. La cero labranza es un elemento central en la agricultura de conservación, que responde a la necesidad de mantener y/o mejorar la calidad de los recursos naturales renovables en el proceso productivo agrícola (Acevedo y Silva, 2003).

El secuestro y protección del COS no solo promueve la fertilidad del suelo, sino que también mitiga las emisiones de CO₂ (Ye *et al.*, 2020). Bajo manejo convencional, el suelo es una gran fuente de CO₂ atmosférico que contribuye al calentamiento global por el aumento de gases de efecto invernadero; un cambio hacia sistemas de labranza de conservación reduciría las emisiones de CO₂ por el menor uso de combustibles fósiles, pero además podría secuestrar aproximadamente $0,57 \pm 0,14$ T C/ha año. La captura de C de la atmósfera está estrechamente ligada a prácticas agronómicas, las que pueden contribuir a mitigar los efectos del cambio climático global (Acevedo y Silva, 2003).

Comentarios finales

Antes de realizar una práctica de manejo hay que analizar sus efectos directos e indirectos sobre el agroecosistema, buscando el equilibrio entre la productividad y la sostenibilidad del mismo. El manejo inadecuado de suelos, como la excesiva labranza, el uso indiscriminado de productos químicos de síntesis (fertilizantes y pesticidas) y la quema de rastrojos, provoca su degradación y contaminación, lo que reduce, en forma continua, su salud y calidad, por ende los rendimientos de los cultivos que crecen sobre él.

La reducción de la biodiversidad provoca que el sistema productivo sea menos estable, entre otras cosas, por la reducción de los enemigos naturales, cultivos trampa y/o repelentes y, con ello, sea menos resiliente a alteraciones bióticas y abióticas, como por ejemplo los efectos del cambio climático.

El manejo sostenible de suelos se basa en mejorar su calidad mediante la aplicación de MO y un manejo racional del suelo, mejorando así las propiedades físicas (estructura), químicas (reciclaje de nutrientes) y biológicas (actividad de macro y micro organismos), donde la aplicación de insumos externos se utilizará solo para corregir deficiencias puntuales.

En el mediano y largo plazo, al utilizar los servicios ecosistémicos disponibles, es posible incrementar la calidad y el rendimiento de los cultivos, además de reducir los costos por el estímulo del uso de insumos locales y la elaboración de bioinsumos, así también disminuye la huella de carbono y se realiza una agricultura sostenible.

Referencias

- Abou-Keriasha, M.A., Eisa, N.M.A. and El-Wakil, N.M.H. (2013).** Effects of intercropping faba bean on onion and wheat with or without inoculated bacteria on yields of the three crops. *Egyptian Journal of Agronomy*, 35(2), 169–182. doi:10.21608/AGRO.2013.85
- Acevedo Hinojosa, E. y Silva Candia, P. (2003).** Agronomía de la cero labranza. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/169992>
- Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., and Úbeda, X. (2018).** Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *Science of The Total Environment*, 613-614, 944–957. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.144
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. (2020).** La Agroecología en tiempos del COVID-19. *Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (CELIA)*, 35(5)1-7
- Anglade, J., Billen, G., and Garnier, J. (2015).** Relationships for estimating N₂ fixation in legumes: incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. *Ecosphere*, 6(3), art37. doi:10.1890/es14-00353.1
- Benzing, A. (2001).** Agricultura orgánica. Fundamentos para la región andina. Editorial Neckar-Verlag.
- Bergtold, J. S., Ramsey, S., Maddy, L., and Williams, J. R. (2017).** A review of economic considerations for cover crops as a conservation practice. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 1–15. doi:10.1017/s1742170517000278
- Bhadha, J., Capasso, J.M., Khatiwada, R., Swanson, S. and LaBorde, C. (2017).** Raising soil organic matter content to improve water holdin capacity. *IFAS Extension. University of Florida*. SL447. 5p. <https://growables.com/information/documents/OrganicContentImproveWaterHoldingEDIS.pdf>
- Bienes, R.; Marques, M.J.; Sastre, B.; García-Díaz, A.; Esparza, I.; Antón, O.; Navarrete, L.; Hernánz, J.L.; Sánchez-Girón, V.; Sánchez del Arco, M.J. and Alarcón R. (2021).** Tracking Changes on Soil Structure and Organic Carbon Sequestration after 30 Years of Different Tillage and Management Practices. *Agronomy*, 2021 11(2), 291. doi:10.3390/agronomy11020291
- Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W.-F., Daniell, T. J., George, T. S., Hallett, P. D., Hawes, C., Iannetta, P., Jones, H., Karley, A., Li, L., McKenzie, B., Pakeman, R., Paterson, E., Schöb, C., Shen, J., Squire, G., Watson, C., Zhang, C., Zang, F., Zhang, J and White, P. J. (2014).** Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 206(1), 107–117. doi:10.1111/nph.13132
- Bueno, M. (2010).** Manual práctico del huerto ecológico. Huertos familiares, huertos urbanos, huertos escolares. Fertilidad de la tierra ediciones.

- Buresh, R.J., Rowe, E.C., Livesley, S.J., Cadisch, G. and Mafongoya, P. (2004).** Opportunities for capture of deep soil nutrients en M. van Noordwijk, G. Cadisch and C.K. Ong (Eds.). *Below-ground Interactions in Tropical Agroecosystems. Concepts and Models with Multiple Plant Components* (pp. 109-125). CABI Publishing. CAB International, Wallingford (UK). 440 pp.
- Campillo, R., Urquiaga, S., Pino, I. y Montenegro, A. (2003).** Estimación de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas forrajeras mediante la metodología de 15N. *Agricultura Técnica* 63:169-179. doi:10.4067/S0365-28072003000200006
- Carvalho, N. S., Bitencourt, M.B., Calaço, M.M., Costa, V.P., Silva, R., J. Rodrigues, J., Gonçalves, A., dos Santos, V.M. and Ferreira, A.S. (2015).** Short-term effect of different green manure on soil chemical and biological properties. *African Journal of Agricultural Research*, 10(43), 4076–4081. doi:10.5897/ajar2015.9885
- Céspedes-León, M. C., Stone, A., and Dick, R. P. (2006).** Organic soil amendments: Impacts on snap bean common root rot (*Aphanomyces euteiches*) and soil quality. *Applied Soil Ecology*, 31(3), 199–210. doi:10.1016/j.apsoil.2005.05.008
- Céspedes, C. y Millas, P. (2015).** Relevancia de la materia orgánica del suelo en C. Ruiz (Ed). *Rastrojos de cultivos y residuos forestales* (Boletín 308 pp. 30-47). INIA-Quilamapu, Ministerio de Agricultura.
- Chabert, A, and Sarthou, J-P. (2020).** Conservation agriculture as a promising trade-off between conventional and organic agriculture in bundling ecosystem services. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 292:106815. doi: 10.1016/j.agee.2019.106815
- Chaurasia; D.K. and Sachan, S. (2020).** Effect of organic and inorganic mulching on growth, yield and economics of summer squash (*Cucurbita pepo* L.) in open field condition of mid hills of Uttarakhand. *The Journal of Rural and Agricultural Research*, 20(1), 22-25. <http://jraragra.in/Journals/2020Vol1/5.pdf>
- Conaf. 2021a.** Conaf. Quemadas controladas. <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/prevencion/quemas-controladas/>
- Conaf. 2021b.** Gerencia protección contra incendios forestales (2020). Estadísticas - Causas según Daño de Incendios Forestales 1987 -2020 [Archivo Excel]. Conaf. Estadísticas históricas. <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>
- Daryanto, S., Fu, B., Wang, L., Jacinthe, P.-A., and Zhao, W. (2018).** Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops. *Earth-Science Reviews*, 185, 357–373. doi:10.1016/j.earscirev.2018.06.013
- Day, M. y Shaw, K. (2004).** Procesos biológicos, químicos y físicos del compostaje en P.J. Stoffella y B. A. Kahn (Eds.). (Trad. J.M. Mateo Box y R. García Moreno) *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. (Capítulo 2, pp:17-49) Ediciones Mundi-Prensa. (Trabajo original publicado en 2001).

- de Oliveira, T., Rúbia, E., Vieira, A., Silva, R. and Urquiaga, S. (2017).** Green manure-15N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. *Scientia Horticulturae*, 214, 209–213. doi:10.1016/j.scienta.2016.11.028
- Dhakal, Y., Meena, R., De, N., Verma, S., and Singh, A. (2018).** Growth, yield and nutrient content of mungbean (*Vigna radiata* L.) in response to INM in eastern Uttar Pradesh, India. *Bangladesh Journal of Botany*, 44(3), 479-482. doi:10.3329/bjb.v44i3.38559
- Enrico, J. M., Piccinetti, C. F., Barraco, M. R., Agosti, M. B., Ecclesia, R. P., and Salvagiotti, F. (2020).** Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: Response to inoculation and residual effect on maize in the Pampean region. *European Journal of Agronomy*, 115, 126016. doi:10.1016/j.eja.2020.126016
- Espinoza, S., Ovalle, C., and Del Pozo, A. (2020).** The contribution of nitrogen fixed by annual legume pastures to the productivity of wheat in two contrasting Mediterranean environments in central Chile. *Field Crops Research*, 249, 107709. doi:10.1016/j.fcr.2019.107709
- Espinoza, S., Ovalle, C., Del Pozo, A., Zagal, E and S. Urquiaga. (2011).** Biological fixation of N₂ in mono and polyspecific legume pasture in the humid Mediterranean zone of Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71: 132-139. <http://dSPACE.utalca.cl/bitstream/1950/8936/1/art15.pdf>
- Espinoza, S., Ovalle, C., Zagal, E., Matus, I., Tay, J., Peoples, M. B., and del Pozo, A. (2012).** Contribution of legumes to wheat productivity in Mediterranean environments of central Chile. *Field Crops Research*, 133, 150–159. doi:10.1016/j.fcr.2012.03.006
- FAO. (2017).** *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 163 p. <http://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>
- FAO. (2018).** Los 10 elementos de la agroecología: Guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles. 15p. <http://www.fao.org/3/I9037ES/i9037es.pdf>
- Gliessman, S.R. (2002).** *Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. 359 p. Litocat, Turrialba, Costa Rica.
- Gliessman, S. R. (2017).** *Agroecology. The ecology of sustainable food systems*. Third Edition. 364p. C.R.C Press. Taylor and Francis Group, LLC.
- Hartel, P. G. (1998).** The soil habitat en D. Sylvia, J. Fuhrmann, P. Hartel and D. Zuberrer (Eds.). *Principles and applications of soil microbiology* (chapter 2. pp:21-43). Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River. NJ 07458.
- Hudson, B. D. (1994).** Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49(2) 189-194. <https://www.jswnonline.org/content/49/2/189.short>
- Infante, A. y San Martín, K. (2016).** *Manual de producción agroecológica*. Centro de Educación y Tecnología (CET). 4° edición, 192p. Sociedad Gráfica Ltda.

- Karlen, D. L., Varvel, G. E., Bullock, D., and Cruse, R. M. (1994).** Crop Rotations for the 21st Century. *Advances in Agronomy*, 53(C), 1-45. doi:10.1016/S0065-2113(08)60611-2
- Kaye, J. P., and Quemada, M. (2017).** Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(1). doi:10.1007/s13593-016-0410-x
- Lehmann, A., Zheng, W., and Rillig, M. C. (2017).** Soil biota contributions to soil aggregation. *Nature Ecology and Evolution*, 1(12), 1828–1835. doi:10.1038/s41559-017-0344-y
- Meena, B. L., Fagodiya, R. K., Prajapat, K., Dotaniya, M. L., Kaledhonkar, M. J., Sharma, P. C., Meena, R. S., Mitran T., and Kumar, S. (2018).** Legume Green Manuring: An Option for Soil Sustainability in Meena, R. S., Das, A., Yadav, G. S. and Lal, R. (Eds.) *Legumes for Soil Health and Sustainable Management* (Cap 12, 387–408) doi:10.1007/978-981-13-0253-4_12
- Mulumba, L. N., and Lal, R. (2008).** *Mulching effects on selected soil physical properties. Soil and Tillage Research*, 98(1), 106–111. doi:10.1016/j.still.2007.10.011
- Ovalle, C., Arredondo, S., del Pozo, A., Fernández, F., Chavarría, J. y Augusto, A. (2010).** Arrowleaf clover (*Trifolium vesiculosum* Savi): a new species of annual legumes for high rainfall areas of the Mediterranean climate zone of Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(1):170-177.
- Ovalle, C., Urquiaga, S., Pozo, A. D., Zagal, E., and Arredondo, S. (2006).** Nitrogen fixation in six forage legumes in Mediterranean central Chile. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 56(4), 277–283. doi:10.1080/09064710500310246
- Peralta, A. L., Sun, Y., McDaniel, M. D., and Lennon, J. T. (2018).** Crop rotational diversity increases disease suppressive capacity of soil microbiomes. *Ecosphere*, 9(5), e02235. doi:10.1002/ecs2.2235
- Powers, L. y McSorly, R. (2000).** Principios ecológicos en agricultura. Paraninfos. Madrid, España.
- Ruiz, C. (2015).** Transferencia tecnológica de prácticas alternativas al uso del fuego en C. Ruiz (Ed). *Rastrojos de cultivos y residuos forestales* (Boletín 308 pp. 169-191). INIA-Quilamapu, Ministerio de Agricultura. 430 pg.
- Ryan, J., Singh, M., and Pala, M. (2008).** Long-Term Cereal-Based Rotation Trials in the Mediterranean Region: Implications for Cropping Sustainability. *Advances in Agronomy*, 97, 273–319. doi:10.1016/s0065-2113(07)00007-7
- Silva, P., Vergara, W. y Acevedo, E. (2015).** Rotación de cultivos en C. Ruiz (Ed). *Rastrojos de cultivos y residuos forestales* (Boletín 308 pp. 48-67). INIA-Quilamapu, Ministerio de Agricultura.
- Torres-Guerrero, C. A., Etchevers, J.D., Fuentes-Ponce, M.A., Govaerts, B., De León-González, F. y Herrera, J.M. (2013).** Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 71-84. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextandpid=S0187-57792013000100071

- TWN-SOCLA. (2015).** *Agroecology: key concepts, principles and practices*. 46 p. Third World Network and Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2015/11/Agroecology-training-manual-TWN-SOCLA.pdf>
- Valdivieso, C., Urzua, H., Boomelli, C., Ellena, M. y Kilcher, L. (2004).** Los abonos verdes: clave para el éxito de la producción orgánica. Fundación para la innovación agraria (FIA), Instituto de Investigaciones para la agricultura orgánica (FIBL). Agrupación agricultura orgánica de Chile (AAOCH).
- Varnero, M.T., Sierra, H., Santibañez, F. y Bnnister, I.H. (2015).** Manual de aplicación Alternativa a la quema de rastrojos mediante inoculantes provenientes de biodigestores. Centro AGRIMED: Facultad Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago Chile, 77p.
- WHO. (2020).** *Obesidad y sobrepeso*. World Health Organization. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Wright, A. J., Mommer, L. Barry, K. and van Ruijven, J. (2021).** Stress gradients and biodiversity: monoculture vulnerability drives stronger biodiversity effects during drought years. *Ecology* 102(1):e03193. doi.org/10.1002/ecy.3193
- Ye, Y., Xiao, S., Liu, S., Zhang, W., Zhao, J., Chen, H., Guggenberger, G. and Wang, K. (2020).** Tillage induces rapid loss of organic carbon in large macroaggregates of calcareous soils. *Soil and Tillage Research*, 199, 104549. doi:10.1016/j.still.2019.104549
- Zenner, I. y Peña, F. (2013).** Plásticos en la agricultura: beneficio y costo ambiental: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 16(1):139 – 150. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100017&lng=en&tlng=es.
- Zhang, S., Wang, Y., Sun, L., Qiu, C., Ding, Y., Gu, H., Wang, L., Wang, Z. and Ding, Z. (2020).** Organic mulching positively regulates the soil microbial communities and ecosystem functions in tea plantation. *BMC Microbiology*, 20(1). doi:10.1186/s12866-020-01794-8
- Ziblim, I., P. Gakpo, and T. Khan. (2013).** Assessing soil amendment potentials of *Mucuna pruriens* and *crotalaria juncea* when used as fallow crops. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 4(2):28-34. DOI 10.5897/JSSEM12.64
- Zuberer, D.A. (1998).** Biological Dinitrogen Fixation: Introduction and nonsymbiotic en D. Sylvia, J. Fuhrmann, P. Hartel and D. Zuberer (Eds.). Principles an applications of soil microbiology (chapter 2. pp:21-43). Prenticr Hall, Inc. Upper Saddle River. NJ 07458.



Valle con labrador visto desde arriba (1889). *Vicent Van Gogh.*

Para el diseño de agroecosistemas sostenibles se necesita desarrollar un marco conceptual y metodológico adaptado al territorio, integrando conceptos, métodos, sistemas y manejos relacionados con los criterios agroecológicos, la gestión de la transición y las ciencias. Debe tener una mirada holística, que considere las interacciones dentro y entre los subsistemas a establecer con las conexiones biológicas y sociales del territorio.



Capítulo 6

Diseño de sistemas productivos agroecológicos

Agustín Infante L.¹

La agroecología se basa en la comprensión de los aspectos biofísicos y contextos socioeconómicos para planificar y diseñar los sistemas productivos. Se requiere también flexibilidad para diseñar una realidad dinámica, en lugar de un sistema en un estado estacionario. Lo anterior implica comprender la particular heterogeneidad que tienen los sistemas productivos, tanto en el tiempo como en el espacio, especialmente cuando la planificación tiene un horizonte de muchos años.

La agricultura convencional es un sistema productivo basado en el consumo de insumos externos (energía fósil, herbicidas, pesticidas y abonos químicos sintéticos) y se sustenta en la transferencia de tecnologías generadas bajo condiciones agroambientales habitualmente diferentes a las que existen en los sitios donde se implementarán. Por el contrario, la agroecología es una ciencia basada en un nuevo paradigma, cuyo objetivo es rediseñar los sistemas agrícolas e implementar sus principios (ver capítulo 5), comprometiendo a los/as agricultores/as a una transformación radical de sus prácticas, su forma de razonar y su participación en procesos de producción e innovación de conocimiento local (Lacombe *et al.*, 2018), todo lo anterior con el fin de lograr mínimo deterioro y máxima eficiencia de uso de los recursos naturales, a la vez que productos de excelente calidad.

La agroecología se basa en el conocimiento local, investigación-acción participativa y educación; en agricultores/as y otros actores rurales con conocimiento local y acceso a semillas, residuos de plantas, animales y recursos naturales diversos; la agroecología tiene el deber de ampliar la gama de organismos presentes en el agroecosistema, incrementando la biodiversidad, como también de las tecnologías disponibles y proporcionar apoyo para el desarrollo de conocimientos y respuestas adaptativas a los rápidos cambios de la actualidad (Snapp, 2017).

¹ Director Centro de Educación y Tecnología, Programa Biobío. cetbiobio@gmail.com

Considerar lo que los/as agricultores/as quieren, tienen y saben

Para realizar un diseño de un agroecosistema real es imprescindible la participación de los/as agricultores/as, involucrarlos y ganar su confianza. Partir con un primer acercamiento que permita tejer los primeros lazos de amistad y confianza, puede lograrse realizando un primer gran evento comunitario como es el diagnóstico rural participativo.

Se realiza una primera reunión con la participación de mujeres, hombres, jóvenes y niños. Se explica la metodología y después se realiza una distribución de trabajos. Algunos hacen un transecto de identificación recorriendo los terrenos, lomas, vegas, identifican la vegetación prevalente, de qué se dispone y cuáles son las necesidades. Otros integrantes realizan un mapa social de la comunidad, con todas las instituciones presentes y redes sociales, mientras que los/las mayores trabajan en dibujar y describir la historia de la comunidad. El trabajo debe estar bien organizado y asegurar que sea comunitario. Luego, todos/as se reúnen a contar las experiencias y presentar los trabajos grupales, todos/as participan en un ambiente de atención y entusiasmo (Infante, 2015).

De manera grupal se identifican los problemas y oportunidades, los recursos disponibles y aquellos limitantes, los hechos relevantes, las tragedias y las alegrías vividas. Las conclusiones de este trabajo son consensuadas por todos/as. Días más tarde se presentan los resultados, se validan las conclusiones y se realiza un plan de trabajo anual (Infante, 2015).

El diagnóstico participativo realizado con la comunidad logra resaltar las principales necesidades, oportunidades y las virtudes observadas. Con esta información se elabora un diseño acorde al sentir de la comunidad. Así por ejemplo, para familias del secano en Biobío, el objetivo será el mejoramiento de la alimentación, en donde son estrategias muy solicitadas: la producción para el autoconsumo, el establecimiento de huertos orgánicos, el mejoramiento de frutales, la crianza de animales menores, conservación de alimentos y tecnologías apropiadas.

El énfasis se encuentra en el rescate de los conocimientos locales mezclándolos con algunas técnicas agroecológicas, limitando la entrada de nuevas tecnologías. En el Cuadro 6.1. se detalla esa sinergia entre lo que la comunidad diagnosticó y los aportes agroecológicos incorporados en el diseño del agroecosistema para el secano de la Región del Biobío.

Cuadro 6.1. Conocimiento aportado por los/as agricultores/as de sistemas productivos presentes en un diseño predial.

Tema y objetivos	Conocimientos y prácticas locales	Técnicas agroecológicas incorporadas en el diseño predial
Diseño predial y servicios ecológicos: diversificar los rubros para el bienestar y la estabilidad del ingreso familiar.	<ul style="list-style-type: none"> ● Establecimiento de sectores específicos: <ul style="list-style-type: none"> ● La casa y su entorno. ● Zona de cultivos, frutales. ● Sector animal. ● Sector forestal. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cocina bruja, cocina solar. ● Secador solar.
Producción de hortalizas: aumentar la cantidad, calidad, cosecha durante todo el año (en especial en invierno) y la diversidad de hortalizas para consumo familiar	<ul style="list-style-type: none"> ● Uso de guanos frescos y abonos líquidos. ● Semillas locales. ● Siembras en asociación o policultivos. ● Recetas locales de biocidas. ● Uso de plantas repelentes y flores. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Compostaje. ● Lombricompostaje. ● Elaboración de Bokashi. ● Elaboración de tés. ● Biopreparados para el manejo de plagas y enfermedades.
Producción de cereales y legumbres: disponer de alimentos para el autoconsumo y nutrición balanceada (energía y proteínas).	<ul style="list-style-type: none"> ● Cultivo en secuencia con años de descanso. ● Siembra asociada. ● Uso de semilla local. ● Control cultural de malezas. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Rotaciones de cultivos. ● Policultivos. ● Cultivos asociados. ● Uso de mulch. ● Manejo eficiente del agua. ● Manejo de la fertilidad del suelo. ● Manejo ecológico de plagas y enfermedades.
Producción de frutas: aumentar la cantidad, calidad y diversidad de fruta para consumo familiar y venta de excedentes.	<ul style="list-style-type: none"> ● Producción polifrutal en el entorno de la casa. ● Algunas recetas de preparados biocidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Policultivos frutal. ● Manejo eficiente del agua. ● Poda. ● Manejo de la fertilidad del suelo. ● Manejo ecológico de plagas y enfermedades.
Crianza de animales menores: aumentar la disponibilidad de proteína animal a bajo costo.	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistemas de reproducción. ● Alimentación con recursos prediales. ● Uso de razas criollas. ● Infraestructura de bajo costo. ● Sistemas de corrales y pastoreo dirigido. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Gallinero móvil. ● Mejoramiento de razas por selección.
Sistemas agroforestales: aumentar la disponibilidad de leña, madera y servicios ecológicos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Plantación de árboles nativos y exóticos. ● Uso de bosquetes y cortinas cortavientos. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistemas silvopastorales. ● Sistemas agrosilvicultural. ● Sistemas agrosilvopastorales.

Fuente: Adaptado de Infante, 2015.

Es necesario compartir el liderazgo del proyecto con los/as agricultores/as y organizar el diseño localmente y en forma conjunta para cerrar mejor la brecha entre el pensar y el hacer. Con la metodología descrita se logra una mejor cuantificación de las singularidades de la situación de los/as agricultores/as y del sistema productivo local que se espera transformar.

Los/as extensionistas, cuando organizan proyectos participativos para apoyar el desarrollo de sistemas agroecológicos, deben elegir las metodologías participativas considerando cuáles son los objetivos a transformar (Lacombe *et al.*, 2018).

Considerar lo que ocurre en la naturaleza

Tal como lo han hecho los/as campesinos/as, indígenas y agricultores/as tradicionales, las sucesiones naturales siguen siendo usadas como modelos para el diseño de agroecosistemas, ya que presentan variadas características valiosas para la agricultura: (1) elevada resistencia a la invasión y al ataque de plagas, (2) gran retención de nutrientes del suelo, (3) agrobiodiversidad abundante y (4) un nivel razonable de productividad (Ewel, 1986). Gliessman (2002) afirma que el mayor reto consiste en diseñar agroecosistemas que aprovechen los atributos beneficiosos de la sucesión natural.

En el Cuadro 6.2. se presentan las características ecológicas deseables de las sucesiones naturales en los ecosistemas.

Cuadro 6.2. Características ecológicas deseables de la sucesión natural de los ecosistemas.

Característica	Beneficio para el ecosistema de la sucesión natural
Alta diversidad de especies.	Menor riesgo de pérdida catastrófica de la cosecha por sequía, incendios, inundaciones y otros problemas ambientales.
Alta biomasa total.	Una mayor fuente de materia orgánica en el suelo y un suelo más protegido.
Alta productividad primaria neta.	Mayor potencial para la producción de biomasa a cosechar.
Complejidad de las interacciones entre especies.	Mayor potencial de control natural.
Ciclaje eficiente de nutrientes.	Menor necesidad de insumos externos.
Interferencia mutualista.	Mayor estabilidad; menor necesidad de insumos externos.

Fuente: Adaptado de Gliessman, 2002.

A partir de estas características de los ecosistemas naturales, en Chile se puede estudiar el bosque esclerófilo de la cordillera de la costa o del bosque valdiviano, en donde se definen una serie de principios ecológicos que son de gran utilidad para diseñar el predio y determinar los sistemas agroecológicos a implementar.

Considerar el conocimiento científico y el ejemplo de la naturaleza para definir el diseño agroecológico

Los principios ecológicos necesarios que se deben considerar en el diseño de un sistema agroecológico son los siguientes (Altieri y Nicholls, 2004):

- Aumentar la diversidad de especies. El diseño y el manejo a través de los años debe permitir el aumento de la biodiversidad funcional. Huertos hortícolas intensivos, rotaciones de cultivos, sistemas agroforestales, huertos polifrutales, huertos de hierbas medicinales, plantas trampa, cercos vivos y corredores biológicos, son parte de las estrategias para el aumento de la diversidad. Además, es importante incrementar la diversidad intrapredial, en donde el predio debe ser un mosaico de sectores agrodiversos. En estos se pueden incluir especies locales y utilizar prácticas tradicionales.
- Aumentar la longevidad. A pesar de las dificultades ambientales es posible establecer varias especies que den larga vida a los ecosistemas, como especies forestales (nativas y exóticas), frutales (mayores y menores), arbustos (trepadores y no trepadores), o praderas permanentes como falaris, ballicas perennes, entre otros.
- Restablecer praderas naturales. Para mejorar la fertilidad, especialmente en suelos degradados, es posible restablecer praderas naturales (barbechos cubiertos), con leguminosas y gramíneas naturalizadas, las cuales se mantienen en las rotaciones largas.
- Incorporar más materia orgánica. Es fundamental reciclar todos los residuos vegetales y animales del predio, sean ellos provenientes de la cocina, rastrojos de cultivos, restos de podas, restos forestales, cortes de pastos y malezas, etc.
- Aumentar la diversidad de los sistemas intraprediales. El predio debe establecerse con un mosaico de sectores agrodiversos. Se pueden establecer sistemas agroforestales y rotaciones de cultivos, con especies locales y siguiendo prácticas tradicionales.
- Establecer mecanismos de conservación y regeneración de suelos. Se pueden establecer una serie de técnicas y prácticas que permitan reducir la erosión, mejoren las condiciones físicas, biológicas y químicas del suelo, las que han sido revisadas en profundidad en el capítulo 5.

Existen diversas técnicas y prácticas que consideran los principios básicos del diseño de predios agroecológicos (Cuadro 6.3.).

Cuadro 6.3. Aporte de diversas prácticas a los principios agroecológicos.

	Huerto familiar	Abonos orgánicos	Rotaciones	Agroforestería	Corredores biológicos	Huerto polifrutal	Policultivos	Forestación	Integración animal
Aumentar la diversidad de especies	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aumentar la longevidad				X	X	X		X	
Restablecer praderas naturales			X	X		X			X
Incorporar materia orgánica	X	X	X	X		X	X	X	X
Aumentar la diversidad de sistemas intraprediales	X		X	X	X	X		X	X
Establecer prácticas de conservación de suelos			X	X	X	X	X	X	

Fuente: Adaptado de Altieri y Nicholls, 2004.

Al entender el funcionamiento de la naturaleza, las necesidades de los/as habitantes del territorio y los principios agroecológicos de diseño, se pueden identificar algunos elementos a tomar en cuenta para diseñar un sistema agroecológico en áreas de cultivos (García, 1996):

- Estudio físico del predio (suelo, topografía, disponibilidad de agua, etc.).
- Definir áreas para cultivos anuales y las de tipo permanente como frutales, forestales, praderas.
- Parcelar el área agrícola para establecer la rotación.
- Establecer los cultivos a producir.
- Establecer qué superficie se dedicará a forrajes y praderas permanentes (ganadería) o cultivos de ciclos largos.
- Ordenar los cultivos en la rotación, teniendo en cuenta sus características. Más adelante se detallarán los elementos a considerar para planificar las rotaciones.
- Introducir en los cultivos principales la mayor cantidad de policultivos posibles, siempre que sean beneficiosos.
- Confeccionar una estrategia de uso de suelo para reducir al máximo el laboreo, como por ejemplo cultivos de mínima labranza, cultivos de relevo o en secuencia, para mantener el suelo siempre cubierto y produciendo.

- Establecer una estrategia de fertilización orgánica que considere cuándo introducir un abono verde, dónde situar el abono orgánico disponible, cómo manejar los residuos de cosecha, cómo mejorar los residuos orgánicos del predio, el uso de abonos foliares fermentados, entre otras prácticas.
- Establecer una estrategia de arborización del sistema.
- Calcular el volumen de alimentos que necesitan los animales y la cantidad de animales que el sistema puede soportar.

Subsistemas productivos a considerar para el diseño con criterio agroecológico

Considerando los principios y aspectos generales mencionados anteriormente, se deben definir cuáles son los sistemas y subsistemas que son posibles de incorporar en el diseño, planificación y manejo en un predio agroecológico, conectando lo anterior con el territorio donde se va a ubicar. Una forma de ordenar los posibles sistemas de implementar, es de acuerdo con las zonas del predio, su frecuencia de visitas, su necesidad de cuidados y su objetivo principal.

Subsistema la casa y su entorno

Ubicado alrededor de la casa, es el sector más visitado y observado por los miembros de la familia y, en general, en él están implementadas las secciones que más tiempo requieren para su mantención. Cumple el objetivo principal de producir, proveer y procesar alimentos para la familia. También permite facilitar las labores domésticas y contribuye a mantener el cuidado y orden de todos los elementos necesarios en el predio. Entre sus componentes se encuentran:

- Casa, cocina, baños.
- Reciclaje y separador de basuras.
- Huerto familiar, que cuenta con producción de hortalizas en camas altas, bajo plástico (túnel o invernadero) o a la intemperie, sector con hierbas medicinales, flores, un pequeño huerto frutal y algunas almacigueras.
- Tecnologías apropiadas como horno y cocina de barro, secador solar, cocinas solares.
- Paneles solares, que permiten el aprovechamiento y transformación de luz solar en electricidad usando inversores. Un Inversor *off-grid* permite el uso de la electricidad para herramientas, lámparas, cargadores o electrodomésticos.
- Cercos perimetrales construidos con mallas y complementados por plantas, flores, especies ornamentales y frutales.

El destino de la producción es principalmente de autoconsumo, sin embargo, en reiteradas ocasiones el volumen producido sobrepasa la demanda de la familia, lo cual permite la venta de excedentes a vecinos/as o en la feria semanal (Figura 6.1¹).



Figura 6.1. La casa y su entorno: 1. Casa. 2. Huerto familiar intensivo (camas altas, mini invernadero, frutales, flores, hierbas medicinales). 3. Reciclador de residuos orgánicos. 4. Cerco perimetral. 5. Tecnologías apropiadas (horno de barro y secador solar). 6. Uso de energías renovables no convencionales (panel fotovoltaico y sistema térmico para agua caliente). 7. Animales menores. Fuente propia.

Subsistema de producción de animales menores

El subsistema animal se compone de cerdos, gallinas y un colmenar. Está anexo al primer subsistema y diariamente es visitado varias veces, pues los animales requieren de alimentación, atención y cuidado. Además, es un espacio en donde se obtienen desechos animales clave para la producción de abonos, como los estiércoles y guanos. Al integrar animales menores en el diseño predial debieran considerarse al menos los siguientes aspectos:

¹ Las figuras 6.1, 6.2, y 6.3 fueron elaboradas con material pedagógico que se utiliza en capacitaciones a productores/as, técnicos/as y estudiantes en diseño predial.

- En las propuestas para el trabajo con animales se debe analizar los recursos con los que la familia dispone (infraestructura, genética local, cultura campesina, recursos alimenticios locales). El reordenamiento que se pueda plantear debe aprovechar la cultura productiva de los/as agricultores/as.
- Analizar las fortalezas del actual sistema productivo y de manejo, identificando las deficiencias que presenta y de esta forma rediseñar el manejo de los animales dentro del predio.
- Se deben respetar los objetivos productivos definidos por las familias. Es decir, si sus intereses se refieren a la diversidad de productos, a funciones que pueda obtener con los animales (leche, carne, huevos, manteca, lana, abono, pieles, tracción), o ambas.
- Los animales menores son parte del sistema de producción pecuaria que manejan los/as agricultores/as y por lo tanto cualquier modificación puede alterar positiva o negativamente el sistema.
- Otro aspecto importante a considerar es el alto compromiso de la mujer y los/as niños/as en este sistema productivo, ya que además está muy relacionado con el entorno de la vivienda.
- La alimentación de los animales se basa fuertemente en el consumo de granos o subproductos de estos, los cuales pueden ser también parte de la alimentación humana, por lo que deben ser aprovechados racionalmente.
- En condiciones de escasez de alimentos y nutrientes para los animales, especialmente en algunas épocas del año, pueden producirse una serie de trastornos (consumo o destrozo de cultivos, desgaste de animales en búsqueda del alimento y sobretalajeo) dentro y fuera del predio. Para lograr el desarrollo del sector, no solo se trata de abordar los aspectos estrictos relacionados con el animal sino que deberá considerar soluciones globales y complementarias al sistema de producción predial, tomando en cuenta, por ejemplo, aspectos como la conservación del suelo, el mejoramiento en la producción vegetal, forestería, cosecha de agua, entre otros.
- Se debe resaltar la importancia del reciclaje de nutrientes dentro del sistema productivo, considerando el guano o estiércol, ya sea fresco o maduro, la cama animal, los residuos de cosecha para alimentación animal, entre otros.
- Igualmente, el manejo de estos sistemas productivos genera alternativas de labores organizadas a nivel de comunidades agrícolas. Tal es el caso del manejo sanitario comunitario, preparación de alimentos, uso de verraco comunitario, etc. (Venegas, 1996).

Subsistema de producción intensiva mayor

Es un sistema que se ubica en una zona más distante a la producción de autoconsumo, ya que requiere de trabajos específicos y temporales. Existen momentos que demanda mayor tiempo, en especial en primavera y verano, debido al manejo del riego, control de malezas y cosecha. Puede estar constituido por un huerto frutal, un colmenar, una rotación de cultivos y/o invernaderos con producción hortícola. Todos estos sistemas productivos tienen una orientación al mercado.

Invernaderos comerciales: la producción de hortalizas y flores bajo plástico es una tecnología de alta relevancia en el país y tiene grandes posibilidades para la agricultura familiar campesina, puesto que les permite mejorar la dieta familiar, generar nuevos ingresos, dar un uso más intensivo a la mano de obra familiar y usar eficientemente los recursos locales. Además, desde el punto de vista ecológico es positivo, ya que disminuye la presión sobre los suelos marginales y susceptibles de erosión, aumenta significativamente la rentabilidad por unidad de superficie en forma permanente y puede producir algunas especies que sería imposible obtener al aire libre.

Consiste en un invernadero con una dimensión de 8 m de ancho por 30 m de largo o más, y 3,4 m de altura en su parte más alta. El invernadero debe contar con un buen sistema de ventilación, ya sea mediante el uso de ventilación lateral o la construcción de una lucarna en el techo. Algunos diseños permiten retirar completamente el plástico en verano o enrollarlo en los laterales de la estructura para que dure más años. En su interior se establecen policultivos, sucesiones o cultivos asociados, los que incluyen flores, plantas repelentes y trampas (Infante y San Martín, 2016).

Apicultura: en la implementación y diseño del colmenar es clave determinar un lugar apropiado para su establecimiento dentro del predio, en donde exista una flora abundante, lejos de carreteras y de fuentes contaminantes. El sitio debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Cercano a fuentes de polen y néctar.
- Cercano a fuentes de agua limpia.
- No muy lejos ni muy cerca de la casa.
- Protegido de los vientos fuertes predominantes.
- Soleado por las mañanas.
- Suelo con buen drenaje.

Para que el apiario funcione en forma conveniente es necesario que esté protegido del exceso de sol. Esto se consigue instalándolo bajo árboles de hojas caducas, colocando ramas sobre los techos de las colmenas o haciendo una ramada que cubra el apiario.

También se debe proteger de los vientos fuertes, eligiendo un lugar protegido con árboles o arbustos o bien construir un cortaviento (especie de cerco alto y tupido hecho con ramas y tablas). Para evitar el daño provocado por animales, se debe rodear el apiario con un cerco perimetral adecuado (alambre, coligüe o cerco vivo) (Infante y San Martín, 2016).

Rotación de cultivos: como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, la rotación obedece al ordenamiento de los cultivos en una secuencia temporal y espacial que permite restaurar los niveles de nutrientes, romper ciclos biológicos de plagas y enfermedades y mejorar las condiciones físicas y biológicas del suelo. Para diseñar la rotación deben considerarse aspectos técnicos como la topografía, el clima y los tipos de suelo; asimismo aspectos socioeconómicos como las necesidades de la familia y el mercado, además de los insumos necesarios y las estructuras o espacios permanentes como cercos o potreros. En lo posible se debe potenciar la diversidad de especies utilizando cultivos asociados y policultivos, incorporando gramíneas, leguminosas y praderas.

El esquema de rotación ideal mantiene para cada año superficies similares por grupo de cultivos (chacras, cereales y praderas). Esto significa que si el esquema de rotación es de seis años, el número de potreros en rotación deberá también poseer seis unidades productivas. La planificación de la rotación debe identificar las etapas para definir qué cultivos son factibles de ser producidos, decidir cuáles de ellos se van a producir y la duración de la rotación (Infante y San Martín, 2016).

Huerto frutícola: dentro de los aspectos relevantes a considerar para la producción frutal con criterios agroecológicos, se encuentran diversas prácticas agronómicas entre las que destacan: la biodiversidad funcional, el manejo nutricional, el establecimiento de cultivos de cobertura, la prevención y control de plagas y enfermedades y la elaboración de biopreparados tanto para la protección sanitaria de los frutales como para el manejo de la fertilidad del suelo. La biodiversidad funcional es uno de los factores más importantes a considerar dentro de un huerto frutal ecológico, debido a que, a través de su gestión, se puede brindar un respaldo biótico al sistema, permitiendo mayor sostenibilidad en el tiempo, siendo por ello necesario planificar el diseño y manejo de la diversidad vegetal.

Esta planificación incluye incorporar elementos que estimulen la diversificación, como corredores biológicos, cercos vivos y/o cortinas cortavientos, zonas con vegetación intensiva, refugios artificiales y cultivos de cobertura, de manera de terminar con el monocultivo y emular lo más posible a un sistema natural, pero con orientación a la producción comercial (Infante y San Martín, 2016).

Ganadería: para optimizar el rendimiento del ganado es muy importante orientar el diseño predial al incremento de la red de organismos vivos y de sus interacciones dentro del sistema de producción (clima, suelo y vida del suelo, vegetación y ganado), como también potenciar la

producción del sistema, en especial del suelo, ya que muchas veces la ganadería está ligada a ecosistemas de mayor fragilidad, como son zonas de secano y alto andinas. Este tipo de terrenos tienen pendiente, por lo que son fácilmente erosionables.

Para el diseño se debe considerar la conservación del medio y del entorno natural, ya que los animales se alimentan con recursos locales, a través del pastoreo directo establecido en una rotación de los potreros. Es decir, el diseño debe lograr adaptar las praderas a las condiciones edafoclimáticas del lugar, mejorando el suelo y adaptando el tipo de ganado a los pastos disponibles. Esto también significa incrementar la disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas.

El diseño de los potreros, su rotación y el entorno debe considerar el mayor bienestar de los animales, lo que incluye necesariamente plantar árboles para su resguardo, establecer una adecuada rotación de pastoreo e integrar las leguminosas como forraje (Primavesi, 2002) (Figura 6.2.). Los refugios deben ser construidos de materiales no tóxicos, amplios, ventilados, con área de reposo para evitar el estrés de los animales (Venegas, 1996).



Figura 6.2. Esquema de los sistemas productivos más la casa y su entorno: 9. Invernaderos hortícolas comerciales. 10. Colmenar. 11. Rotación de cultivos. 12. Huerto frutal. 13. Compost. 14. Infraestructura (bodega). Fuente propia.

Subsistemas forestales/agroforestales

En el capítulo 8 se aborda este aspecto con mayor detalle, pero a manera de resumen se presentan algunos conceptos introductorios.

Los sistemas que incluyen especies arbóreas se ubican en un sector más alejado de la casa y solo requieren visitas semanales. En caso de incluir animales puede ser necesaria una mayor periodicidad.

La agroforestería: es un sistema sostenible de manejo de cultivos y de suelos que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de especies forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos herbáceos en rotación y/o animales, de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de suelo, aplicando además prácticas de manejo compatibles con las prácticas culturales de la población local (Farrell y Altieri, 1999).

Al ordenar las especies vegetales en el tiempo y el espacio, se deben considerar algunos factores relevantes, como el manejo cultural de las especies que crecen juntas, su fenología y forma de crecimiento (sobre y bajo el suelo), las necesidades de manejo para todo el sistema y de acciones adicionales como la conservación del suelo o el mejoramiento del microclima. Es por esto que los arreglos para el ordenamiento tienen propiedades específicas que según Nair (1984) comprenden los siguientes aspectos:

- Cultivar especies arbóreas y cultivos agrícolas anuales en forma intercalada, manteniendo ambos en forma simultánea (o durante la misma temporada).
- Limpiar las franjas de un metro de ancho en bosques primarios o secundarios a intervalos convenientes y establecer especies agrícolas perennes que toleren la sombra. Luego, cuando las especies agrícolas estén de mayor tamaño, las especies forestales se ralean según conveniencia y, dentro de cinco años, se logrará un dosel de 2 o 3 capas, que estará compuesto por las especies agrícolas perennes y las forestales elegidas.
- Introducir prácticas de manejo como la poda, con el fin de que penetre más luz en la superficie del terreno entre las especies arbóreas y establecer especies agrícolas entre las hileras de los árboles.
- En áreas inclinadas, las especies arbóreas seleccionadas pueden plantarse en líneas perpendiculares a la pendiente (a lo largo del contorno), con diferentes disposiciones (hileras únicas, dobles, alternadas) y diversas distancias entre las hileras; las praderas pueden establecerse entre los árboles a lo largo del contorno o también se pueden establecer especies agrícolas.

- Plantar árboles de múltiples propósitos, uno al lado de otro, alrededor de los potreros, formando cercos vivos y cortinas cortavientos. Ellos proporcionarán forraje y combustible, y marcarán los límites de los predios agrícolas. El esquema es particularmente apropiado para áreas de uso extensivo.
- Intercalar las áreas agrícolas con árboles, en forma regular o al azar.

Sistemas silvopastorales: se basan en la asociación de árboles forestales y arbustos forrajeros en alta densidad, combinados con praderas naturales o mejoradas, optimizando al máximo el área de producción de alimento y albergue para el ganado. Normalmente los árboles o arbustos forrajeros se caracterizan por tener un alto valor nutricional, principalmente proteínas, vitaminas y minerales. Para su diseño se deben considerar los siguientes aspectos:

- La capacidad de carga del sistema.
- El espaciamiento adecuado de los árboles.
- El efecto de la edad de los árboles sobre la producción de los forrajes.
- La determinación de especies forrajeras.
- La influencia del clima.
- La selección de especies forrajeras y árboles más eficaces en el uso de la luz y en el consumo de agua y nutrientes.
- La selección de forrajes resistentes a la competencia por el agua.
- El posible efecto de aleloquímico de los árboles.
- La influencia de la dirección de las líneas de árboles sobre el sotobosque.

Bosquetes: son sectores naturales que se han aislado y dejado crecer sin mayor intervención, cuya función principal es proveer de servicios ambientales, tales como el control de erosión, la captura de aguas, el aumento de biodiversidad y la formación de nichos ecológicos para insectos benéficos y fauna silvestre.

Plantaciones forestales: son sistemas de producción forestal de multipropósito donde las especies forestales se regeneran y manejan para producir no solo madera sino también hojas, frutas, hongos u otros productos forestales no madereros que son apropiados para alimento y/o forraje.

Subsistemas de apoyo predial para el manejo con criterios agroecológicos

Sistemas para la disponibilidad de agua: el manejo sustentable del agua involucra mejorar las condiciones del suelo, usar eficazmente el agua, así como la captación y cosecha de agua desde diversas fuentes. Existen técnicas que pueden incorporarse en forma integral al diseño

predial para lograr procesos que disminuyan los problemas hídricos (Infante y San Martín, 2016), entre ellas:

Mejora de las condiciones del suelo:

- Disminuir la erosión de suelo: mantener cobertura vegetal, formación de terrazas, construir curvas de nivel, de escurrimiento, zanjas de infiltración e implementar sistemas agroforestales y silvopastorales.
- Aumentar el contenido de materia orgánica: aplicar abonos orgánicos, reciclar los rastrojos, incorporar abonos verdes y disminuir la labranza de suelo.

Uso eficiente del agua:

- Disminuir la evaporación: usar coberturas vegetales (mulch), sombreaderos, establecer cortinas cortavientos y policultivos.
- Aumentar la diversidad, realizar un mejor uso de los espacios (uso de zonas altas, vegas de acuerdo con la estación del año), establecimiento de especies y variedades más eficientes en el uso de agua, resistentes a la sequía y de rápido crecimiento, así como la construcción de camas altas, camellones y un manejo adecuado de malezas.
- Incorporar sistemas de reciclaje de aguas, biopurificadores, etc.
- Usar sistemas de riego eficientes: por goteo, localizado y cubrir los canales de riego.

Captación, extracción y cosecha de agua en sus diversas formas:

- de lluvia, por medio de pozos cisternas, desde los techos, minirrepresas y tranques de acumulación.
- de vertientes, a través de tuberías, canaletas y acumuladores.
- de napas freáticas, mediante construcción de punteras y pozos profundos.
- de neblinas, usando mallas neblineras y bosquetes naturales.

Sistemas de conservación de suelo: un programa de fertilización adecuado debe ir acompañado de un plan de conservación de suelo, a largo plazo. Este plan debe evitar el arrastre y pérdida de suelo por efecto del viento o del agua, fenómeno que se conoce como erosión. Existen variadas técnicas para proteger el suelo de la erosión, como por ejemplo el establecimiento de cultivos de cobertura, la instalación de barreras vivas, la planificación con curvas a nivel, el cultivo en terrazas, las curvas de escurrimiento o zanjas de infiltración y el control de cárcavas.

Antes de aplicar alguna de estas técnicas es importante analizar bien el origen del problema de erosión, analizar su grado de avance, la textura del suelo, el ángulo de la pendiente, la intensidad y frecuencia de las lluvias, entre otros aspectos, para determinar cuáles de las mencionadas técnicas son las más adecuadas. En general no bastará con implementar solo una técnica, sino que deben complementarse varias para que el impacto mitigador sea óptimo. Así, por ejemplo, si se construyen curvas de nivel, habrá que agregar prácticas

agrícolas como el establecimiento de cubiertas vegetales, incorporación progresiva de materia orgánica, asociación de cultivos, etc.

Cultivos de cobertura: los cultivos de cobertura además de proteger el suelo de los efectos de la erosión, ayudan a manejar poblaciones de malezas, a aumentar la biodiversidad y a mejorar las características físico-químicas y biológicas del suelo. Los cultivos de cobertura crean condiciones favorables para el control y manejo biológico de plagas y enfermedades al incrementar la biodiversidad dentro del sistema, aportan fuentes alternativas de alimentación para enemigos naturales y plagas, y constituyen áreas de refugio y hábitat para los enemigos naturales, mejorando de esta forma la permanencia y recolonización de los mismos.

Corredores biológicos: los mejores ejemplos de corredores biológicos los ofrece la naturaleza. Se pueden observar en la vegetación espontánea existente en cada localidad, a orillas de caminos rurales, carreteras, etc., donde es posible identificar especies adaptadas a las características agroecológicas de cada territorio. Resulta fundamental en su diseño que los corredores estén conectados a parches de bosque nativo, quebradas u otros sectores ricos en diversidad, ya que su funcionalidad está directamente relacionada con esta característica, así, mientras más complejo es el sistema, mayor efectividad tendrá en términos de sanidad vegetal. Al momento de elegir las especies a establecer en estos corredores se privilegian las propias del lugar, aunque también pueden utilizarse especies exóticas, siempre y cuando no compitan o destruyan los ecosistemas naturales establecidos con anterioridad. Se pueden incorporar especies aromáticas y nativas, contemplando la presencia de al menos los tres estratos principales (arbóreo, arbustivo y herbáceo).

Al momento de diseñar los corredores es importante considerar la funcionalidad y fechas de floración de las especies incluidas. Es necesario contemplar la introducción de elementos anexos, como piedras, abrevaderos, etc., de manera de mejorar la calidad del hábitat para organismos benéficos en el corredor. Además, se debe considerar un sistema de riego y un plan de mantenimiento.

Cercos vivos: son franjas de bosquecillos y matorrales compuestos por arbustos, árboles y franjas de pasto de un ancho mínimo de 3 metros, los cuales cumplen una serie de funciones dentro del agroecosistema: ahorro de agua, protección contra la erosión hídrica y las inundaciones, y regulación térmica (microclima) ya que actúan atenuando las temperaturas extremas.

Cortinas cortavientos: se establecen para reducir la velocidad del viento, disminuir la pérdida de agua del suelo y de los cultivos, por efecto de la evapotranspiración. Se plantan líneas de árboles en posición perpendicular al viento, en forma de trapecio; al centro se plantan los árboles más altos y afuera los arbustos o árboles más pequeños. La elección de

las especies es un aspecto muy importante, pues ello puede garantizar el efecto protector que se requiere (González, 2013).

Biofábrica: como una forma sistemática, económica, sanitaria y productiva, es necesario considerar dentro del diseño predial el establecimiento de una biofábrica que permita la elaboración y almacenaje de diferentes biopreparados, tanto abonos orgánicos como preparados, para el manejo de plagas y enfermedades (infusiones, decocciones, extractos de plantas y preparados minerales). Los principales abonos orgánicos que se deben elaborar en el predio son compost, bokashi, vermicompost, guano compostado, fermentados de microorganismos, biofertilizantes líquidos (supermagro, té de compost y té de guano, té de ortiga, purines, fermentado de algas).

Para su elaboración se requieren algunos insumos, como son los residuos de la actividad ganadera (estiércol, orines, pelos, plumas, huesos y sangre), residuos de la actividad agrícola (rastros de cultivos, hojas en otoño, podas y malezas) y residuos de la actividad forestal (aserrín, hojas, ramas y cenizas). Algunas plantas que se utilizan en los biopreparados son difíciles de encontrar, por eso es recomendable que el/la agricultor/a las cultive en su predio, lo que contribuirá además a aumentar la diversidad del sistema y permitirá disponer de ellas cuando se necesiten. Estas especies se pueden plantar en los bordes del huerto, en cercos o en las cabeceras de los cultivos.

Minivivero: consiste en un área destinada a la multiplicación de especies, frutales, forestales y ornamentales, con el objetivo proveer de plantas para el establecimiento de cercos vivos, cortinas cortavientos, corredores biológicos, jardines, macizos florales u otros.

Para su buen funcionamiento se requiere un invernadero, sistema de riego, estructuras para el almacenaje de sustratos (compost, tierra, arena), bandejas, cajones, herramientas, harneros y semillas.

Energía solar fotovoltaica: la energía solar fotovoltaica permite convertir la radiación solar en electricidad utilizando celdas o paneles fotovoltaicos. Esta energía puede ser utilizada con diversos fines productivos, entre ellos:

- Sistema de bombeo solar: constituye una solución responsable con el medioambiente y tiene una gran ventaja económica frente a los sistemas convencionales de extracción de agua. Para la agricultura es una excelente opción, ya que la demanda de agua para riego coincide perfectamente con la temporada de oferta de radiación solar más abundante.
- Cerco eléctrico solar móvil: permite hacer un uso más eficiente de la pradera al contener el ganado en un área específica del potrero, de modo que el consumo de la misma se realice

en forma ordenada. El cerco eléctrico solar móvil tiene la particularidad de utilizar energía solar para su funcionamiento, en forma autónoma, evitando el uso de cables y consumo eléctrico. Al ser un sistema móvil permite ubicarlo y moverlo de acuerdo a las necesidades, en cualquier lugar donde se disponga de radiación solar.

Infraestructura predial: bodegas, caminos, galpones, oficinas, constituyen la infraestructura básica de cualquier predio, indispensable para su funcionamiento.

Maquinaria: debe ser la adecuada para apoyar los procesos biológicos que se están generando con el diseño predial. Entre otros, debe contemplar el uso de arados de labranza conservacionista, máquinas para triturar rastrojos y residuos, revolvedores y aplicadores de abonos orgánicos, cortadoras de pasto. Además, usar tracción animal para disminuir la contaminación y consumo excesivo de combustibles fósiles, evitar la dependencia de insumos externos, reducir los costos y aprovechar la acción de los animales que permiten funcionar en sistemas de economía circular, gracias al reciclaje de sus subproductos y conversión en biopreparados (Figura 6.3.).



Figura 6.3. Diseño final del predio: 15. Incremento de la biodiversidad (agroforestería, cercos vivos, corredores biológicos). 16. Sistemas silvopastoriles. 17. Cosecha de agua. 18. Conservación de suelos. 19. Cortinas cortaviento. Fuente propia.

Comentarios finales

Es importante mencionar que para todo proceso de diseño de agroecosistemas sostenibles a nivel territorial o comunitario, se necesita desarrollar un marco conceptual y metodológico adaptado al territorio, con el objetivo de ayudar a las partes locales interesadas a diseñar el entorno y guiar su transición hacia una agricultura basada en criterios agroecológicos. Deberá integrar conceptos, métodos, sistemas y manejos relacionados con los criterios agroecológicos y la gestión de la transición, el diseño y las ciencias que son las fundaciones de la sostenibilidad. Es así como debe estar enmarcado para trabajar con una fuerte participación de las partes interesadas a lo largo del proceso de diseño. Debe contemplar un enfoque transdisciplinario para integrar el conocimiento de los asesores y partes interesadas, siempre con una mirada holística, que considere las interacciones dentro y entre los subsistemas a establecer, de las conexiones sociales y biológicas en el territorio (Duru *et al.*, 2015).

Referencias

- Altieri, M., Nicholls, C. (2004).** Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados de cultivo en el Trópico. *Foro de Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (MIPA) (73)*, 8-20. CATIE, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6873/A1899e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Duru, M., Therond, O., and Fares, M. (2015).** Designing agroecological transitions; a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1237–1257. <https://doi:10.1007/s13593-015-0318-x>
- Ewel, J. J. (1986).** Designing Agricultural Ecosystems for the Humid Tropics. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17(1), 245–271. <https://doi:10.1146/annurev.es.17.110186>
- Farrell, J. y Altieri, M. (1999).** Sistemas agroforestales en Agroecología. En: Altieri, M. (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. (capítulo 12) Editorial Nordan–Comunidad. Chile.
- García Trujillo, R. (1996).** *Los animales en los sistemas agroecológicos*. ACAO. La Habana, Cuba. 100 p.
- Gliessman, S.R. (2002).** *Agroecología. Procesos ecológicos en Agricultura Sostenible* (Ed. español, 359 p). LITOCAT, Turrialba, Costa Rica.
- González, A. 2013.** *Agroecología y agroforestería: Prácticas para una Agricultura Ecológica*. Otros Mundos. Amigos de la Tierra Internacional. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. 56p.
- Infante, A. (2015).** Faros Agroecológicos definición y caracterización a partir de una experiencia de reconstrucción rural en el secano de Chile Central. *Agroecología*, 10(1), 73-78. <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/53886/1/300751-1030571-1-SM.pdf>.
- Infante, A. y San Martín, K. (2016).** *Manual de producción agroecológica*. Series Manual y Cursos N° 8, 200p. INDAP Centro de Educación y Tecnología (CET).
- Lacombe, C., Couix, N., and Hazard, L. (2018).** Designing agroecological farming systems with farmers: A review. *Agricultural Systems*, 165(2018), 208–220. doi:10.1016/j.agsy.2018.06.014.

Nair, P K.R. (1984). *Soil productivity aspects of agroforestry*. Kenya. 92p.

Primavesi, A. (2002). Optimizando las interacciones entre el clima, el suelo, los pastos y el ganado. *LEISA Revista de Agroecología* 18(1):15-16.

Snapp, S. (2017). *Agroecology: Principles and practice. Agricultural Systems* (Second edition, Chapter 2) p: 33-72. doi:10.1016/b978-0-12-802070-8.00002-5

Venegas, R. 1996. El rol de los animales en los sistemas de producción en CET y CLADES (Eds.) Curso de autoformación a distancia. Desarrollo Rural Humano y Agroecológico. (Módulo II, p: 219-233). Centro de Educación y Tecnología, Consorcio Latinoamericano de Agroecología y Desarrollo.



Vacas en un bosque de abedules (1886). Victor Axel Westerholm.

Una cubierta de árboles ya sea en diseño silvopastoral, como cortinas cortavientos o en bosquetes, le otorga a los animales una protección muy significativa, en especial en los periodos invernales, ya que no solo reporta resultados productivos similares a los obtenidos por animales manejados bajo galpones sino que disminuye también la situación de estrés de los animales y aminora los costos de inversión.



Capítulo 7

Importancia de los sistemas agroforestales en la producción con base agroecológica

Álvaro Sotomayor G.¹

El concepto de agroforestería o sistemas agroforestales se refiere a esquemas y tecnologías de uso del suelo en los cuales las especies leñosas perennes, árboles, arbustos y palmas se utilizan deliberadamente en el mismo sistema de manejo con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal (Nair, 1987; Sotomayor, 2016). En los sistemas agroforestales existen interacciones tanto ecológicas como económicas entre los diferentes componentes y el propósito es lograr un sinergismo entre estos, que conduzca a mejoras netas en el sistema, tales como productividad y sostenibilidad, además de diversos beneficios ambientales y sociales.

La agroforestería es una ciencia multidisciplinaria, dada la combinación árbol-cultivo-ganadería, y debe involucrar la participación de los/as agricultores/as, junto a los/as especialistas de diferentes disciplinas, en la identificación, diseño y ejecución de las actividades de investigación como en el establecimiento de los sistemas. Si bien son varias las definiciones de agroforestería o sistemas agroforestales que existen en el mundo, todas ellas coinciden en que debe existir un manejo integrado de todos los recursos productivos que son parte de una unidad de terreno, como los árboles, los componentes agropecuarios, el suelo, el agua, la biodiversidad, con el fin de formar un sistema sostenible.

Los sistemas agroforestales se orientan a permitir actividades productivas en diferentes condiciones, desde áreas altamente productivas como también de alta fragilidad, con recursos naturales degradados o en buenas condiciones, con gestiones económicas eficientes que buscan alterar al mínimo la estabilidad ecológica, siguiendo principios agroecológicos, lo cual contribuye a alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción y, como consecuencia, mejorar el nivel de vida de la población rural.

¹ Gerente Sede Biobío. Instituto Forestal. Chile. asotomay@infor.cl

Estos sistemas persiguen tanto objetivos ecológicos como económicos y sociales (Sotomayor y Cabrera, 2008; Sotomayor, 2016). La característica principal de los sistemas agroforestales es su capacidad de optimizar la producción del territorio (unidad predial) a través de una explotación diversificada, en la que los árboles y arbustos cumplen un rol fundamental. Este rol se ve reflejado en que las especies leñosas pueden proveer diversos productos en beneficio de los/as productores/as silvoagropecuarios/as, tales como madera, leña, postes, alimentos para el ser humano, forraje para animales, materia orgánica para mejorar las condiciones del suelo, flores para la apicultura, productos medicinales y cosméticos de las especies leñosas como también herbáceas, aceites y resinas, entre otros (Sotomayor, 2016).

Además, los árboles son proveedores importantes de servicios como seguridad alimentaria, conservación y aumento de la fertilidad del suelo, mejoramiento y estabilidad del microclima, cercos vivos, demarcación de límites como barreras vegetales, captura de carbono, estabilización de cuencas, protección de la biodiversidad, recuperación de suelos degradados, protección y mejoramiento de la calidad de cursos de agua, control de malezas (ICRAF, 2000) y generar un entorno y un paisaje más agradable propiciando también la preservación y aumento de la vida silvestre. Estos sistemas integrados de producción pueden ser implementados en todo tipo de suelos, ya que los árboles entregan diferentes servicios ecosistémicos en diversas condiciones, aunque son más usados o recomendados en suelos de laderas, que son más susceptibles de erosión o degradación (ICRAF, 2000).

Los objetivos o beneficios de un sistema agroforestal pueden ser diferentes para cada situación y región del mundo, pero a los mencionados que son ampliamente reconocidos se pueden sumar la diversificación de la producción, asegurando con ello una mayor estabilidad y retornos económicos en el mediano y largo plazo, y un reconocido aumento en la eficiencia biológica del sistema, que contribuye a un incremento de la productividad para quienes cultivan la tierra y para toda la comunidad o región (Sotomayor, 2016).

Existe una alta relación de los sistemas agroforestales con la agroecología, la que Altieri (1999:9) define como *“una disciplina que provee los principios ecológicos básicos para estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que sean productivos y conservadores del recurso natural, y que también sean culturalmente sensibles, socialmente justos y económicamente viables”*. De manera similar, Sotomayor (2016) expone que los árboles proporcionan beneficios a las personas, tanto ecológicos como económicos y sociales, al establecerlos con un diseño basado en sistemas agroforestales y de sustentabilidad a largo plazo.

Tipos de sistemas agroforestales

Sistema silvopastoral

El silvopastoreo o sistema silvopastoral es una práctica agroforestal que ha sido utilizada por siglos en Latinoamérica y en el mundo, el cual combina en un mismo sitio árboles, praderas o especies herbáceas forrajeras y producción de ganado. Los sistemas silvopastorales están diseñados para obtener un producto maderable de los árboles y, en algunos casos, frutos y otros productos forestales no madereros, como también proveer sombra y albergue al ganado, proteger a la pradera, el suelo y cursos de agua, mientras se provee de un ingreso económico a corto plazo derivado de la ganadería. La interacción entre árboles, pradera y ganado se maneja para obtener diversos productos del sistema (madera, forraje y ganado) de manera simultánea, intensiva y eficiente, buscando que entre ellos la competencia sea la mínima posible para no afectar su resultado y estabilidad. En general, los sistemas silvopastorales pueden proveer ingresos económicos a la vez que crean un sistema integrado y sostenible con beneficios ambientales y sociales.

Un sistema silvopastoral puede desarrollarse de tres formas:

- como resultado de la introducción o mejoramiento deliberado de las especies herbáceas en un sistema de producción forestal ya establecido;
- mediante la introducción deliberada de árboles en una pradera ya establecida bajo sistema de producción ganadera;
- estableciendo los árboles y la pradera al mismo tiempo, para conformar un nuevo sistema productivo silvopastoral.

Previo a establecer sistemas silvopastorales, deben estudiarse las implicancias de mezclar o asociar sistemas forestales con sistemas ganaderos, y sus posibles efectos económicos y ambientales. En este análisis debe considerarse el uso actual de la tierra, la zonificación necesaria, la disposición y la densidad de los árboles a establecer (Foto 7.1.), así como también las especies más recomendables a las condiciones edafoclimáticas del territorio. Adicionalmente, se deben conocer los incentivos económicos disponibles, regulaciones y otros aspectos de planificación territorial. Los suelos agrícolas y forestales pueden tener regulaciones de uso diferentes, al igual que diferentes incentivos y pagos contributivos.



Foto 7.1. Sistema silvopastoral tradicional con coníferas a densidad de 400 árboles/ha, homogéneamente distribuidos (izquierda) y sistema silvopastoral en fajas alternas con igual densidad (derecha) Fuente: Sotomayor, 2016.

Sistema agrosilvicultural

La agrosilvicultura es un término colectivo que abarca los sistemas y tecnologías para el aprovechamiento de los suelos, en los cuales se combinan deliberadamente especies leñosas perennes (árboles, arbustos, palmas, bambú, etc.) con cultivos agrícolas en la misma unidad de gestión, en alguna forma de distribución espacial o secuencia cronológica. En los sistemas agroforestales existen interacciones ecológicas y económicas entre los distintos componentes que se deben conocer para realizar un adecuado manejo del sistema.

Los componentes forestales debidamente seleccionados pueden contribuir a la productividad y viabilidad de sistemas de explotación agrícola en suelos marginales, aumentando el contenido de materia orgánica, manteniendo o mejorando la fertilidad del suelo, reduciendo la erosión, reteniendo el agua y creando un microclima más favorable para el conjunto constituido por especies forestales y cultivos. Estas funciones de servicios ecosistémicos que proveen los árboles complementan las funciones de producción directa que ellos podrían también desempeñar al servir como fuente de alimentos, forraje, leña, materiales de construcción y otras materias primas para los productores y las industrias rurales (Sotomayor, 2016). La agrosilvicultura también es importante en las prácticas tradicionales de aprovechamiento de los suelos al maximizar y diversificar la productividad, incluso en suelos de buena calidad. Los sistemas agrosilvícolas intensivos se aplican más comúnmente en zonas con una larga historia de presión demográfica, lo cual indica su eficiencia general como sistema de utilización de la tierra.

Aunque muchos de los recientes esfuerzos de investigación agroforestal se han dirigido hacia la integración de los árboles en los sistemas agrícolas, la agrosilvicultura también tiene una función que desempeñar en la conservación de los bosques y en el mejoramiento de

los sistemas de ordenación forestal. Al proporcionar a los/as agricultores/as los medios para producir leña, madera, postes con fines de construcción y otros productos forestales en los suelos agrícolas, la agrosilvicultura puede reducir considerablemente las exigencias a las que se ven sometidos los bosques y los suelos forestales pues disminuye o evita la deforestación de terrenos forestales por la presión antropogénica. Al promover estas acciones con el objeto de que aumente y permita sostener la productividad agrícola, la agrosilvicultura también puede reducir en parte la presión que existe para convertir suelos forestales en agrícolas (Sotomayor, 2016). Se exponen a continuación algunos ejemplos de estos sistemas:

- **De la agricultura migratoria al cultivo permanente:** se puede mencionar el Sistema Taungya, que es uno de los sistemas de tala y quema, y hace una distinción entre los sistemas integrales y los parciales. Los sistemas parciales reflejan predominantemente los intereses económicos de sus participantes, en tanto que los sistemas integrales tienen su origen en un modo de vida más tradicional, con actividades agrícolas durante todo el año, de ámbito comunitario, en gran parte autónomo y sancionado ritualmente.
- **Cultivo en fajas y otros sistemas de cultivos intercalados:** el cultivo en fajas puede definirse como un enfoque zonal de la agrosilvicultura (Sotomayor, 2016) que implica la siembra de cultivos extensivos en las fajas entre las hileras de árboles, o cultivos y praderas protegidos por hileras o cortinas cortavientos (Foto 7.2.); estas se mantienen podadas durante toda la temporada de cultivo a fin de controlar la sombra y la competencia subterránea, y para disponer de abonos verdes y de material vegetal incorporado al suelo para beneficio de los cultivos. Se podrían obtener forrajes y leña como subproductos del sistema, pero la finalidad básica es contar con el servicio ecosistémico en el sistema agrícola de labranza.



Foto 7.2. Cortina cortaviento de pino oregón *Pseudotsuga menziesii* (izquierda) y de roble *Nothofagus obliqua* (derecha), protegiendo praderas y animales.

Sistema agrosilvopastoral

En estos sistemas se combinan árboles y/o arbustos con cultivos agrícolas y pastoreo en la misma unidad predial. Normalmente estos sistemas son secuenciales, ocupando previamente árboles y cultivos, para luego destinarlos a alimentar animales. En este caso se pueden asociar cultivos agrícolas en forma de callejones entre las hileras de árboles. La distancia entre árboles para incluir cultivos pueden variar (por ejemplo, entre 6 a 21 m) dependiendo de las especies utilizadas, como álamos, castaños, encinos, cerezos, nogales u otros multipropósitos y cultivos agrícolas como maíz, porotos, trigo, arvejas u otros, incluyendo animales domésticos como vacunos, ovinos, equinos, porcinos y aves.

Otras aplicaciones

Otro uso de la agroforestería es la protección de riberas de ríos, esteros y lagos. Para ello, se establecen en la ribera del curso de agua árboles, arbustos y pastos. Esta vegetación ayuda a reducir la erosión, retiene contaminantes (herbicidas, fertilizantes, y otros) actuando como biofiltros, evitando que lleguen a los cursos de agua, además de mejorar el hábitat para la fauna y aumenta la biodiversidad (Foto 7.3.).

También se pueden utilizar los árboles para aislar vertederos o comunidades urbanas, ya que permiten atenuar el ruido de carreteras e industrias, olores, y para mejorar la belleza escénica. Otro aspecto importante de los sistemas agroforestales es su contribución a la mitigación del cambio climático, gracias a la captura de carbono y protección de los recursos naturales.



Foto 7.3. Protección de cursos de agua con árboles, arbustos y herbáceas.

Algunos de los sistemas agroforestales más utilizados en Chile y sus componentes, se presentan en el Cuadro 7.1.

Cuadro 7.1. Sistemas agroforestales utilizados en Chile y sus componentes.

Sistema	Tipos y componentes	Sistemas agroforestales
Silvopastoral	<ul style="list-style-type: none"> ● Árboles para producción de madera en praderas para pastoreo. ● Pastoreo en bosques nativos. ● Árboles o arbustos forrajeros para alimentación animal. ● Árboles fruto-forestales asociados a praderas y animales. ● Praderas. ● Animales domésticos y/o silvestres. ● Otros. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Árboles de especies coníferas de los géneros <i>Pinus</i> sp. y <i>Eucalyptus</i> sp. con praderas y ganado doméstico. ● Álamo (<i>Populus deltoides</i>) con praderas y ganado doméstico. ● Árboles fruto forestal con praderas y ganado. ● Bosque nativo (Ej. <i>Prosopis</i> spp., <i>Acacia caven</i>, <i>Nothofagus</i> spp.) con animales. ● Galpones naturales o biológicos (grupo de árboles, o bosquetes, y animales). ● Arbustos forrajeros (Ej. <i>Atriplex</i> spp, <i>Acacia saligna</i>) y animales.
Agrosilvicultural	<ul style="list-style-type: none"> ● Árboles comerciales entre cosechas agrícolas anuales. ● Cercos vivos y cortinas cortavientos alrededor de cultivos. ● Cercos vivos de protección. ● Otros, como huertos familiares, huertos melíferos, árboles frutales con cultivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Álamo con cultivos anuales. ● Cercos vivos y de protección. ● Cortinas cortavientos con cultivos agrícolas. ● Especies fruto- forestales (Ej. <i>Juglans</i> sp., <i>Castanea</i> sp.) en callejones y cultivos agrícolas. ● Especies leñosas melíferas (Ej. ulmo, maqui, boldo, peumo, maitén y otras), establecidas en huertos y/o deslindes. ● Bosque nativo con cultivos temporales.
Agrosilvopastoral	<ul style="list-style-type: none"> ● Árboles multipropósito. ● Cercos vivos y cortinas asociados a cultivos y ganadería. ● Cultivos agrícolas y ganadería en plantaciones. ● Árboles frutales en huertos familiares con animales domésticos y aves de corral. ● Otros. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Álamo con cultivos y pastoreo. ● Árboles multipropósitos con cultivos agrícolas y pastoreo. ● Cortinas cortavientos y cercos vivos con cultivos agrícolas y pastoreo. ● Especies frutales y melíferas en huertos familiares, con cultivos y animales domésticos.
Otros	<ul style="list-style-type: none"> ● Árboles y arbustos para protección de riberas de cursos de agua. ● Árboles para aislar vertederos e infraestructura predial. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistemas para protección de riberas y cursos de agua. ● Diseños de sistemas con árboles para protección de infraestructura.

Fuente: Sotomayor, 2016.

Funcionamiento e interacciones entre los componentes en sistemas agroforestales

Desde el punto de vista técnico, con la incorporación de árboles en las unidades prediales destinadas a la ganadería tradicional y cultivos anuales, ordenados de acuerdo con un diseño agroforestal, se puede ayudar a incrementar la productividad de los recursos agropecuarios, principalmente en la producción de forraje y producción animal con ganado ovino o bovino, junto con la protección de suelos y aguas. Además, destacan los árboles por el mejoramiento de las condiciones ambientales dentro de su área de influencia, por la protección que brindan a los vegetales y animales, como la disminución de la velocidad del viento, regulación de la temperatura ambiental y del suelo, aumento de la humedad relativa, disminución del déficit hídrico en el suelo, protección del ganado contra lluvias y bajas temperaturas, entre otros. (Quam *et al.*, 1994; Sotomayor, 2016).

En ensayo establecido el año 2006 en la Región de Aysén, Chile, con el fin de evaluar el efecto de una cortina cortaviento sobre diferentes especies forrajeras, Teuber *et al.* (2016) demostraron que la producción de biomasa acumulada de pasto ovillo (*Dactylis glomerata*) en la zona de mayor protección de sotavento, entre 2H y 4H (siendo H la altura de los árboles expresada en metros) fue entre 17,2, y 18,0 t MS/ha, correspondiente a un 31,6-37,6% de mayor producción en relación a la zona testigo, que es entre 14-15H (Figura 7.1.). Posterior a los 5H los rendimientos descendieron visiblemente, para ubicarse entre 12,7 y 14,4 t MS/ha. Si se considera que para este experimento la altura de 15H en sotavento y la altura de 5H en barlovento son las más desprotegidas y consideradas como área testigo sin protección, se puede observar que hubo un importante incremento del rendimiento por efecto de la cortina cortaviento (Figura 7.1.).

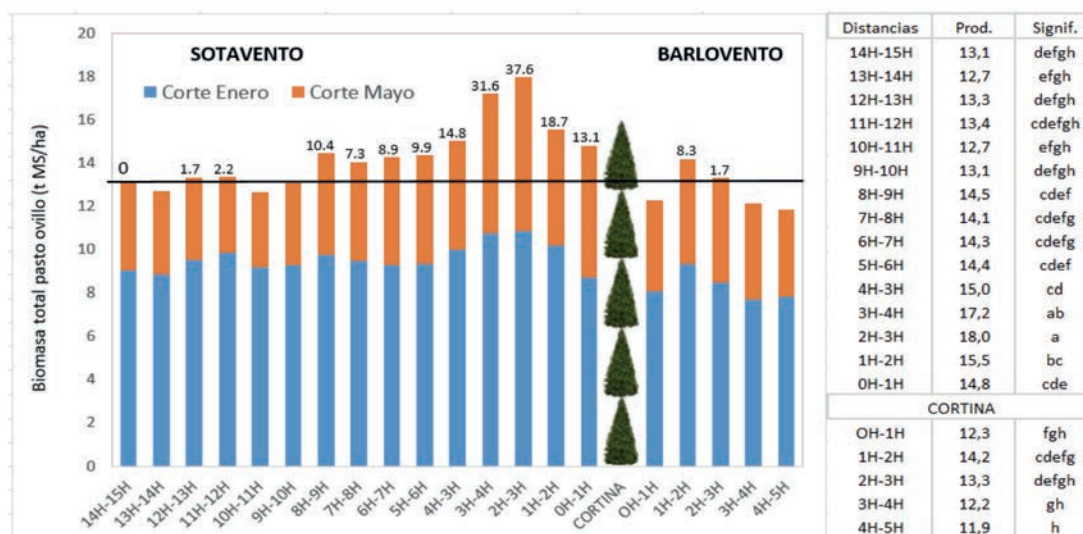


Figura 7.1. Producción acumulada de pasto ovillo (t MS/ha) a diferentes distancias de la cortina cortaviento y porcentaje de aumento con respecto a lo obtenido en zona testigo (valores en % sobre las barras). (Letras distintas señalan diferencia estadísticamente significativas).

Al mismo tiempo, los recursos forestales establecidos son beneficiados por la introducción del ganado en el sistema, que se alimenta de especies herbáceas, lo que afecta positivamente el establecimiento y crecimiento de los árboles al eliminar la competencia, en especial en los primeros años de crecimiento, disminuyendo a su vez la posibilidad de incendios forestales. Los árboles se benefician también por las fertilizaciones que reciben las praderas y cultivos asociados a las plantaciones, por las deposiciones de los animales, y por el mayor espacio dejado para el crecimiento de los árboles producto de un ordenamiento agroforestal. Otro efecto ambiental importante que otorgan los árboles dentro del sistema es la protección de los suelos, dado que sus raíces que sostienen el suelo en periodos de alta pluviometría evitando aludes, y su follaje intercepta el viento y las gotas de lluvia reduciendo la erosión.

Desde el punto de vista económico, los/as productores/as locales que incorporen estos sistemas integrados de producción en sus predios podrán mantener un flujo de caja anual, expresado en la venta de animales (carne y/o lana), cereales y otros productos agrícolas, que permitirán solventar los gastos propios del grupo familiar. Además, podrán manejar sus bosques hasta que maduren y entreguen sus productos para su venta, principalmente madera (Sotomayor y Cabrera, 2008), mejorando así su calidad de vida. De los bosques podrán obtener además recursos madereros intermedios, como madera pulpable, madera para postes o leña, al momento de efectuar las labores de raleos y poda y podrán obtener productos maderables de alta calidad (madera libre de nudos o con nudos firmes) al final de la rotación de la plantación forestal, al haber realizado un manejo adecuado de sus bosques (Sotomayor y Cabrera, 2008). Además, se puede señalar que los predios se valorizarán al momento de establecer una masa forestal dentro de ellos.

Desde el punto de vista ambiental, estos sistemas aumentan la capacidad de captura del carbono atmosférico con la consiguiente mitigación de gases de efecto invernadero y, al mismo tiempo, generan un entorno y un paisaje más agradable propiciando también la preservación y aumento de la vida silvestre (Nair *et al.*, 2009).

Agroforestería como sistema de manejo integrado

Como se ha expuesto, existen distintos tipos de sistemas agroforestales, y consecuentemente diversos manejos, los que dependerán de los recursos productivos incorporados a estos sistemas, las condiciones edafoclimáticas y el objetivo de producción, utilizando entre otros los componentes arbóreos o arbustivos, los cultivos agrícolas, los recursos prateros y la producción animal. Dentro de los más frecuentes figuran las combinaciones agrosilvícolas, silvopastorales, las cortinas cortavientos, y últimamente ha surgido con fuerza la protección de riberas y cursos de agua (o *riparian buffer*) en predios agrícolas (Nair, 1987; Sotomayor *et al.*, 2009).

Cuando se establece un sistema silvopastoral, los árboles deben ser manejados permitiendo la entrada de luz solar que llega al suelo para favorecer el desarrollo de las praderas para la producción de forraje, y reduciendo la competencia entre ambos componentes (Sotomayor *et al.*, 2009); este manejo básicamente consiste en regular la densidad de árboles desde un inicio, al definir cuantos árboles se establecerán por unidad de superficie, y manejándolos posteriormente con raleos y podas para balancear la productividad forestal y praterense (Sotomayor y Cabrera, 2008).

En la medida que existe mayor competencia por el uso de los suelos, nuevas alternativas de producción deben ser exploradas para satisfacer las necesidades alimenticias de la población. El silvopastoreo, ya sea temporal o durante toda su rotación, es una buena alternativa en muchas regiones de Chile. Los sistemas silvopastorales, aunque requieren de una mayor tecnología y un alto nivel de manejo, presentan una serie de ventajas sobre un sistema forestal tradicional para los/as pequeños/as y medianos/as propietarios/as, dado que les permite generar ingresos intermedios por venta de animales y madera proveniente de intervenciones intermedias, mientras el recurso forestal madura hasta obtener su máxima productividad y valor. El éxito de un esquema silvopastoral se basa, en primer lugar, en una correcta programación de sus actividades y su manejo, centrada en objetivos muy bien definidos en ambos rubros, ganadero y forestal; en segundo lugar, en el logro de altos índices productivos en ambos rubros (Sotomayor, 2016).

Algunos beneficios ambientales de los sistemas silvopastorales son los siguientes (Nair, 1987; Nair *et al.*, 2009; Sotomayor, 2016):

Agua: los árboles reducen la velocidad de las gotas de lluvia y permiten una mayor percolación en el suelo. Las raíces ayudan a filtrar contaminantes de las aguas de escorrentía, mejorando la calidad de aguas subterráneas.

Aire: los árboles ayudan en la producción de oxígeno, reducen los olores en las áreas donde se concentran los animales y la diseminación del polvo ocasionado por el viento o por actividades de transporte dentro de los predios.

Captura de carbono: las especies arbóreas capturan el CO₂ del aire, incorporándolo en la madera, lo cual ayuda a la disminución de la contaminación ambiental y a la mitigación de gases efecto invernadero.

Suelo: el follaje de los árboles reduce el impacto de la lluvia, previniendo la erosión y ayudando a infiltrar el agua en el suelo y las raíces ayudan a retener el suelo.

Vida Silvestre: los sistemas que integran árboles, praderas y/o cultivos, proveen un hábitat diverso, refugio y protección para muchas especies animales terrestres, aumentando su biodiversidad. Los peces y otros animales acuáticos presentes en los cursos de agua se benefician del control de la erosión y filtración de potenciales contaminantes en el agua, y de la regulación de la temperatura del agua por la protección de los árboles.

Diversidad de especies vegetales: los árboles en un ambiente agrícola o pratense proveen mayor diversidad, fortaleciendo al ecosistema y haciéndolo más saludable que sectores donde predominan los monocultivos.

Humanos: los árboles crean un paisaje estéticamente más agradable, proveen fuente de ingresos y actividades económicas.

Interrelaciones entre árboles, pradera o cultivos y animales

La densidad de la plantación tiene una influencia directa sobre las pasturas, en cuanto a su evolución, composición florística, producción de forraje y digestibilidad. En sistemas silvopastorales la estrata superior o arbórea juega un rol fundamental en la producción de forraje y en la gran mayoría de los casos condiciona su desarrollo. Según Sotomayor (2016), diversos parámetros forestales pueden ser usados para predecir y relacionar la influencia de la cubierta arbórea en el rendimiento de la pradera. Dentro de los parámetros más importantes, destaca la densidad del bosque (explicada en número de árboles, área basal (AB) y cobertura de copa (CC) por unidad de superficie), la que al aumentar puede provocar una disminución en la producción de forraje. Grelen y Loherey (1978) estudiaron la relación entre el rendimiento de la pradera y el AB, encontrando una fuerte relación entre estas dos variables. Señalan que un incremento en el AB de *Pinus palustris* afectó negativamente la producción de forraje, obteniendo un promedio de 1.153, 911 y 770 kg MS/ha para tratamientos con AB de 13,8, 18,4 y 23 m²/ha, respectivamente.

En relación a la CC, en estudio realizado en la Región de Aysén con *Pinus contorta*, Sotomayor *et al.* (2016) encontraron que este fue el mejor indicador de la producción de la pradera, superior al AB y al número de árboles (Figura 7.2.). Para analizar el efecto de los árboles, ordenado en sistema silvopastoral sobre la producción de la pradera, se ajustaron los parámetros AB y CC en relación a la producción pratense. El AB no mostró una buena correlación con la producción de pradera con $r^2=0,22$ y $r^2=0,35$ para sistema silvopastoral tradicional y en fajas respectivamente. En cambio, existe una relación positiva de la CC en relación con la pradera, con una correlación de $r^2=0,88$ y $r^2=0,69$ para el tratamiento silvopastoral tradicional y en fajas respectivamente (Figura 7.2.).

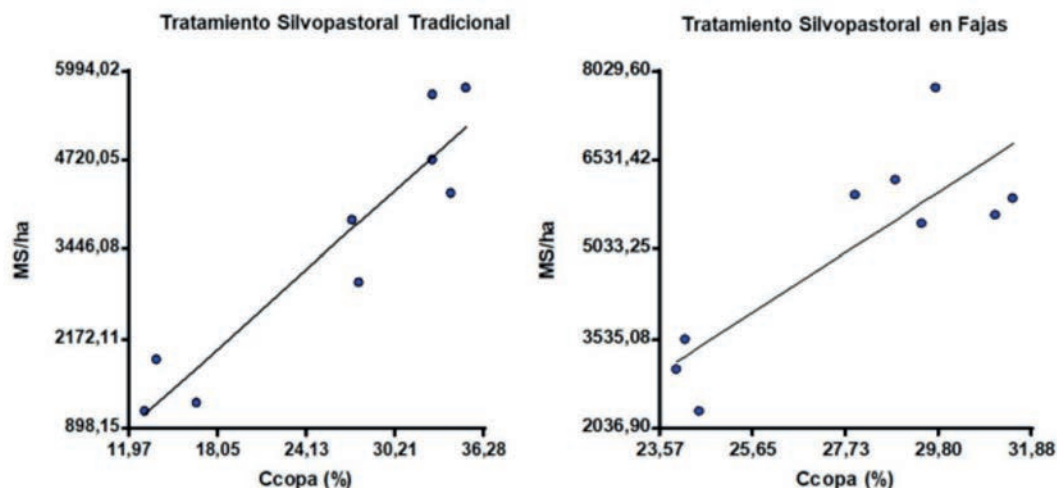


Figura 7.2. Regresión lineal cobertura de copa (CC%) - productividad pradera (kg MS/ha), a) silvopastoral tradicional y b) silvopastoral en fajas, temporadas 2004 a 2008, Unidad Agroforestal San Gabriel, Región de Aysén, Chile. Fuente: Sotomayor *et al.* (2016).

En los primeros años de desarrollo de un sistema silvopastoral establecido a baja densidad, no se produce una competencia que perjudique el desarrollo de la pradera, por el contrario, ocurre un efecto de complementación entre los componentes, aumentando la productividad de la pradera (Mead, 2009; Sotomayor y Cabrera, 2008). Este efecto se puede tornar negativo cuando las copas se desarrollan y cubren la superficie con hojarasca o acículas, y cuando por efecto del manejo forestal, como podas y raleos, los desechos originan el cubrimiento en la superficie perjudicando el desarrollo de la pradera y su consumo por los animales (Benavides *et al.*, 2008; Mead, 2009).

En un estudio realizado en Australia, en bosques de pino insigne (*Pinus radiata*), Anderson *et al.* (1988), demostraron el efecto de la densidad sobre la intercepción de luz solar, la incidencia en la producción de la pradera y la cantidad de animales que podía soportar el sistema (Cuadro 7.2.). A medida que la densidad aumentaba, la luz transmitida a través del dosel disminuía, reduciendo la producción de forraje y la capacidad de carga animal.

Cuadro 7.2. Edad, densidad del rodal, porcentaje de luz transmitida, producción de forraje y capacidad sustentadora animal, como porcentaje de una pradera sin árboles, en plantaciones silvopastorales de *Pinus radiata* en Australia.

Edad del rodal (años)	Densidad del rodal (árboles/ha)	Luz transmitida (%)	Producción de forraje (%)	Capacidad de carga animal (%)
6 - 7*	0	100	100	100
	100	81	87	82
	300	69	76	73
20**	0	100	100	100
	70	47	67	59
	150	24	39	24

Nota: *poda a 4 metros; **poda a 6 metros.
Fuente: Anderson *et al.*, 1988.

La competencia por agua y nutrientes bajo el suelo también es importante y debe ser considerada en el diseño y manejo del sistema; esta ocurre en la zona radicular y es importante en la selección de los componentes vegetales del sistema, ya que deben compartir diferentes zonas de interacción radicular y/o diferentes temporadas de crecimiento, de forma de no crear competencia entre ellos. Un ejemplo claro de esta interacción es al momento de plantación; si las plantas forestales están rodeadas por una pradera establecida, sufrirán un alto nivel de estrés debido a la competencia (Sotomayor, 2016), lo cual puede ocasionar mortalidad si no se realizan labores de control local de malezas (Mead, 2009).

Aspectos para considerar en el manejo y ordenación de sistemas silvopastorales

La densidad arbórea, el diseño o distribución espacial de los árboles en la superficie, los tratamientos silvícolas, el manejo de la pradera y animales, son aspectos de suma importancia para el buen resultado en un sistema silvopastoral. Para favorecer la entrada de luz al piso del bosque y la producción prateral y reducir la competencia bajo el suelo, en términos generales, la densidad de plantas a establecer en el terreno en un manejo con fines silvopastorales, es menor que en una plantación tradicional con fines de producción de madera, (Sotomayor, 2016).

Efecto de la distribución o arreglo espacial de los árboles

Diversos sistemas pueden ser usados para establecer una plantación silvopastoral, siendo los más frecuentes los sistemas homogéneos (distribución regular de los árboles sobre la pradera) o zonales (árboles y praderas desarrollándose en forma independiente en fajas de

árboles, pero adyacentes a la pradera). Si bien el primer sistema es el más usado, el segundo al parecer es el más conveniente cuando el objetivo es favorecer la producción praterense, ya que la pradera y los árboles pueden ser manejados en forma separada, optimizando la producción del sitio.

La distancia entre hileras en un sistema de manejo zonal es flexible y dependerá en parte del objetivo que se persiga, y si se considera o no el uso de maquinaria. Una típica geometría de plantación es aquella en hileras separadas cada 7 a 20 m con plantas distanciadas a 2 a 3 m sobre la hilera, o plantaciones en conglomerados (Sotomayor y Cabrera, 2008). Un mayor espacio entre las hileras permite desarrollar mejores actividades mecanizadas para la conservación de forraje. Con plantaciones dispuestas en hileras dobles o triples se obtienen mayores distancias entre hileras, manteniendo el mismo número de árboles. Con este sistema sería esperable algún grado de reducción en el volumen de madera, por la menor densidad inicial de plantación, y un aumento en la producción de la pradera por un menor sombreado por la menor cobertura de copa.

Lewis *et al.* (1985), en Estados Unidos, investigaron la producción de forraje en una plantación de *Pinus elliotti* de 13 años, establecida con una densidad de 1.157 árboles/ha con distintas distribuciones en el terreno, con hileras simples y dobles, y dejando una franja con pradera adyacente entre las hileras de árboles con anchos variables. Como se puede observar en Cuadro 7.3., la mayor producción de la pradera se obtuvo en el tratamiento D-3, con un ancho entre las hileras dobles de pino de 26,8 m.

Cuadro 7.3. Configuración espacial y cobertura de copa en plantaciones de *Pinus elliottii*, a una densidad de 1.157 árboles/ha, a la edad de 13 años, y producción de pradera.

Configuración espacial (m)	Tratamiento*	Área bajo la copa (%)	Área sin cobertura de copa (%)	Rendimiento pradera (MS kg/ha)
2,4 x 3,6 m	S-1	100	0	1.275
1,2 x 7,2 m	S-2	53	47	607
0,6 x 14,4 m	S-3	29	71	1.197
(1,8 x 2,4) x 7,2 m	D-1	60	40	1.509
(1,2 x 2,4) x 12,0 m	D-2	44	56	1.416
(0,6 x 2,4) x 26,8 m	D-3	20	80	2.882

S: hilera simple; D: hilera doble.
Fuente: Lewis *et al.*, 1985.

En un estudio realizado en la Región de Aysén, con *Pinus contorta* y pradera natural fertilizada compuesta principalmente por trébol blanco y pasto ovillo bajo un sistema silvopastoral, Sotomayor *et al.* (2016) encontraron que, en general, la mejor producción de la pradera en todas las temporadas la obtuvo el tratamiento silvopastoral en fajas (SSF) con un ancho de 21 m entre fajas, y con 400 árboles/ha; le siguió el sistema silvopastoral tradicional con

400 árboles/ha (SST) con árboles distribuidos homogéneamente en el terreno, y finalmente el sistema ganadero sin árboles (SG) (Cuadro 7.4), aunque en los últimos años no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos SST y SG. La peor temporada de producción fue el primer periodo de evaluación, 2004-2005, para los tres tratamientos, debido a que fue el primer año de producción después de la apertura del dosel en los tratamientos silvopastorales y la fertilización de la pradera.

Cuadro 7.4. Producción de la pradera por tratamiento y por temporada de crecimiento.

Tratamiento	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010
	kg MS ha ⁻¹ ± E.E.	kg MS ha ⁻¹ ± E.E.	kg MS ha ⁻¹ ± E.E.	kg MS ha ⁻¹ ± E.E.	kg MS ha ⁻¹ ± E.E.	kg MS ha ⁻¹ ± E.E.
T2 SST	1485,7 ^a ± 229	6109,7 ^a ± 846	4153,2 ^b ± 708	4330,9 ^{ab} ± 465	3423,6 ^b ± 432	3382,2 ^b ± 116
T3 SSF	2684,9 ^a ± 381	7181,6 ^a ± 470	6394,5 ^a ± 602	5359,7 ^a ± 313	5835,7 ^a ± 484	4756,1 ^a ± 181
T4 SG	2452,1 ^a ± 435	3832,1 ^b ± 591	3874,1 ^b ± 472	3513,6 ^b ± 470	4410,4 ^{ab} ± 597	3847,0 ^b ± 230
Produccion media	2207,6	5707,8	4807,3	4401,4	4556,6	3995,1

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Fuente: Sotomayor et al., 2016.

Efecto de los árboles sobre la producción y bienestar animal

La producción de forraje es el factor más importante que permite determinar la capacidad de carga animal de la pradera y, como consecuencia, su productividad está íntimamente relacionada con la disponibilidad de alimento (Peri *et al.*, 2001; Mead, 2009). A su vez, el número de animales que pueden ser mantenidos en la pradera bajo los árboles tiene un gran efecto sobre la rentabilidad del sistema.

Los sistemas integrados de árbol y pradera no solo benefician indirectamente la producción pecuaria, a través del mejoramiento de la productividad de las praderas, sino que además pueden beneficiar a los animales por la sombra y abrigo otorgado por los árboles, ayudándolos a disminuir el gasto metabólico de regulación de la temperatura corporal, por estrés calórico en verano y para generación de calor en invierno (Bird *et al.*, 1992; Quam *et al.*, 1994). Esto se traduce en un mejor uso de la energía proporcionada por la pastura, lo que origina una mayor ganancia de peso, mayor producción y mayores ingresos anuales.

El Cuadro 7.5. presenta el efecto del viento en la temperatura ambiental, donde a medida que la velocidad del viento aumenta, la temperatura ambiental se reduce y aumenta el riesgo de sobrevivencia para los animales. Por ejemplo, con temperatura exterior de 13°C y 40 km/hr del viento, la temperatura ambiental se reduce a -1°C. Las zonas destacadas con color indican las temperaturas de riesgo para los animales, el color amarillo indica temperaturas de riesgo alto y naranja de riesgo máximo de muerte. Con la misma velocidad del viento, pero con -12°C en situación de calma, la temperatura se reduce a -34°C, lo cual es una situación de riesgo alto para los animales (Quam *et al.*, 1994).

Todos los animales de sangre caliente deben mantener su temperatura corporal dentro de un rango o zona confortable, que en el caso de los bovinos es cercana a los 39°C. Cuando el animal es mantenido en una zona de termo-neutralidad, es decir, entre 5 y 20°C, no tendrá problemas para mantener dicha temperatura, basándose principalmente en la energía liberada producto de la fermentación ruminal, de la actividad motriz del retículo rumen y de los procesos metabólicos de su organismo (Quam *et al.*, 1994).

Cuadro 7.5. Velocidad del viento invernal (km/hr) y su relación sobre la disminución de la temperatura ambiente (°C), y aumento del riesgo para animales.

Tº exterior		13	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34
Velocidad del viento	Calma	13	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34
	8	9	3	-3	-9	-14	-21	-26	-32	-37
	16	4	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-43	-50
	24	2	-6	-13	-21	-28	-35	-43	-50	-58
	32	0	-8	-16	-23	-31	-39	-47	-55	-63
	40	-1	-9	-17	-26	-34	-42	-51	-59	-67
	48	-2	-11	-19	-28	-36	-45	-53	-62	-69
	56	-3	-12	-20	-29	-37	-47	-55	-63	-72
	64	-3	-12	-21	-29	-38	-47	-56	-64	-73
	72	-4	-13	-21	-30	-39	-48	-57	-65	-74
Zona de riesgo alto										
Zona de riesgo máximo										

Fuente: Adaptado de Quam *et al.*, 1994.

Este flujo de calor desde el animal al ambiente se produce en forma espontánea, movilizándose de zonas cálidas a zonas más frías. Este proceso permite que el animal se enfríe y el calor no se acumule. El problema se genera cuando este ambiente externo está por debajo de la zona de termo-neutralidad.

Cuando la temperatura del aire desciende, los animales deben gastar energía para mantener el calor corporal; cuando se aproxima el invierno muchas especies de animales desarrollan en forma natural un abrigo protector que los aísla de las bajas temperaturas. En el caso del ganado, la gruesa cubierta invernal le da protección hasta una temperatura de -7,8°C. Una temperatura inferior a esta le genera estrés y comienza a consumir alimento adicional para mantener la temperatura corporal (Quam *et al.*, 1994).

Bajo tales condiciones, el animal no solo cambiará aspectos de su comportamiento, como la alimentación y su desplazamiento (Redbo *et al.*, 1996), sino que además deberá destinar energía del alimento o de las reservas corporales para su termorregulación. Esta situación se traduce en un aumento en los requerimientos de energía de mantención, los que pueden

aumentar hasta en un 70%, disminuyendo la energía disponible para su crecimiento o producción (Cañas, 1995).

Como se ha indicado anteriormente, una cubierta de árboles ya sea en diseño silvopastoral, como cortinas cortavientos o en bosquetes, le otorga a los animales una protección muy significativa, en especial en los períodos invernales. Quam *et al.*, (1994) y Bird *et al.*, (1992) indican que una reducción del 33% en la velocidad del viento, desde 10 a 6,6 km/h, puede resultar en un 10% de ahorro de energía y un 55% de reducción de la velocidad del viento podría incrementar este ahorro a un 17,5%. Redbo *et al.*, (1996) señalan que la utilización de bosquetes, como parte de una implementación para el reparo de los animales durante el invierno, no solo reporta resultados productivos similares a los obtenidos por animales manejados bajo galpones (Cuadro 7.6), sino que disminuye también la situación de estrés de los animales y aminora los costos de inversión.

Cuadro 7.6. Efecto del lugar de suplementación invernal sobre el crecimiento de novillos.

Parámetros	Bosque acondicionado	Corral
Peso vivo inicial y final (kg/animal)	450,8	448,8
Crecimiento (kg/día/animal)	0,275	0,263
Consumo: diario de ensilaje (kg MS/animal)	11,6	10,5
Conversión del alimento (kg MS/kg animal)	42,4	40,1

Fuente: Redbo *et al.*, 1996.

Efecto del componente forestal sobre el microclima en sistemas agroforestales

Ha sido reportado por diversos/as autores/as el papel de los árboles en la modificación del microambiente en su entorno (Guevara-Escobar *et al.*, 2000; Mead, 2009; Sotomayor, 2016). Los aspectos del microclima más afectados por los árboles son la radiación solar que llega a los vegetales creciendo bajo la influencia de los árboles (Peri *et al.*, 2007; Mead, 2009), el viento, la humedad y la temperatura (Mead, 2009; Sotomayor, 2016)

En el estudio mencionado anteriormente, realizado en la Región de Aysén (Sotomayor *et al.*, 2016), se evaluó también el efecto de los árboles en la velocidad del viento, comparando dos sistemas silvopastorales con 400 árboles/ha, uno con árboles distribuidos uniformemente en el sitio (SST) y el segundo distribuido en fajas alternas (SSF) separadas cada 21 m, en relación con un tratamiento ganadero sin árboles (SG). El viento fue un 200% mayor en tratamiento SG en relación con los sistemas silvopastorales, y la menor velocidad se encontró en el tratamiento silvopastoral con árboles homogéneamente distribuidos.

En relación con la temperatura del ambiente Sotomayor y Teuber (2011) encontraron que no se presentaron grandes diferencias entre los tratamientos. De acuerdo con los resultados recogidos entre octubre de 2007 y febrero de 2008 se observó que el tratamiento silvopastoral en fajas (SSF) tuvo valores promedios para ese periodo, levemente mayores al tratamiento ganadero sin árboles (SG), de 10,2 °C y 9,9 °C respectivamente. En el periodo febrero a marzo 2008, estos valores bajaron a 7,9 °C para SSF, 7,7 °C para el tratamiento silvopastoral tradicional (SST) y 7,9 °C para el tratamiento SG.

En la dehesa española, Moreno *et al.* (2007) reportaron que la temperatura ambiental fue significativamente menor bajo la copa de árboles que sin cobertura en días cálidos, mientras que en días fríos la temperatura fue mayor bajo los árboles. Una tendencia similar se obtuvo con la temperatura del suelo. Bajo las copas la temperatura del suelo fue mayor en días fríos y menor en días cálidos. En estudio de Peri *et al.*, (2007), con pino radiata en Nueva Zelanda, encontraron que la temperatura media diaria fue similar bajo árboles que en situación abierta. En dos veranos analizados, la temperatura media bajo los árboles fue 0,4 °C mayor que en situación abierta y en invierno fue también 0,2 °C más cálida.

Bird *et al.*, (1992) estudiando el efecto de los árboles sobre la velocidad del viento, encontraron que en una cortina de pino insignis (*Pinus radiata*) de dos hileras con una altura de 20 m la máxima protección ocurría hasta una distancia de 6 veces la altura de los árboles (6H), con un 45% de la velocidad del viento en relación a una zona abierta; con *Cupressus macrocarpa*, de 1 hilera y 9 m de altura, a 6H la velocidad del viento fue de 25%, pero a 12H todavía había una reducción sustancial de la velocidad del viento (50-80% en relación a una situación sin árboles). Resultados similares fueron encontrados por Teuber *et al.*, (2009) en la zona de Coyhaique, Chile.

La protección de los árboles, aparte de reducir la velocidad del viento, también reduce su poder erosivo sobre los suelos. Bird *et al.*, (1992) encontraron que con una cortina de una hilera de *Eucalyptus gomphocephala* reducía en 62% el viento en relación con una situación abierta, pero en un estimado de su fuerza erosiva se reducía a 25%.

La intensidad de luz parece ser uno de los principales factores que influyen la producción herbácea bajo un estrato de árboles (Anderson *et al.*, 1969; Anderson *et al.*, 1988). En estudio de Anderson *et al.*, (1969) se encontró una relación directa entre cobertura de copa y luz que llega a la pradera. También McLaughlin (1978) expuso que la producción del componente vegetal en el sotobosque estaba fuertemente relacionada con la transmisión de luz a través del follaje de los árboles. En este caso, se encontró que la cobertura de copa de los árboles fue el principal parámetro que afectó la penetración de la luz y la producción herbácea.

La intensidad de luz bajo los árboles depende de su espaciamiento dado que con un incremento de la densidad resulta en un incremento de la sombra (Wall *et al.*, 1997). Situación similar fue encontrada por Burner y Brauer (2003) y Moreno *et al.*, (2007) con una mayor transmisión de luz a medida que se aleja de los árboles. La transmisión de luz en un rodal de pino radiata de 7 años con 100 árboles/ha fue un 81% en relación con una pradera descubierta y de 69% con 300 árboles/ha (Burner y Brauer, 2003). La penetración de la luz varía también entre especies, debido a diferencias en la arquitectura del árbol; se ha descrito la altura, tamaño de la copa, número y distribución de ramas, densidad foliar, área y ángulo de hojas, características de refractancia (McAdam, 1996) y variación estacional en crecimiento del follaje (deciduas y perennes), como factores que afectan la penetración de la luz.

Anderson *et al.*, (1988) indican igualmente que la reducción de la producción de la pradera está relacionada con una interacción de competencia por luz, humedad en el suelo y nutrientes, y por el efecto de la acumulación de desechos producto de podas y raleos. En zonas templadas, especialmente cuando ocurren periodos de sequía estival, la competencia por agua es otro factor importante que limita el desarrollo de una pastura (Peri *et al.*, 2002). En sistemas silvopastorales los árboles modifican la cantidad de agua que ingresa al suelo y a la pradera. Algunos estudios han reportado que el suelo bajo árboles tiene menor contenido de agua que en un suelo descubierto (Douglas *et al.*, 2001; McIvor *et al.*, 2003). Guevara-Escobar *et al.*, (2000), reportaron que el agua de lluvia recibida bajo bosques de álamo (*Populus deltoides*) fue de un 34, 24, 10 y 6% menor en rodales con densidad de 37 árboles/ha (29 años), 100 árboles/ha (8-11 años), 44 árboles/ha (15 años) y 156 árboles/ha (6 años). En el estudio de Peri *et al.*, (2007) se encontró que las pasturas bajo árboles creciendo en verano y otoño tuvieron 2,5% menos de contenido de agua en el suelo. También indican que en invierno y primavera los tratamientos no tuvieron estrés de agua en el suelo, dado que el contenido estuvo sobre la capacidad de campo promedio.

Comentarios finales

Para lograr la adopción de la agroforestería como una práctica habitual en el manejo de los predios, son muy importantes los instrumentos de fomento, particularmente en la decisión de pequeños/as y medianos/as propietarios/as, que son los más beneficiados/as con los sistemas agroforestales debido a su escala de trabajo y a la diversificación productiva que estos propician.

Desde que expiró la vigencia del DL 701 de fomento forestal en el año 2012, las tasas anuales de forestación en el país han caído dramáticamente y son justamente estos segmentos de propietarios/as los más afectados/as por la falta de incentivos del Estado. Sin embargo, es necesario perfeccionar los instrumentos de fomento existentes y diseñar nuevos para la promoción, esta vez, de sistemas agroforestales, que consideren la integralidad de ellos en sus componentes leñosos, práticos y animales, como también en la protección de los recursos suelo y agua.

La consolidación del uso de estos sistemas integrados de producción requiere de la concurrencia simultánea de investigación, demostración, difusión y transferencia, así como de instrumentos de fomento y recursos financieros. En la actualidad, no existen iniciativas de fomento diseñadas específicamente para sistema agroforestales; la disponible, como el Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S), termina el año 2022, por lo que se hace indispensable la incorporación de estas propuestas en el futuro instrumento.

Referencias

- Altieri, M. (Ed.). (1999).** *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable.* Editorial Nordan-Comunidad. https://www.icia.es/icia/download/Agroecolog%C3%ADa/Material/Agricultura_sustentableII.pdf
- Anderson, R. C., Lochus, O. L., and Swain, A. M. (1969).** Herbaceous response to canopy cover, light intensity and throughfall precipitation in coniferous forests. *Ecology*, 50(2), 255-263. doi:10.2307/1934853
- Anderson, G.W., Moore, R.W and Jenkins, P.J. (1988).** The integration of pasture, livestock and widely-spaced pine in South West Western Australia. *Agroforestry Systems*, 6(1-3), 195–211. doi:10.1007/BF02344759
- Benavides, R., Douglas, G. B., and Osoro, K. (2008).** Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agroforestry Systems*, 76(2), 327–350. doi:10.1007/s10457-008-9186-6

- Bird, P. R., Bicknell, D., Bulman, P. A., Burke, S. J., Leys, J. F., Parker, J. N., Van Der Sommen, F. J. and Voller, P. (1992).** The role of shelter in Australia for protecting soils, plants and livestock. *Agroforestry Systems*, 20(1-2), 59-86. doi:10.1007/978-94-011-1832-3_3
- Burner, D. and Brauer, D. (2003).** Herbage responses to spacing of Loblolly Pine trees in a minimal management silvopasture in southeastern USA. *Agroforestry Systems*, 57(1) 69-77. doi:10.1023/A:1022943224478
- Cañas, R. (1995).** Requerimientos nutricionales en R. Cañas (Ed.), *Alimentación y nutrición animal*. Pontificia Universidad Católica de Chile. 37p.
- Douglas, G., Walcroft, A., Wills, B., Hurst, S., Foote, A., Trainor, K. and Fung, L. (2001).** Resident pasture growth and the micro-environment beneath young, widely-spaced poplars in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 63, 131-138. doi:10.33584/jnzg.2001.63.2441
- Grelen, H. and Loherey, R. (1978).** *Herbage yield related to basal area and rainfall in a thinned Longleaf plantation*. USDA. Forest Service. Res. Note SO-232. https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/rn/rn_so232.pdf
- Guevara-Escobar, A., Edwards, W., Morton, R., Kemp, P. and MacKay, A., (2000).** Tree water use and rainfall partitioning in a mature Poplar-pasture system. *Tree Physiology*, 20(2), 97-106. doi:10.1093/treephys/20.2.97
- Lewis, C., Tanner, G. and Terry, W. (1985).** Double vs. Single row Pine plantation for wood and forage production. *Southern Journal of Applied Forestry*, 9(1), 55–61, doi:10.1093/sjaf/9.1.55
- McAdam, J.H. (1996).** Vegetation change and management in temperate agroforestry systems. *Aspects of Applied Biology*. 44, 95-100.
- McIvor, I., Hurst, S., Fung, L., Van Der Dijssel, C., Douglas, G. and Foote, L. (2003).** Silvopastoral management of veronese poplars on an erosion-prone hillslope in L. Currie, R. Stewart and C.W. Anderson (Eds). *Environmental management using soil-plant systems*. Fertilizer and Lime Research Centre. Massey University, New Zealand.
- McLaughlin, S. P. (1978).** Overstory Attributes, Light, Throughfall, and the Interpretation of Overstory-Understory Relationships, *Forest Science*, 24(4)550–553. doi:10.1093/forestscience/24.4.550
- Mead, D. (2009).** Biophysical interactions in silvopastoral systems: A New Zealand perspective en Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Ed.) *Actas del 1^{er} Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*.
- Moreno, G., Obrador, J. and García, A. (2007).** Impact of evergreen Oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119(3-4), 270-280. doi:10.1016/j.agee.2006.07.013

- Nair, P. K. R. (1987).** Soil productivity under agroforestry in H.L. Gholz, N. Martinus and W. Junk (Eds.) *Agroforestry Realities, Possibilities and Potentials*. Dordrecht.
- Nair, P.K.R., Kumar B.M., Nair V.D. (2009).** Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1), 10–23. doi:10.1002/jpln.200800030
- Peri, P., Varella, A., Lucas, R. and Moot, D. (2001).** Cocksfoot and lucerne productivity in a *Pinus radiata* silvopastoral system: a grazed comparison. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 63,139-147. <https://hdl.handle.net/10182/4575>
- Peri, P., Mason, E., Pollok, K., Varella, A. and Mead, D. (2002).** Early growth and quality of radiata pine in a silvopastoral system in New Zealand. *Agroforestry Systems*, 55, 207–219. doi:10.1023/A:1020588702923
- Peri, P., Lucas, R. and Moot, D. (2007).** Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforestry Systems*, 70(1) 63–79. doi:10.1007/s10457-007-9029-x
- Quam, V., Johnson, L., Wight, B. and Brandle. (1994).** *Windbreaks for Livestock Operations*. University of Nebraska Cooperative Extension EC 94-1766-X. 9p. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1836&context=extensionhist>
- Redbo, I., Mossberg, I., Ehrlemark, A. and Ståhl-Hógborg, S. (1996).** Keeping growing cattle outside during winter: behavior, production and climatic demand. *Animal Science*. 62(1),35-41. doi:10.1017/S1357729800014284
- Sotomayor, A. y Cabrera, C., 2008.** Análisis de un sistema silvopastoral con *Pinus radiata* D. Don, asociado con ganado ovino en la zona mediterránea costera central de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*, 14(2),269-286. doi:10.52904/0718-4646.2008.105
- Sotomayor, A., Teuber, O. y Moya, I. (2009).** Resultados y experiencia sobre manejo de sistemas silvopastorales en la región de Aysén en O. Teuber (Ed.), *Sistemas Agroforestales para la Región de Aysén. Cortinas Cortaviento y silvopastoreo* (pp: 165-199). Instituto de Investigaciones Agropecuarias e Instituto Forestal. Santiago, Chile.
- Sotomayor, A. y Teuber, O. (2011).** Evaluación del efecto de los árboles manejados bajo ordenación silvopastoral en los parámetros climáticos del sitio, en relación a un manejo ganadero sin árboles. *Ciencia e Investigación Forestal*, 17(1),23-40. doi:10.52904/0718-4646.2011.357
- Sotomayor, A., Schmidt, H., Salinas, J., Schmidt, A., Sanchez-Jardon, L., Alonso, M., Moya, I. and Teuber, O. (2016).** Silvopastoral Systems in the Aysen and Magallanes Regions of the Chilean Patagonia in P. Peri, F. Dube and A. Varella (Eds.) *Silvopastoral Systems in Southern South America. Advances in Agroforestry*, 11, 213-320. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-24109-8_9

- Sotomayor, A. (2016).** Introducción a los sistemas agroforestales y las interacciones entre sus componentes en A. Sotomayor y S. Barros (Eds.) *Los Sistemas Agroforestales en Chile* (Cap 1. pp. 09-56). Instituto Forestal. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/21189>
- Teuber, O., Moya, I. y Sotomayor, A. (2009).** Resultados y experiencia en producción de cultivos forrajeros con cortinas adultas en la Región de Aysén en O. Teuber (Ed.), *Sistemas Agroforestales para la Región de Aysén. Cortinas Cortaviento y silvopastoreo* (pp: 85-128). Instituto de Investigaciones Agropecuarias e Instituto Forestal. Santiago, Chile.
- Teuber, O., Sotomayor, A., Moya, I. y Salinas J. (2016).** Cortinas Cortavientos y su Impacto en la Producción Agropecuaria de la Región de Aysén en A. Sotomayor y S. Barros (Eds.), *Los Sistemas Agroforestales en Chile*. (Cap 9. pp. 209-230). Instituto Forestal, Santiago, Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/21189>
- Wall, A., Mackay, A., Kemp, P., Guillingham, A. and Edwards, W. (1997).** The impact of widely spaced soil conservation trees on hill pastoral systems. *Proc. NZ. Grassl. Assoc*, 59, 1771-177. <https://doi.org/10.33584/jnzg.1997.59.2238>



Cosecha de remolachas (1911). Leon Jan Wyczółkowski.

La fertilidad del suelo es la capacidad de hacer producir, un suelo más fértil no es aquel que presente mayores niveles de indicadores químicos de fertilidad, sino aquel con mayor capacidad para aumentar la producción de las especies, en una rotación de cultivos correctamente seleccionada, en función de la aptitud agrícola de ese suelo. La imagen representa la cosecha de remolacha y la utilización de los rastrojos para el alimento de los animales que se distinguen en el fondo.



Capítulo 8

Herramientas de manejo nutricional en sistemas sostenibles

Juan Hirzel C.¹

El recurso suelo en agricultura es un sistema dinámico que comprende propiedades físicas, químicas y biológicas, que interactúan con diferentes magnitudes en función de agentes formadores del mismo suelo, agentes climáticos y del manejo realizado por los agricultores.

Históricamente en la agricultura se ha dado mayor importancia a las propiedades químicas, lo cual ha afectado en muchos casos negativamente el desarrollo y evolución de las propiedades biológicas y, en algunos casos, de las propiedades físicas.

Una definición general y muy completa de la fertilidad del suelo es la capacidad de hacer producir, de esta forma, el suelo más fértil no es aquel que presente mayores niveles de indicadores de fertilidad química, sino aquel suelo que presenta mayor capacidad para aumentar la producción de una determinada especie agrícola o de un grupo de especies, dentro de una rotación de cultivos correctamente seleccionada en función de la aptitud agrícola de este suelo.

A la fecha muchos estudios han demostrado que las propiedades físicas del suelo pueden explicar hasta en un 70% la respuesta de producción de un cultivo en función de las propiedades del suelo (Hirzel y Matus, 2013). En menor magnitud serán importantes las propiedades químicas del suelo.

En la actualidad se ha demostrado también que las propiedades biológicas del suelo pueden contribuir a incrementar la productividad y calidad de los cultivos agrícolas, sobre todo cuando se trata de alimentos de consumo en fresco que deben ser almacenados en condiciones de frío o en condiciones de anaquel. De esta forma, cada vez es más usual la realización de prácticas de manejo que favorezcan el desarrollo de la biomasa benéfica del suelo, o que no perjudiquen su normal desarrollo en el suelo.

¹ Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Dr. INIA Quilamapu. jhirzel@inia.cl

En la práctica, se están realizando aplicaciones de consorcios microbianos o de extractos de biomasa benéfica generados por procesos de bioreacción aeróbica como el té de compost o té de humus. Al respecto, varios estudios han demostrado el efecto benéfico en aumento de producción de especies indicadoras cuando se emplea té de compost o té de humus, como el señalado por Hirzel et al. (2012) y que se presenta en las Figura 8.1.

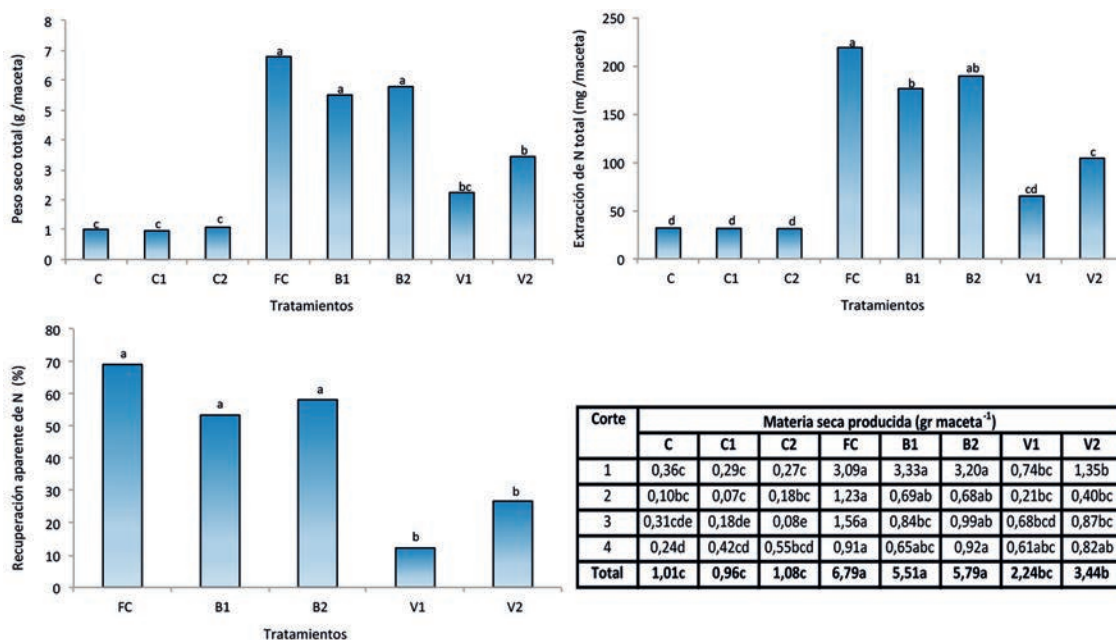


Figura 8.1. Producción de materia seca total (arriba izquierda), extracción de total de nitrógeno (N) (arriba derecha) y eficiencia de la fertilización nitrogenada (abajo izquierda) en ballica cultivada en macetas, frente a diferentes tratamientos de fertilización química con y sin aplicación de té de compost o controles con y sin aplicación de té de compost. Letras distintas sobre las columnas indican diferencia significativas entre tratamientos.

Otra práctica que contribuye al aumento de la vida de la biomasa del suelo y la construcción de suelo es la aplicación de humus, ya sea en forma de ácidos húmicos y/o fúlvicos. Estos compuestos se caracterizan por su alta estabilidad estructural, capacidad de acumulación y movimiento de agua y oxígeno, y por mejorar la condición de crecimiento de raíces nuevas y biomasa benéfica, entre otras ventajas asociadas a propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. A modo de ejemplo, en la Figura 8.2., se presenta el efecto de la aplicación de ácidos húmicos en la producción de fitomasa en huertos de nogal y cerezo, de primer año.

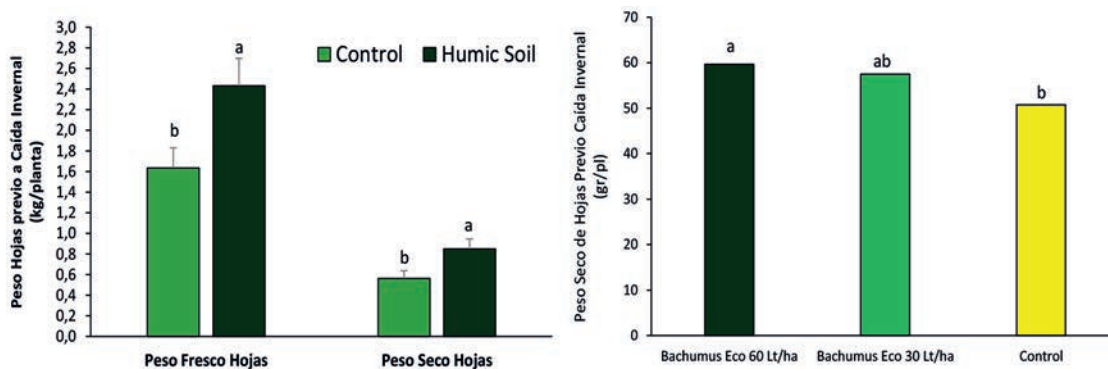


Figura 8.2. Izquierda: efecto de la aplicación de ácidos húmicos aplicados en octubre y noviembre de 2019, sobre la producción de fitomasa (peso fresco y seco) de nogal, previo a la caída invernal (mayo de 2020), primera temporada 2019-2020. Los Tilos, Buin, Chile. Derecha: Producción de fitomasa (peso seco) de cerezo variedad Regina sobre porta injerto Gisella 6, cultivado en maceta, previo a caída invernal, frente a la aplicación de dosis crecientes de ácidos húmicos más biomasa benéfica (Bachumus ECO). Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, para peso fresco o seco.

Otras herramientas que aportan materia orgánica y nutrientes en sistemas de producción sostenible son el compost, vermicompost, abonos verdes y guanos compostados. A modo de ejemplo, en la Figura 8.3. se presenta la evolución en la disponibilidad de N, fósforo (P) y potasio (K) en un suelo enmendado con compost en dosis de 45 t/ha en condiciones de incubación de suelos en laboratorio.

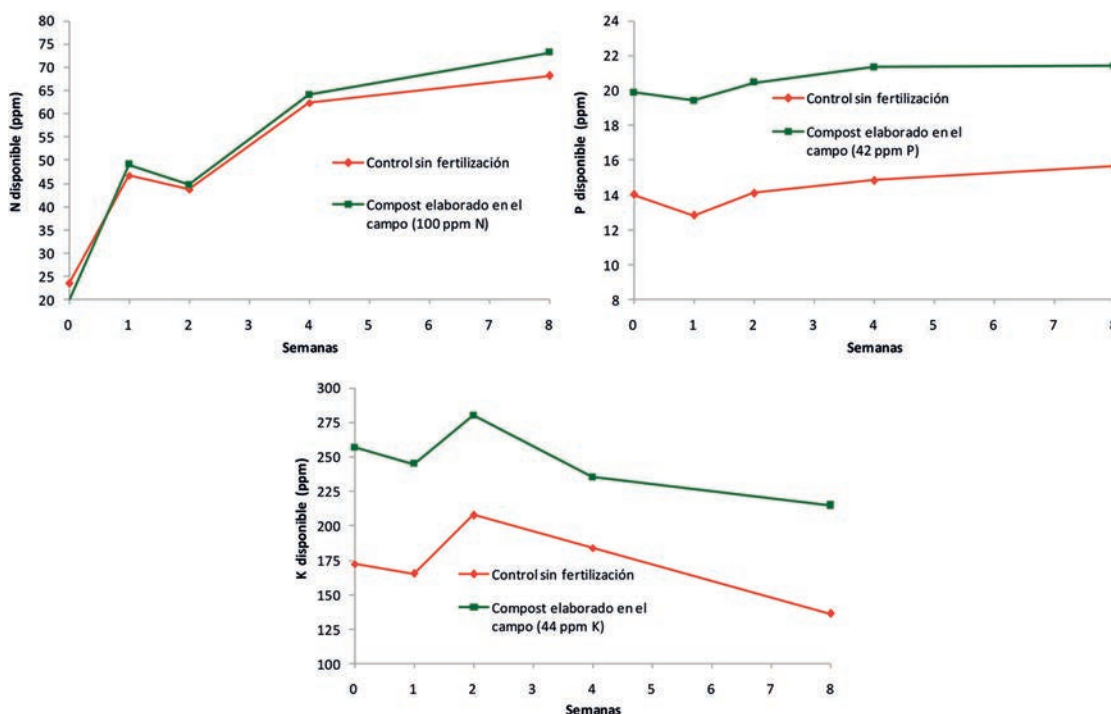


Figura 8.3. Evolución en la disponibilidad de nitrógeno (N) (izquierda), fósforo (P) (derecha) y potasio (K) (abajo), en un suelo enmendado con compost de origen vegetal, aplicado en dosis equivalente de 45 t/ha (100 ppm de N total).

En general el aporte de nutrientes con el uso de compost, humus o enmiendas compostadas es muy similar en dinámica de entrega al realizado con el uso de fertilizantes convencionales, excepto para el N. Esto ocurre porque gran parte del N presente en las enmiendas orgánicas se encuentra formando estructuras orgánicas de diferente grado de polimerización, que se conocen como pooles activos, parcialmente activos o altamente estructurados (inactivos), y una pequeña fracción se encuentra como N inorgánico (amonio NH_4^+ y nitrato NO_3^-). La fracción de N orgánico debe ser mineralizada para generar N disponible para las plantas. Para entender la mineralización de N de las enmiendas orgánicas se requiere predecir la liberación de N disponible tanto a corto como a largo plazo, y con ello evitar altos niveles de acumulación de N en el suelo, los cuales quedan sujetos a pérdidas en el ambiente (Chadwick *et al.*, 2000) y contaminación. En una forma práctica, el N de las enmiendas orgánicas puede ser dividido en cuatro fracciones (Chescheir *et al.*, 1986):

- N inorgánico, normalmente en su forma de NH_4^+ , el cual puede ser utilizado directamente por varios cultivos, transformado a NO_3^- disponible para las plantas, o ser perdido en el ambiente.
- N orgánico rápidamente mineralizable, principalmente urea que es fácilmente transformada a NH_4^+ .
- N orgánico mineralizable a mediano plazo, compuestos nitrogenados que son mineralizados por microorganismos del suelo en pocos meses.
- N orgánico de lenta mineralización, complejos orgánicos que son resistentes a la descomposición microbiana y que pueden tomar años para ser mineralizados.

Inmediatamente después de la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo, ocurren los procesos de inmovilización y mineralización, los cuales determinan la tasa de mineralización del N orgánico y por ende la disponibilidad de este nutriente en el suelo (Castellanos y Pratt, 1981). Algunos estudios han mostrado que la aplicación de compuestos orgánicos al suelo incrementan la biomasa microbiana y la actividad enzimática extracelular, al compararlas con aplicaciones de fertilizantes inorgánicos (Paul *et al.*, 1993; Zaman *et al.*, 2006). El resultado de este incremento en la masa microbiana es la inmovilización del N aportado por los compuestos orgánicos, siendo la magnitud y duración de este proceso dependiente de: el tipo de compuesto orgánico, la temperatura, humedad del suelo y textura de suelo (Castellanos y Pratt, 1981; Flowers y Arnold, 1983; Chescheir *et al.*, 1986, Chadwick *et al.*, 2000).

Por otra parte, varios estudios han mostrado una alta correlación entre la relación inicial de carbono:nitrógeno (C/N) del compuesto orgánico y la mineralización neta de N, los cuales sugieren que una relación de 15:1 es el valor crítico, y por tanto sobre este valor ocurre inmovilización y bajo este valor ocurre mineralización del N contenido en dicho compuesto (Kirchmann, 1985; Serna y Pomares, 1991). Sin embargo, resultados de algunos estudios discrepan con esta información señalando que solo existiría una débil relación (Floate, 1970)

o no existiría relación (Castellanos y Pratt, 1981) entre estos parámetros. Estos resultados contradictorios pueden ser atribuidos en parte a los distintos tiempos de incubación y condiciones experimentales utilizadas. En algunos experimentos las conclusiones han sido basadas en cortos períodos de incubación, de solo semanas, en donde se pueden subestimar los valores del potencial de mineralización, dado que en su fase inicial el proceso de inmovilización es el que domina la disponibilidad de N.

Como se mencionó anteriormente, la relación C/N es generalmente utilizada para caracterizar el potencial de mineralización de los compuestos orgánicos que ingresan al suelo, sin embargo Jansson y Persson (1982) señalan que es realmente la relación energía: N la que controla esta transformación, en donde el factor determinante es el suministro de carbono del compuesto orgánico como fuente de energía para el crecimiento microbiano. En este contexto, la presencia de ácidos grasos volátiles en compuestos orgánicos juega un rol importante durante los días inmediatamente posteriores a su aplicación al suelo, representando un recurso de C de fácil descomposición para ser utilizado por los microorganismos (Patni y Jui, 1985; Kirchmann y Lundvall, 1993; Sørensen, 1998; Jensen *et al.*, 2000).

En el mismo contexto, los resultados experimentales para la mineralización del N orgánico contenido en las enmiendas orgánicas indican que esta mineralización, en muchos casos, puede ser representada con ecuaciones matemáticas simples (Hirzel, 2007; Hirzel *et al.*, 2010; Tyson y Cabrera, 1993), según se indica en la ecuación 1.

Ecuación 1.

N total (kg/ha/año)	=	N inorgánico inicial (kg/ha)	+	(N orgánico inicial (kg/ha)	×	tasa de mineralización) (valor decimal)
-------------------------------	----------	--	----------	---------------------------------------	----------	---

La cantidad de N inorgánico inicial se obtiene desde el análisis de la enmienda orgánica y corresponde a la suma del N a la forma de amonio (N-NH₄⁺) y nitrato (N-NO₃⁻). Esta suma normalmente viene expresada en porcentaje, por lo cual la cantidad de N inorgánico se obtiene con la ecuación 2.

Ecuación 2.

N inorgánico (kg/ha)	=	Dosis de enmienda (t/ha)	×	materia seca (%/100)	×	(N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻) (%/100)	×	1000
--------------------------------	----------	------------------------------------	----------	--------------------------------	----------	---	----------	-------------

Las tasas de mineralización para las principales enmiendas orgánicas usadas en agricultura se indican en el cuadro 8.1.

Cuadro 8.1. Tasas de mineralización de N orgánico en diferentes enmiendas orgánicas durante la misma temporada de aplicación.

Enmienda orgánica	Tasa de mineralización de N orgánico de diferentes enmiendas orgánicas durante el primer año de aplicación (%)
Compost de origen vegetal y animal	25 - 40
Compost de cerdo	40 - 50
Guano de bovinos de engorda	40 - 50
Guanos de broiler y pavo	60 - 70
Guano de Cerdo	60 - 70
Purines de Cerdo	90 - 95

Fuente: Adaptado de Hartz et al., 2000; Hirzel et al., 2010; Laos et al., 2000; Preusch et al., 2002; Redman et al., 1989; Rogers et al., 2001; Tyson y Cabrera, 1993; Whalen et al., 2000.

Dada la alta variación cualitativa obtenida en la caracterización de las diferentes enmiendas orgánicas (compuestos orgánicos), para la aplicación de la ecuación planteada es necesario contar con un análisis inicial de la enmienda a utilizar que indique el contenido de N total, orgánico e inorgánico (amonio + nitrato).

Por ejemplo, si se aplican 15 t/ha de compost de origen vegetal, con un contenido de humedad de 50%, N total de 1% y N inorgánico de 0,2%, entonces el N total aportado con la aplicación incorporada del compost sería el siguiente (ecuaciones 1 y 2) (considerar un 25% de tasa de mineralización del N orgánico, cuadro 8.1):

$$7.500 \text{ kg de materia seca} = (15 \text{ t} * 0,50 * 1.000 \text{ kg/t}).$$

$$\text{N orgánico} = 0,8\% (1\% - 0,2\%)$$

$$\text{N total (kg/ha/año)} = \text{N inorgánico inicial (kg/ha)} + (\text{N orgánico inicial (kg/ha)} * 0,25)$$

$$\text{N total (kg/ha/año)} = 7.500 * 0,002 + (7.500 * 0,008 * 0,25)$$

$$\text{N total (kg/ha/año)} = 15 + (60 * 0,25) = 30$$

Además del aporte de nutrientes en la misma temporada de aplicación de una enmienda orgánica, también se genera un aporte residual de N para la temporada siguiente, el cual comprende entre el 10 a 15% del N total aplicado (Hirzel *et al.*, 2007b). Por tanto, cuando se usan enmiendas orgánicas todas las temporadas, la dosis de esa enmienda debe reducirse dado el aporte residual de N que comienza a ser acumulativo en el tiempo, llegando a una dosis equivalente al 85 o 90% del N disponible necesario para el cultivo que se desee fertilizar.

Fertilizantes con registro orgánico para uso en agricultura

Con el desarrollo de la producción orgánica, integrada y sostenible se han ido generando productos acordes a las exigencias de estos sistemas de producción, dentro de los cuales se encuentran los fertilizantes, principalmente de base nitrogenada, para aplicación tanto en cobertera como en sistemas de fertirrigación. A su vez, se cuenta con fertilizantes de base fosforada como las rocas fosfóricas, normalmente de solubilidad muy relativa y asociada al pH o grado de acidez del suelo (mejor solubilidad con pH inferior a 5,5, y muy baja solubilidad cuando el pH es mayor a 6,0). Existen también otros fertilizantes de base potásica (sulfatos de potasio como Hortisul y Alganic Potassium, por ejemplo), de base magnésica (silicatos de magnesio), de base cálcica (cales de concha y fuentes de calcio asociadas a ácidos carboxílicos), entre otros. También cabe mencionar microorganismos solubilizadores de nutrientes (principalmente quimio autotróficos), como por ejemplo hongos y bacterias solubilizadoras de P y en algunos casos de K.

Debido a que la oferta de estos fertilizantes es cada vez mayor, es importante considerar dos aspectos técnicos previo a la elección del fertilizante: el primero de ellos es la dinámica de entrega del nutriente que aporta, es decir, la velocidad con la cual está haciendo entrega del nutriente; el segundo, la tasa de entrega neta del nutriente, es decir, qué porcentaje del total de nutriente presente en el producto estará realmente disponible para el cultivo.

Al respecto, trabajos realizados en Chile (Hirzel *et al.*, 2018 y 2019) y en el mundo han logrado caracterizar la dinámica de entrega de nutrientes en tres categorías en relación a la velocidad de liberación del nutriente, después de aplicado, bajo condiciones controladas de incubación (25°C y 80% de la humedad aprovechable): entrega rápida, libera una cantidad mayor al 60% en los primeros 7 días; entrega moderada, libera una cantidad mayor al 60% en un periodo de 28 días; entrega lenta, libera una cantidad menor al 60% en un periodo de 28 días. Respecto a la tasa de entrega neta, se pueden clasificar en baja tasa, entrega menos del 30% del nutriente contenido; de entrega media, entrega entre el 31 y 60% del nutriente contenido; de entrega alta, cuya entrega es mayor al 61% del nutriente contenido.

A modo de ejemplo, en la Figura 8.4. se presenta, como promedio de estudio en 3 suelos de Chile, la dinámica y tasa de entrega de diferentes fertilizantes nitrogenados con registro orgánico, en comparación a fertilizantes de referencia como la urea y el salitre potásico.

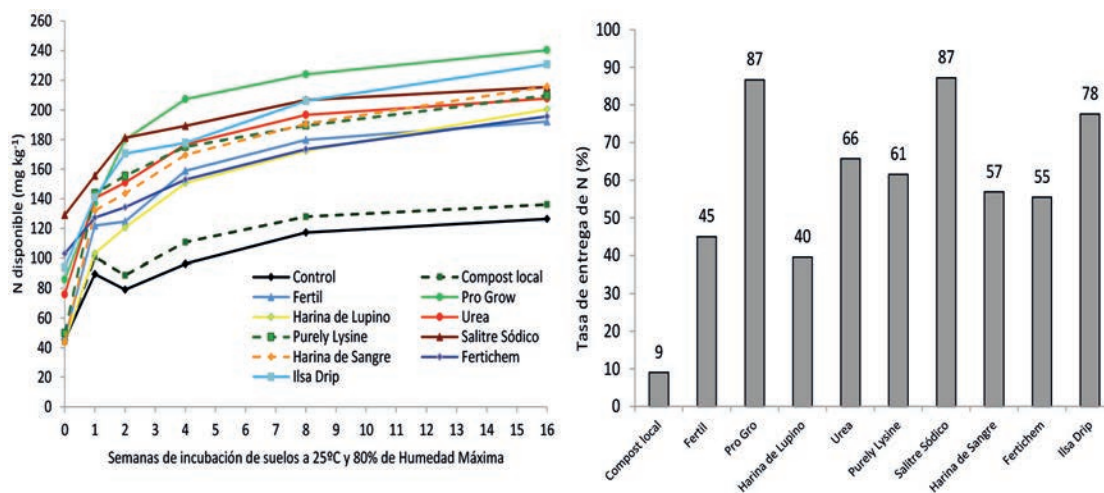


Figura 8.4. Evolución de la disponibilidad de N (izquierda) y tasa de entrega neta de N (derecha), bajo condiciones controladas de incubación de suelos (promedio de 3 suelos) desde 10 fertilizantes nitrogenados comercializados en Chile, de los cuales 8 cuentan con registro orgánico.

De la figura 8.4 (izquierda) se puede desprender que los fertilizantes nitrogenados con registro orgánico y como promedio de los 3 suelos evaluados, solo el salitre sódico y Pro Grow presentan una entrega rápida, en tanto que los fertilizantes Fertil, Ilsa Drip, y Purely Lysine, presentan entrega moderada. Por su parte, el compost, la harina de lupino y el Fertichem presentan una lenta entrega de N. Del mismo modo, de la figura 8.4. (derecha) se desprender que los fertilizantes nitrogenados con registro orgánico Pro Grow, Purely Lysine, salitre sódico e Ilsa Drip, presentan una alta tasa de entrega Neta de N, en tanto que los fertilizantes Fertil, harina de lupino y Fertichem presentan una tasa de entrega neta media. El compost por su parte, presentan una baja tasa de entrega neta de N.

La velocidad de entrega de nutrientes permite seleccionar los productos a emplear en función de la fenología de extracción de nutrientes de cada especie vegetal, aplicando productos de entrega rápida en periodos de alta demanda diaria o tasa de extracción diaria de ese nutriente o de varios nutrientes, fertilizantes de entre media en periodos de consumo moderado de algún nutriente y fertilizantes de entrega lenta en periodos de baja tasa de consumo de nutrientes o de algún nutriente en particular. Regularmente los productos de entrega lenta de nutrientes, como los compost, se aplican en otoño o invierno; en tanto, los productos de entrega media de nutrientes, como la harina de lupino, se aplican a inicios de primavera; y los productos de entrega rápida de nutrientes se emplean en periodos de crecimiento activo del cultivo (N, magnesio y calcio, por ejemplo) o de alta demanda de nutrientes para el llenado de frutos (K por ejemplo).

Por ello las enmiendas orgánicas como el compost, vermicompost y bokashi no son consideradas fertilizantes propiamente tal, en la agricultura con criterios agroecológicos, ya que su función principal es aumentar la actividad biológica y mejorar la estructura del suelo y es secundario el aporte de nutrientes.

La tasa de entrega neta de nutrientes permite definir dosis a emplear de cada producto, cuando se compara con algún producto de referencia cuyo efecto y dosis de aplicación es conocido en un cultivo. Por ejemplo, si un productor convencional ha comenzado un sistema de producción orgánica, y anteriormente usaba una dosis de 90 kg de N como urea, pero ahora quisiera emplear, por ejemplo, el producto Pro Grow (13% de N), la dosis del producto Pro Grow sería de 525 L/ha y se determina empleando la ecuación 3.

Ecuación 3.

$$\text{Dosis Producto 2} \frac{\text{kg/ha}}{\text{kg/ha}} = \frac{(\text{Dosis de nutriente Producto 1})}{\% \text{ nutriente producto 2/100}} \times \frac{\text{Tasa entrega Neta Producto 1}}{\text{Tasa entrega Neta Producto 2}}$$

Para el ejemplo de cálculo de dosis de Pro Grow, utilizando la ecuación 3 se tiene lo siguiente:

$$\text{Dosis Pro Grow (L/ha)} = \frac{90}{13/100} \times \frac{66}{87} = \frac{5.940}{11,31} = 525 \text{ L/ha}$$

Efectos de las enmiendas orgánicas en los suelos

La materia orgánica de un suelo comprende diferentes fracciones o pools dentro de las cuales se destaca la fracción estable o pasiva que comprende las sustancias húmicas y fúlvicas, y la fracción activa que comprende a la biomasa y los productos en descomposición y de resíntesis. La materia orgánica es un componente muy importante en la productividad de un cultivo, dadas todas las ventajas asociadas a esta propiedad del suelo, dentro de las cuales destacan las siguientes (Fronning *et al.*, 2008; Herencia *et al.*, 2007; Hirzel *et al.*, 2007a, b; Hirzel y Walter, 2008; Hirzel *et al.*, 2009):

- Estructura favorable del suelo, participando en la agregación de partículas finas y elementos de agregación de partículas (cationes como el calcio), de manera tal que mejora la circulación de agua y aire dentro de este suelo.
- Retención de humedad favorable a la planta. El incremento paulatino en la materia orgánica del suelo y con ello la estructura, permite a su vez aumentar la capacidad de retención de humedad, y con ello la eficiencia de riego al disminuir las pérdidas por escorrentía superficial y percolación de agua que no es capaz de retenerse después de un riego.
- Balance de aire (oxígeno) y humedad del suelo asociado a la adecuada agregación de las partículas y al incremento en los mesoporos y macroporos del suelo, permitiendo una mejor oxigenación para la respiración de las raíces, proceso muy necesario para el continuo crecimiento de una planta.

- Capacidad de mantener temperaturas más estables (el aumento en la retención de humedad incrementa la resistencia al cambio de temperatura dada la capacidad calorífica del agua), sobre todo frente a eventos climáticos inesperados que pueden afectar el normal crecimiento y desarrollo de un cultivo. Por ejemplo, suelos arenosos que son afectados por falta de agua pueden subir de manera importante su temperatura en superficie afectando negativamente el crecimiento de raíces superficiales.
- Capacidad de desintoxicarse frente a la aplicación de compuestos dañinos para la vida del suelo. La materia orgánica permite generar compuestos estables (complejos órgano-minerales y quelatos) con muchos pesticidas y metales pesados en el suelo.
- Facilidad de laboreo de un suelo, aumentando la eficiencia de operación de maquinarias e implementos mecánicos.
- Facilita el crecimiento de raíces puesto que disminuye la resistencia mecánica del suelo a la exploración del sistema radical.
- Aporte nutricional de la totalidad de los elementos esenciales al crecimiento de las plantas en forma equilibrada y de mejor relación con sus necesidades.
- Dinámica de entrega de nutrientes acorde a las necesidades de las plantas y en similitud al uso de fertilizantes convencionales.

El uso de enmiendas orgánicas en forma paulatina y frecuente en cada ciclo cultivo permite aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, como ha sido evidenciado por diversos investigadores (Cherney *et al.*, 2002; Clark *et al.*, 1998; Hirzel *et al.*, 2009). Las aplicaciones puntuales de estas enmiendas (por ejemplo, una aplicación en un periodo de 5 años) no logran dicho incremento, puesto que una vez que se ha realizado la aplicación de cualquiera de estas enmiendas, el carbono orgánico aportado es asimilado paulatinamente por la biomasa microbiana del suelo, y aproximadamente 2/3 de este carbono son perdidos como producto de la respiración microbiana. Finalmente, solo 1/3 del carbono ingresado contribuye a aumentar el contenido de materia orgánica, por lo cual el aumento final en el suelo es muy bajo. A modo de referencia se puede señalar que la aplicación de 10 t/ha de una enmienda orgánica en estado fresco con 30 a 50% de humedad, e incorporada en los primeros 20 cm de suelo, genera un aumento de materia orgánica de 0,06 a 0,12%, según la densidad aparente de este suelo, y una vez que se ha logrado la completa incorporación y humificación de dicha enmienda (periodo posterior a 1 año calendario).

Para estimar la dosis de enmienda orgánica necesaria de aplicar para generar un aumento determinado en el contenido de materia orgánica del suelo, dado la dinámica de los procesos biológicos del suelo, se puede emplear las ecuaciones 4 y 5, que se presentan a continuación (Hirzel, 2008):

Ecuación 4.

$$\text{Dosis de MO (t/ha)} = \frac{(\text{MO a subir (\%)} \times \text{DA (g/cc)} \times \text{PDM (cm)})}{0,33 (E_i)}$$

Donde:

MO = materia orgánica

DA = densidad aparente del suelo.

PDM = profundidad de muestreo del suelo en el que se determinó el contenido de materia orgánica (profundidad en la cual estima la incorporación de la enmienda).

E_i = 1/3 de lo aplicado que corresponde a la eficiencia estimada de aporte neto de la materia orgánica agregada al suelo, posterior a la asimilación del C ingresado por la biomasa microbiana.

Ecuación 5.

$$\text{Dosis de EMD (t/ha)} = \frac{\text{Dosis MO a aplicar (t/ha)} \times 10\,000}{\% \text{ de MO en la EMD a utilizar} \times (100 - \%H^\circ \text{ en EMD})}$$

Donde:

MO = materia orgánica

EMD = enmienda orgánica a utilizar.

H° = humedad de la enmienda a utilizar.

10000 = factor de corrección de unidades.

Para aquellas situaciones en las cuales se utilizan dosis definidas de enmiendas orgánicas, el aumento en el porcentaje de materia orgánica del suelo se puede estimar utilizando la ecuación 6 (Hirzel, 2008).

Ecuación 6.

$$\text{Aumento de la MO del suelo (\%)} = \frac{\text{Dosis EMD (t/ha)} \times \% \text{MO EMD} \times (100 - \%H^\circ) \times 0,33}{\text{DA (g/cc)} \times \text{PDM (cm)} \times 10\,000}$$

Donde:

MO = materia orgánica

EMD = enmienda orgánica a utilizar.

H° = humedad en la enmienda a utilizar.

DA = densidad aparente del suelo.

PDM = profundidad estimada de incorporación de la enmienda (profundidad de muestreo inicial del suelo que se quiere mejorar).

10000 = factor de corrección de unidades.

Así por ejemplo, si un/a agricultor/a aplica 15 t/ha de compost con 60% de humedad y 30% de materia orgánica, incorporado en los primeros 20 cm de un suelo cuya densidad aparente es de 1,2 g/cc, el aumento en el porcentaje de materia orgánica (ecuación 6) sería el siguiente:

$$\text{Aumento de la MO del suelo (\%)} = \frac{15 \times 30 \times (100 - 60) \times 0,33}{1,2 \times 20 \times 10\,000} = 0,025\%$$

En este ejemplo, el aumento en el porcentaje de materia orgánica del suelo, una vez que ha ocurrido la transformación microbiana de la materia orgánica agregada, es de aproximadamente 0,025%, lo cual no se detecta visualmente y es muy difícil de detectar con un análisis químico de suelo de rutina.

Cabe destacar que antes de calcular la dosis de enmienda orgánica a utilizar para una situación determinada, se debe contar con un análisis de la partida inicial, dada su alta variabilidad en contenidos de humedad, materia orgánica y contenido de nutrientes.

Comentarios finales

El sistema suelo-planta es un medio interactivo en el que ambos se benefician, principalmente de la interacción raíces y biomasa microbiana del suelo. Por lo tanto, es de suma importancia entender los procesos involucrados en esta interacción y, de esta forma, realizar los manejos agronómicos que permitan el aumento de la biomasa microbiana benéfica, destacando entre ellas, la aplicación de enmiendas orgánicas y otras fuentes de carbono, que entregan energía para la actividad de cadenas tróficas que dan vida al suelo.

Referencias

- Castellanos, J.Z. and Pratt, P.F. (1981).** Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. *Soil Science Society of America Journal*, 45(2)354-357. doi:10.2136/sssaj1981.03615995004500020025x
- Chadwick, D.R.; John, F.; Pain, B.F.; Chambers, B.J. and Williams, J. (2000).** Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: a laboratory experiment. *The Journal of Agricultural Science*, 134(2), 159–168. doi:10.1017/s0021859699007510
- Chescheir, G.M.; Westerman, P.W. and Safley Jr., L.M. (1986).** Laboratory methods for estimating available nitrogen in manures and sludges. *Agricultural Wastes*, 18(3), 175–195. doi:10.1016/0141-4607(86)90112-5
- Floate, M.J.S. (1970).** Decomposition of organic materials from hill soils and pastures. II. Comparative studies on carbon, nitrogen and phosphorus from plant materials and sheep faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 2(3), 173–185. doi:10.1016/0038-0717(70)90005-2
- Flowers, T.H. and Arnold, P.W. (1983).** Immobilization and mineralization of nitrogen in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. *Soil Biology and Biochemistry*, 15(3), 329–335. doi:10.1016/0038-0717(83)90079-2
- Fronning, B., K. Thelen, and Doo.Hong Min. (2008).** Use of manure, compost, and cover crops to supplant crop residue carbon in corn stover removed cropping systems. *Agronomy Journal*, 100(6), 1703-1710. doi:10.2134/agronj2008.0052
- Hartz, T.K., J.P. Mitchell, and Giannini, C. (2000).** Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. *HortScience* 35(2):209-212. doi: 10.21273/HORTSCI.35.2.209
- Herencia, J. F., Ruiz-Porras, J. C., Melero, S., Garcia-Galavis, P. A., Morillo, E., and Maqueda, C. (2007).** Comparison between Organic and Mineral Fertilization for Soil Fertility Levels, Crop Macronutrient Concentrations, and Yield. *Agronomy Journal*, 99(4), 973. doi:10.2134/agronj2006.0168
- Hirzel, J. (2007).** Estudio comparativo entre fuentes de fertilización convencional y orgánica, cama de broiler, en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. España. 139 p.
- Hirzel, J., I. Matus, F. Novoa and Walter, I. (2007a).** Effect of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) production and nutrient uptake. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 5(1):102-109.
- Hirzel, J., Walter, I., Undurraga, P. and Cartagena, M. (2007b).** Residual effects of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) growth and soil properties derived from volcanic ash. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(4), 480–488. doi:10.1111/j.1747-0765.2007.00144.x
- Hirzel, J. (2008).** El suelo como fuente nutricional en J. Hirzel (Ed). *Diagnóstico Nutricional y Principios de Fertilización en Frutales y Vides*. (pp.49-83. Colección Libros INIA-24. ISSN 0717-4713. 296 p).

- Hirzel, J., and I. Walter. (2008).** Availability of nitrogen, phosphorous and potassium from poultry litter and conventional fertilizers in a volcanic soil cultivated with silage corn. *Chilean Journal of Agricultural Research* 68(3):264-273.
- Hirzel, J., F. Novoa, P. Undurraga and Walter, I. (2009).** Short-term effects of poultry litter application on silage maize (*Zea mays* L.) Yield and soil chemical properties. *Compost Science and Utilization*, 17(3), 189–196. doi:10.1080/1065657x.2009.10702421
- Hirzel, J., P. Undurraga and I. Walter. (2010).** Nitrogen mineralization and released nutrients in a volcanic soil amended with poultry litter. *Chilean J. Agric. Res.* 70(1):113-121.
- Hirzel, J. F. Cerda, P. Millas and France, A. (2012).** Compost tea effects on production and extraction of nitrogen in ryegrass cultivated on soil amended with commercial compost. *Compost Science and Utilization*, 20(2), 97–104. doi:10.1080/1065657x.2012.10737032
- Hirzel, J. and Matus, I. (2013).** Effect of soil depth and increasing fertilization rate on yield and its components of two durum wheat varieties. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(1), 55–59. doi:10.4067/s0718-58392013000100008
- Hirzel, J., Donnay, D., Fernández, C., Meier, S., Lagos, O., Mejias-Barrera, P. and Rodríguez, F. (2018).** Evolution of nutrients and soil chemical properties of seven organic fertilizers in two contrasting soils under controlled conditions. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 34(2)77-88. doi:10.4067/s0719-38902018005000301
- Hirzel, J., Donnay, D., Fernández, C., Meier, S., Lagos, O., Mejias-Barrera, P., and Rodríguez, F. (2019).** Controlled experiment to determine nitrogen availability for seven organic fertilisers in three contrasting soils. *Biological Agriculture & Horticulture*, 35(3)197-213. doi:10.1080/01448765.2019.1600168
- Jansson, S.L. and Persson, J. 1982.** Mineralization and immobilization of soil nitrogen in F.J. Stevenson (Ed.). Nitrogen in agricultural soils. American Society of Agronomy, Madison (USA). pp. 229-253.
- Jensen, L., Pedersen, I., Hansen, T. and Nielsen, N. (2000).** Turnover and fate of ¹⁵N-labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 12(1), 23–35. doi:10.1016/s1161-0301(99)00040-4
- Kirchmann, H. (1985).** Losses, plant uptake and utilisation of manure nitrogen during a production cycle. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Supplement N^o. 24.
- Kirchmann, H. and Lundvall, A. (1993).** Relationship between N immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry. *Biology and Fertility of Soils* 15:161-164. doi:10.1007/BF00361605
- Laos, F., P. Satti, I. Walter, M.J. Mazzarino, and Moyano, S. (2000).** Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. *Biol. Fertil. Soils* 31:462-469. doi:10.1007/s003740000192

- Paul, J.W.; Beauchamp, E.G. and Zhang, X. (1993).** Nitrous and nitric oxide emissions during nitrification and denitrification from manure-amended soil in laboratory. *Canadian Journal of Soil Science*, 73(4), 539–553. doi:10.4141/cjss93-054
- Patni, N. K., and Jui, P. Y. (1985).** Volatile fatty acids in stored dairy-cattle slurry. *Agricultural Wastes*, 13(3), 159–178. doi:10.1016/0141-4607(85)90031-9
- Preusch, P.L., P.R. Adler, L.J. Sikora, and Tworokosky, T.J. (2002).** Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. *J. Environ. Qual.* 31(6):2051-2057. doi:10.2134/jeq2002.2051
- Redman, M.H., S.A. Wigglesworth, and Vinten, A.J.A. (1989).** Nitrogen dynamics of a leguminous green manure in J. Hansen and K. Henriksen (Eds). *Nitrogen in organic wastes applied to soils*. (pp 98-112. Academic Press INC, San Diego, CA, USA. 1350 p.).
- Rogers, B.F., U. Krogmann, and Boyles, L.S. (2001).** Nitrogen mineralization rates of soils amended with nontraditional organic wastes. *Soil Science*, 166(5), 353–363. doi:10.1097/00010694-200105000-00006
- Serna, M. D., and Pomares, F. (1991).** Comparison of biological and chemical methods to predict nitrogen mineralization in animal wastes. *Biology and Fertility of Soils*, 12(2), 89–94. doi:10.1007/bf00341481
- Sørensen, P. (1998).** Carbon mineralization, nitrogen immobilization and pH change in soil after adding volatile fatty acids. *European Journal of Soil Science*, 49(3), 457–462. doi:10.1046/j.1365-2389.1998.4930457.x
- Tyson, S.C., and Cabrera, M.L. (1993).** Nitrogen mineralization in soils amended with composted and uncomposted poultry litter. . *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24(17-18), 2361–2374. doi:10.1080/00103629309368961
- Whalen, J.K., C. Chang, G.W. Clayton, and Carefoot, J.P. (2000).** Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64(3) 962-966. doi:10.2136/sssaj2000.643962x
- Zaman, M., Di, H. J., and Cameron, K. C. (2006).** A field study of gross rates of N mineralization and nitrification and their relationships to microbial biomass and enzyme activities in soils treated with dairy effluent and ammonium fertilizer. *Soil Use and Management*, 15(3), 188–194. doi:10.1111/j.1475-2743.1999.tb00087.x



The Waterfall (1910). Henri Rousseau.

Producir alimentos en un contexto agroecológico conlleva la doble tarea de alcanzar los frutos del trabajo sin perturbar el natural equilibrio del medioambiente. El agua es el recurso transversal sobre el que pende tal equilibrio, su ausencia limita los procesos vitales de la agroecología y determina la magnitud de los rendimientos. Por su parte, el estado de su pureza anticipa la sostenibilidad del ineludible vínculo entre el hombre y su entorno, representados por la grandiosa diversidad de colores, formas y texturas del paisaje natural.



Capítulo 9

Manejo del recurso hídrico en sistemas con base agroecológica

Gabriel González M.¹

El agua en un contexto de producción agroecológica

Al hablar de agroecología y su vinculación con el uso del agua es importante definir el término sustentabilidad, que en este ámbito se entiende como la necesidad que tiene un método de riego de generar de una forma continua un nivel de producción adecuado, a costos razonables, mejorando el uso del agua, manteniendo la calidad del agua, del suelo y otros recursos que contribuyen a la producción agrícola y calidad del medioambiente (Oster y Wichelns, 2003).

Para comprender entonces las dimensiones que tiene el agua en la sociedad actual, la economía y la inseparable vinculación de esta con la conservación del medioambiente, es importante analizar la declaración expuesta en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medioambiente realizada en Dublín en el año 1992 (CIAMA, 1992):

- El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sustentar la vida, el desarrollo y el medioambiente.
- El desarrollo y manejo del agua deberían ser participativos, involucrando a planificadores y a formuladores de políticas en todos los niveles.
- La mujer desempeña un papel fundamental en la provisión, manejo y protección del agua.
- El agua tiene un valor económico en todos los usos de esta que compiten entre sí y debería reconocerse como un bien económico.

Ya en esos años se reconocía como prioritaria la necesidad de la conservación del recurso hídrico, tanto por su valor intrínseco, como por su valor en la conservación de los ecosistemas y la necesidad de hacer participativa su gestión, introduciendo el concepto de su gobernanza, mediante la representatividad social de las políticas públicas. Por otra parte, se destaca la importancia de la perspectiva de género como un concepto que, hasta el día de hoy, agrega valor a cualquier iniciativa, estrategia o medida dirigida al manejo y protección del agua y se le reconoce también un valor económico, al formar parte estratégica en el desarrollo de

¹ Consultor privado en recursos hídricos, teledetección y agroclimatología. Consultor. cgabrielg67@gmail.com

las sociedades y de procesos productivos de diversa naturaleza, que prestan un servicio o generan riqueza.

Con este enfoque, el agua se concibe como aquella herramienta que permite un desarrollo equilibrado entre la actividad agrícola y la conservación del medioambiente (ecología).

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medioambiente y el Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, Brasil (CNUMAD, 1992), la formulación de la Agenda 21 abarcó 40 capítulos y en ella se reconocieron y reforzaron los vínculos entre el medioambiente y el desarrollo, señalando: *“La ordenación integrada de los recursos hídricos se basa en la percepción de que el agua es parte integrante del ecosistema, un recurso natural y un bien social y económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización. Con tal fin, hay que proteger esos recursos, teniendo en cuenta el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y el carácter perenne del recurso con miras a satisfacer y conciliar las necesidades de agua en las actividades humanas. En el aprovechamiento y el uso de los recursos hídricos ha de darse prioridad a la satisfacción de las necesidades básicas y a la protección de los ecosistemas. Sin embargo, una vez satisfechas esas necesidades, los usuarios del agua tienen que pagar unas tarifas adecuadas”* (Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales [ONU], 1977: 18.8).

De esta forma, la importancia que tiene el riego en sí y el manejo del agua en la producción agrícola queda en evidencia al profundizar en la relación que existe entre el rendimiento alcanzado en virtud de las características propias del cultivo, por ejemplo, entre plantas C3 y C4, la demanda atmosférica dada las condiciones del clima expresado como déficit de presión de vapor y la transpiración directa desde las hojas de acuerdo con lo propuesto por Tanner y Sinclair (1983). Los rendimientos agronómicos, financieros y la optimización de costos de producción, obtenidos por el cultivo, estarán determinados en parte por la relación entre la lámina de agua aplicada y los requerimientos hídricos propios de cada cultivo.

A diferencia de lo que se puede observar en diversas prácticas de manejo agronómico, la gestión eficiente del recurso hídrico en la agricultura convencional pareciera no distar mucho de lo que sería en un contexto agroecológico. Esto es aún más apreciable cuando se trata de riego en condiciones de escasez hídrica o incluso en períodos de sequía prolongada. En estos casos se concibe el agua como un factor limitante y determinante para los rendimientos potenciales de la mayoría de los cultivos, primando aquellas prácticas de manejo dirigidas a incrementar la eficiencia de su utilización.

Desde el punto de vista de la conservación y eficiencia de la utilización del agua, el criterio que prevalece es el mismo en ambos modelos de producción: convencional y agroecológico. En el caso del segundo, el agua se concibe como parte de un sistema dinámico social-productivo y a la vez del ecosistema natural.

Esta sutil diferencia de perspectiva lleva a comprender el rol del agua como parte de un sistema más amplio al estrictamente productivo: un rol en un frágil equilibrio y transversal a todos los procesos naturales de los que la agroecología se hace cargo. El uso del agua en el riego es asimilado como un eslabón del sistema, con el mismo valor de aquellos roles que desempeña en el resto del ciclo hidrológico. Una manera de comprender la extensión y alcances del sistema en el que se inserta el riego como una actividad antropogénica es analizando el ciclo natural del agua.

Existen múltiples representaciones con variados niveles de detalles del recorrido que sigue una partícula de agua en sus estados físicos por los distintos niveles de la geografía. Del conocimiento de estos procesos dinámicos y transformativos, que dan origen a un ciclo de escala global, se desprenden las prácticas cotidianas del uso del agua en un contexto agroecológico, permitiendo aplicar criterios agronómicos inocuos con la ecología del agua, entendiéndose por este concepto sus propiedades, sus ciclos, su vínculo con los seres vivos y los ecosistemas y su uso en las diversas actividades de los seres humanos, así como comprender de mejor forma las estrechas vinculaciones que existen entre las interacciones dinámicas de suelo-agua-planta-atmósfera.



Figura 9.1. Ciclo natural del agua. Fuente: Perlman, 2019.

En la Figura 9.1. se muestra una representación detallada del ciclo natural del agua, sobre la cual se observan los tres estados que la componen. La perspectiva agroecológica del uso del agua considera que el riego es un elemento que se inserta por acción humana a este ciclo, generando necesariamente un efecto en su equilibrio natural. Lo propio realizan otras actividades de la sociedad, tanto consuntivas y no consuntivas, como la industria, la minería, la generación de electricidad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que entre un 70% y un 75% del agua global utilizada por el hombre es destinada a la producción agrícola y que esta proporción llega casi a un 95% en algunos países en desarrollo. Estas cifras se explican mejor sabiendo que se necesitan alrededor de 3 mil litros de agua para producir el alimento diario que requiere una persona, o que para producir 1 kg de cereal se requieren 1.500 litros. También se estima que la producción de alimentos de regadío aumentará un 8% en el año 2050, pero la cantidad de agua utilizada por la agricultura se incrementará solamente un 10%, gracias a las mejoras en las prácticas de riego (IBID). El agua sustenta todas las formas de vida y su escasez da lugar a grandes desequilibrios agroecológicos que provocan una pérdida de servicios ecosistémicos (Barron, 2009).

El análisis de estos procesos muestra que cualquier cambio o intervención que se ejerza en ellos producirá un efecto en algún punto del ciclo. Esto debe ser considerado como una premisa esencial en el uso del agua bajo un contexto agroecológico. Por ejemplo, al extraer agua desde un lugar para regar en otro, se producirá un desequilibrio en el primero, cuya envergadura dependerá de la fragilidad de su balance hídrico. Este fenómeno se ha observado a gran escala en algunas localidades y valles de la zona centro norte de Chile, generando conflictos que han afectado gravemente la exportación de un cultivo emblemático como es el palto en Petorca, donde los requerimientos hídricos no se condicen con la disponibilidad de agua (Heselaars, 2018). Este desequilibrio en el uso del agua se observa a escala predial en muchos lugares de las zonas de riego en Chile, provocando disminución de la disponibilidad de agua en los sistemas productivos, además de los ecosistemas naturales cuyo abastecimiento es deficitario debido a la sobreexplotación de estas fuentes.

Balance hídrico y evapotranspiración: fundamentos de la ecología del agua

Hay ciertos procesos del ciclo del agua que tienen mucha relevancia a escala predial. Es el caso de aquellos que se señalan en la Figura 9.2, y que conforman un balance hídrico superficial en torno a la zona radicular. Del mismo modo que la agroecología debe dar cuenta de los componentes del ciclo natural del agua (Figura 9.1.), se debe hacer lo propio con aquellos que conforman el balance hídrico en torno a un cultivo agrícola, teniendo en cuenta que el riego ejercido por la acción humana es un agente de equilibrio.

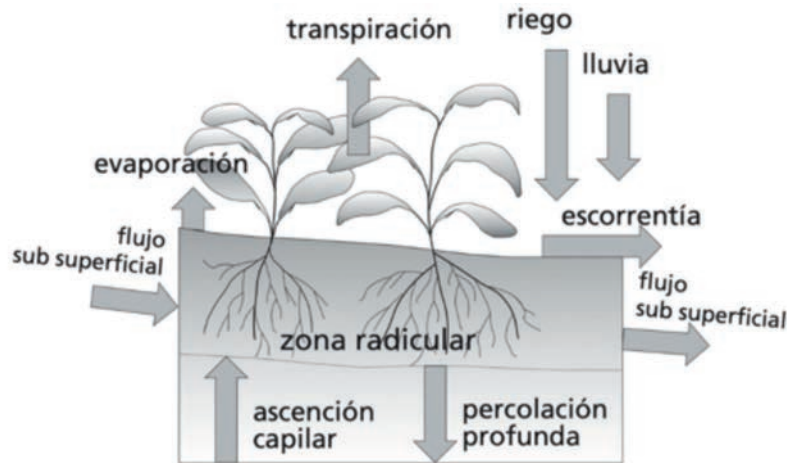


Figura 9.2. Balance hídrico superficial en torno a la zona radicular de las plantas. Fuente: Allen, et al., 1998.

Al establecer un cultivo en el predio, se está incorporando un conjunto de individuos vegetales que inciden en este balance, aumentando la cantidad de agua extraída desde el suelo. En la agricultura con criterios agroecológicos se promueve tener el suelo siempre cubierto, debido a que el cultivo protege el suelo de la erosión (bajo una condición de pendiente) y algunas raíces tienen un efecto muy positivo sobre la estructura del suelo (igual que las aplicaciones de materia orgánica), liberando exudados que sirven de cementantes, incrementando la porosidad, la infiltración, la retención de humedad y la agregación estable al agua. Además, en muchos casos, suelos cubiertos con vegetación tienen menos evaporación, porque las temperaturas son más bajas y mejoran la competencia con las malezas, toda vez que no se usan herbicidas ni otros compuestos químicos de síntesis. Sin embargo, desde la perspectiva en la conservación de humedad en el perfil, un suelo descubierto entre hileras o con la presencia de una canopia con poca vegetación reducirá la conservación de humedad y, por lo tanto, el cultivo aumentará la extracción de humedad del suelo.

En la medida que una eventual y única fuente de agua, como por ejemplo la lluvia o precipitaciones, no sea suficiente para el desarrollo de un cultivo, se debe considerar el aporte de agua de manera artificial a través del riego. Por otra parte, el cambio desde un hábitat natural a prácticas de agricultura convencional intensiva significa un incremento en escurrimiento superficial (bajo condiciones de desnivel de suelo), en periodos que el suelo está descubierto, lixiviación y riesgos de contaminación. Esta contaminación, generalmente difusa, por aplicación de fertilizantes y pesticidas, es también una fuente potencial de contaminación de los recursos hídricos (Troiano *et al.*, 1993).

Un enfoque agroecológico para este proceso consiste en mantener el contenido de humedad del suelo no solamente en las áreas del predio destinadas a la producción, sino también en aquellas en las que predomina la vegetación nativa o habitual del lugar, ver zonas de

amortiguación agroforestales (ZAA). En términos sencillos, la lámina de agua a aplicar diariamente mediante un método de riego de alta frecuencia (goteo, cinta, exudación y microaspersión) se calcula en base a la evapotranspiración del cultivo en el día anterior, corregida por un coeficiente de cultivo y la eficiencia del sistema. La evapotranspiración es una variable clave, que engloba la pérdida de agua de los cultivos por transpiración y evaporación desde el suelo y, que, en la práctica, se utiliza en la elaboración de programaciones de riego para optimizar el recurso hídrico durante el período fenológico de un cultivo y obtener los rendimientos deseados (Santiago-Rodríguez *et al.*, 2012).

La evapotranspiración de referencia, por su parte, es un concepto mundialmente utilizado para estandarizar la demanda hídrica por parte de la atmósfera y considera la evapotranspiración de un cultivo (pasto) que crece en un ambiente ideal o referencial en el cual las ecuaciones de evapotranspiración se han calibrado y representan las pérdidas de agua en condiciones no limitantes de humedad del suelo (Hatfield, 1990).

De esta manera el cálculo de esta lámina de agua a reponer en un cultivo se expresa como se indica en la ecuación 1.

Ecuación 1.

$$L_r = K_c \frac{ET_o}{E_f_s}$$

Donde:

L_r es la lámina de riego a aplicar expresada en mm/día

K_c es el coeficiente cultivo función de la especie y estado fenológico

ET_o es la evapotranspiración de referencia expresada en mm/día

E_f_s es la eficiencia del sistema

A modo de referencia, en el Cuadro 9.1. se presenta una tabla con rangos de valores de K_c para alguno de los cultivos de la región según su estado fenológico y en el Cuadro 9.2., la eficiencia asociada a cada método de riego, según lo propuesto por la Comisión Nacional de Riego (CNR).

Cuadro 9.1. Valores de K_c referenciales para algunos cultivos de la Región de Los Ríos según estado fenológico.

Tipo de cultivo	Valor mínimo	Valor máximo
Hortalizas	0,50	1,15
Papa	0,75	1,15
Remolacha azucarera	0,35	1,20
Frejoles, lentejas, habas	0,50	1,15
Maíz (grano y dulce)	0,35	1,20
Empastadas	0,40	1,20

Fuente: Modificado de Allen et al., 2006.

Cuadro 9.2. Eficiencia de aplicación de referencia de diferentes métodos de riego según la CNR (2020).

Tipo de cultivo	Valor máximo
Tendido	30
Surcos	45
Surcos (en contorno)	50
Bordes (en contorno)	50
Bordes rectos	60
Pretiles	60
Tazas	65
Aspersión	75
Microjet	85
Microaspersión	85
Goteo	90

Fuente: CNR, 2020.

Dependiendo del caso, para algunos frutales mayores es conveniente ajustar esta expresión a una fracción del marco de plantación, que por lo general no supera el 70% a 75% dependiendo del estado de crecimiento, desarrollo y manejos agronómicos, recubrimiento de la canopia o índice de área foliar (IAF). Para que los métodos de riego y el uso del agua alcancen niveles de máxima optimización y eficiencia, los valores de K_c han sido tabulados en diversas publicaciones científicas y técnicas, o se pueden consultar directamente en las tablas de la publicación número 56 titulada: Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO (Allen *et al.*, 1998).

Los centros de investigación de diversas universidades del país desarrollan trabajos dirigidos a establecer estos valores para nuevas variedades y escenarios en condiciones determinadas por los efectos del cambio climático. Aunque este es un tema que no se aborda directamente y en detalle en esta publicación, se recomienda profundizar conocimientos dada la gran

importancia que tiene para el desarrollo de la agricultura sustentable del país y muy especialmente si el enfoque productivo es en un contexto agroecológico.

Basado en el precepto que la agroecología en ningún caso se contradice con la tecnología, muy por el contrario, se apoya en ella, se recomienda el uso de estaciones meteorológicas automáticas (EMA) como la que se puede observar en la foto 9.1. que, en los últimos tiempos, son muy accesibles para la escala de muchos sistemas productivos agropecuarios.

Los parámetros medioambientales que se registren en las EMA son esenciales para comprender diversos procesos bióticos que se desarrollan en el entorno, además permiten tener una adecuada aproximación de la evapotranspiración de referencia (ET₀). Para ello, la estación requiere medir y registrar a lo menos la humedad relativa, disponer de un piranómetro, un anemómetro en lo posible instalado a 2 metros de la superficie y un termómetro que registre temperaturas máximas y mínimas. Su instalación por lo general es rápida y sencilla y en algunos casos su funcionamiento depende simplemente de una batería de 9 Volt del tipo larga duración o un pequeño panel fotovoltaico que le proporcione la energía suficiente para operar con bastante autonomía. La mayoría de estos equipos permite almacenar los datos, lo que facilita mucho el proceso de análisis y procesamiento de la información, y en algunos casos son capaces de transmitirlos a una estación desde la que se descargan vía puerto USB directamente a un computador. Finalmente se sugiere que la instalación sea en un lugar representativo del sistema productivo, en lo posible protegido por un cerco perimetral y con un protocolo de mantención y limpieza periódico. La ventaja de contar con esta información las hace muy interesantes para grupos de agricultores/as que, teniendo dificultades para disponer de una estación agrometeorológica a nivel predial, podrían adquirirlas e instalarlas en zonas donde sus datos les puedan ser de utilidad a varios/as de ellos/ellas. La operación de la estación podría estar a cargo del equipo técnico asesor, quienes además difundirían la información vía redes sociales o canales de comunicación *online*.



Foto 9.1. Estación meteorológica automática (DARRERA, 2021).

Para el cálculo de valores de evapotranspiración de referencia, según la expresión de Penman y Monteith (Allen *et al.*, 1998), se deben utilizar datos de velocidad del viento (m/s), humedad relativa (%), radiación solar (MJ/m² día) y temperatura máxima y mínima (°C).

Sin embargo, el Ministerio de Agricultura de Chile, en su sitio Agromet (www.agromet.cl), que posee gracias a colaboraciones entre INIA y diversas instituciones con las que mantiene convenio, publica en línea muchos parámetros medioambientales provenientes de la red de estaciones agro-meteorológicas distribuidas en una extensa área del país y desde la cual es posible obtener los valores de ET₀ diarios para cada uno de esos puntos.

En la Figura 9.3. se pueden observar los valores diarios de evapotranspiración de referencia (ET₀, mm/día), su media móvil que corresponde a los promedios consecutivos de 15 días y la precipitación acumulada (mm/día), obtenidos desde la estación Lago Verde de la comuna de Paillaco, en el período del 1 de julio de 2019 al 31 de agosto de 2020. En esta figura se observa que a partir del mes de septiembre de 2019 y hasta finales de marzo, la precipitación diaria no permitió satisfacer los requerimientos hídricos demandados por la atmósfera y fue necesario suministrar riego.

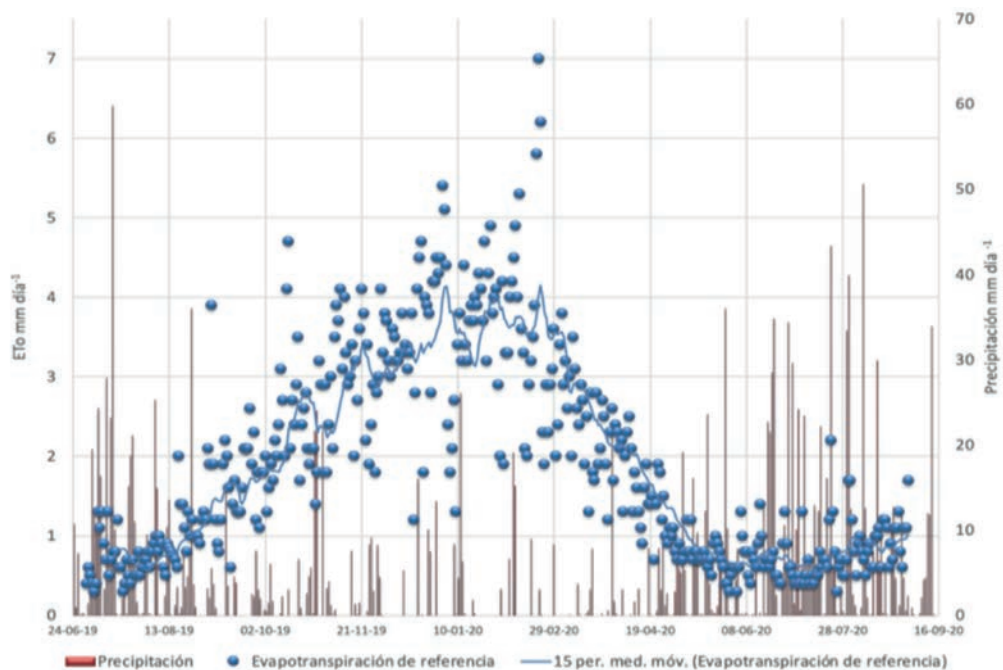


Figura 9.3. Evapotranspiración de referencia y precipitación (mm/día) en la estación Lago Verde de la comuna de Paillaco para el período del 1 de julio de 2019 al 31 de agosto de 2020. Fuente: Elaboración propia.

La tasa de riego diaria a aplicar será la L_r la lámina de riego a aplicar (mm/día) considerando el aporte de las precipitaciones y del contenido de humedad que tiene el suelo.

Manejo agronómico con criterios agroecológicos y consideraciones del suelo para el aprovechamiento del agua

Quizás una de las medidas más consecuentes de la producción con criterios agroecológicos y el uso del agua es utilizar la oferta hídrica natural del lugar para la producción de cultivos, cuando esto es posible. Para ello, el uso de especies mejor adaptadas al régimen pluviométrico es una buena medida e incluso en algunos casos esto se puede lograr simplemente reconsiderando la precocidad de nuevas variedades, las fechas de siembra, trasplante o plantación.

Muchas variedades de cultivos producidos en sistemas de secano se adaptan para aprovechar al máximo la humedad almacenada en la zona de las raíces. Los sistemas en condiciones de secano o aquellos que no disponen del recurso hídrico en abundancia, pueden ser objeto de mejora mediante el empleo de cultivos de enraizamiento profundo en rotación, la adaptación de los cultivos para fomentar este enraizamiento profundo, el incremento de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, la mejora de la infiltración de agua y la reducción al mínimo de la evaporación mediante cultivos de cobertera del suelo (Collette, 2011). La mejora de la productividad en la agricultura en el nuevo escenario de cambio climático, donde el déficit del recurso hídrico se ha hecho crítico, depende en gran medida de la mejora de la gestión en todos los aspectos del cultivo (French y Schultz, 1984; Sadras y Angus, 2006).

La presencia de suelos profundos como los existentes en gran parte del valle central y precordillera de la Región de Los Ríos y de Los Lagos, facilitan la retención de humedad y muchas veces favorecen el aporte de acuíferos subterráneos en momentos de máximo requerimiento. Esta condición es propicia para el establecimiento de especies con enraizamiento profundo, y en algunas oportunidades, con un subsolado se eliminan estratas compactadas (pie de arado) causadas frecuentemente por sobre laboreo. Al romper estas estratas se facilita la infiltración, se eliminan problemas de drenaje, se disminuye la escorrentía superficial y se incrementa la capacidad de retención de humedad del suelo al aumentar la profundidad efectiva. Cultivos con una mayor exploración radicular podrán adaptarse mejor a estas condiciones y requerirían un menor suministro de agua a la forma de riego.

Las zonas de vega, distribuidas en una vasta zona agrícola del país, corresponden a áreas que se insertan dentro de los cauces de quebradas, con escurrimiento intermitente, y en el fondo de ellas se ha depositado relleno sedimentario poco consolidado y saturado en el cual se desarrolla un acuífero que alimenta directamente la vegetación (Alegría y Lillo, 2015). Estas áreas, muy frecuentes de encontrar en las zonas centro sur y sur del país, son una buena opción para la producción de cultivos con un consumo de agua algo mayor. La topografía y su proximidad a cauces con variaciones de caudal en la época de lluvias,

mantienen estas áreas en saturación, dificultando su manejo durante los meses de invierno (Foto 9.2.). Una vez que esta condición cambia, el descenso del nivel freático se combina con un aumento en la producción natural de forraje y un eventual uso con cultivos escardados establecidos en asociaciones de cereales, hortalizas y leguminosas. Se trata de áreas con una elevada fertilidad natural producto de la sedimentación de limos depositados por el cauce en épocas de crecidas. Poseen normalmente un mayor contenido de materia orgánica, la que en presencia de oxígeno es mineralizada por parte del complejo de microorganismos mineralizadores del suelo, quedando disponible sus nutrientes para los cultivos en desarrollo.



Foto 9.2. Vegas saturadas durante parte del año, que se utilizan de primavera a principios de otoño.

El manejo agronómico de estos suelos con base agroecológica, dependiendo de la naturaleza del proceso de recarga asociado, permite la producción intensiva de una variedad importante de cultivos de la zona. Para ello, y en casos muy particulares, se hace necesario drenarlos subsuperficialmente en la medida que la topografía cuente con una cota de descarga aguas abajo que mantenga la profundidad efectiva de los cultivos bajo el umbral de contenido de humedad de saturación o capacidad de campo. En el caso del drenaje subsuperficial, el problema se produce por un exceso de agua en el interior del suelo, debido a la presencia de una napa freática (permanente o fluctuante) a una profundidad tal que restringe el desarrollo de las raíces. Generalmente, dicha napa se ubica sobre una estrata impermeable, la cual impide el movimiento vertical del agua, produciendo la condición de suelo saturado (Salgado y Ortega, 2001).

En este tipo de potreros y con manejo agroecológico se suelen construir camellones y mesas altas a las cuales se les incorporan importantes cantidades de materia orgánica. Este manejo ayuda a una adecuada aireación en la zona de desarrollo de raíces evitando anoxias y sus efectos negativos. Además, la materia orgánica permite mejorar la estructura del suelo, con esto se incrementa la retención de humedad.

Un estudio topográfico, un análisis de las propiedades físicas del suelo y de su conductividad hidráulica, la inspección visual del perfil en una red de calicatas para determinar la profundidad de elementos como concreciones, nódulos de hierro-manganeso y estratas impermeables que den una idea de la permanencia del nivel freático, son algunas de las informaciones necesarias para desarrollar obras de drenaje. Estas obras permiten, además, el laboreo del terreno en superficie, al mismo tiempo que hace descender rápidamente el nivel freático, disminuyendo así las pérdidas por asfixia radicular (Foto 9.3.).



Foto 9.3. Dren subsuperficial en operación, en zona de vega.

Dada las características climáticas reinantes en algunas zonas del sur del país, es posible aprovechar con fines de riego algunos eventos pluviométricos que ocurren en la temporada de crecimiento de los cultivos. Este concepto, que puede parecer muy obvio, se sustenta en las siguientes ideas:

- Conservar la estructura del suelo en beneficio de la capacidad de estanque del suelo.
- Esto se logra en la medida que exista una fracción porosa importante cuyo diámetro de canalículos e intersticios naturales que se forman faciliten la retención de humedad y para ello es vital mejorar la estructura del suelo, con aplicaciones de materia orgánica estabilizada, abonos verdes y mantener suelo cubierto.
- Facilitar la infiltración superficial de las precipitaciones en el perfil del suelo.
- Contar con obras hidráulicas sencillas que permitan manejar y aprovechar la escorrentía superficial.
- Cosechar aguas lluvias y almacenar en el suelo o en estanques.

La conservación de la estructura del suelo se produce en la medida que su preparación sea bien dimensionada y oportuna, y esté dirigida a minimizar el laboreo del suelo, para evitar romper su estructura, y en lo posible usar implementos de labranza vertical, mínima labranza o cero labranza. Esto hay que evitar realizarlo con un excesivo contenido de humedad. Para mejorar la infiltración en el suelo se sugiere mantener la superficie con un acabado obtenido por un rastraje vertical liviano que rompa cualquier eventual sellamiento que evite este proceso. Sin embargo, esto debilita la presencia vegetal que es importante para evitar la evaporación directa, proteger al suelo de la erosión y obtener los efectos positivos en el suelo que aporta la presencia de raíces.

Las obras asociadas a la conservación y control de la erosión del suelo con pendientes mayores al 2%, permiten el manejo de la escorrentía superficial con fines de riego. Los métodos existentes crean las condiciones apropiadas para regular o interceptar el flujo superficial, proveniente de laderas o incluso la propia infraestructura vial, que se puede acumular en las depresiones del terreno y/o alcanzar velocidades excesivas, causando la erosión del suelo. Las técnicas de conservación de suelos que a menudo se emplean para drenaje, el control de la erosión y conservación del agua, son las que se mencionan a continuación (Salgado, 2000):

- Curvas de nivel y curvas de escurrimiento.
- Sistemas de drenaje perpendicular a la pendiente o terrazas Nichols.
- Terrazas de control de erosión o del tipo Magnum.
- Drenaje interceptor.

Cosecha de aguas lluvia y ampliación de la disponibilidad de agua en períodos secos

En la temporada de precipitaciones el agua escurre superficialmente, debido a que las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo en algunas zonas. Sin embargo, este exceso de agua es susceptible de ser conducida a un área especialmente destinada para que se almacene o embalse mediante una de las estrategias de conservación de suelos antes mencionadas o el conjunto de ellas.

Los acumuladores de agua pueden ser de diferente naturaleza como el de tipo australiano que son construidos en hormigón y acero corrugado. Estos materiales permiten que la unidad de volumen acumulado se asocie a menores costos si se comparan con otras soluciones como fibra de vidrio. También, pozos zanjas o microcuencas (la topografía se aprovecha pudiendo construir un muro y posteriormente impermeabilizar estas estructuras con geomembrana HDPE de alta resistencia). Si bien este tipo de materiales es bastante inocuo con el medioambiente mientras está en uso, es recomendable adoptar medidas para reciclarlo una vez que cumpla su vida útil. Esta clase de estructuras, dependiendo del volumen que permitan almacenar, pueden ser utilizadas como acumuladores de temporada al reservar cantidades importantes de agua durante los períodos de lluvia para ser usada en períodos secos.

La escorrentía superficial aporta agua suplementaria a la lluvia directa que precipita y se almacena en el suelo. También suministra agua para el uso doméstico y el consumo de animales, si no hay otras fuentes de agua de mejor calidad. Por lo tanto, es uno de los factores cuya magnitud es muy importante en el diseño del sistema de captación de aguas lluvia para diferentes finalidades en el predio (FAO, 2000).

La gestión de la escorrentía en la explotación agrícola, incluido el empleo de lomos de retención de agua en zonas cultivadas, se ha aplicado con éxito en otras partes del mundo, específicamente, en climas de transición como el Mediterráneo y zonas del Sahel (zona ecolimática de transición entre el desierto del Sáhara al norte y la sabana sudanesa al sur), para ampliar la disponibilidad de humedad en el terreno tras cada episodio de precipitaciones. La gestión de la escorrentía fuera de la explotación agrícola, incluida la concentración del flujo superficial en aguas subterráneas poco profundas o el almacenamiento gestionado por el/la agricultor/a, puede complementar el riego limitado. No obstante, al trasladarlas a zonas extensas, estas intervenciones perjudican a los/as usuarios/as río abajo y, en líneas generales, a los presupuestos hídricos de toda la cuenca fluvial.

En lo concerniente a las tecnologías, la ampliación de los beneficios ambientales y de conservación de la humedad del suelo de los enfoques ecosistémicos a menudo dependerá del grado de mecanización de la explotación agrícola, necesaria para aprovechar los episodios de precipitaciones. Las tecnologías más simples, como la agricultura dependiente

de la escorrentía, seguirán siendo inherentemente arriesgadas, especialmente en regímenes de precipitaciones más erráticos y en este nuevo escenario de cambio climático. Además, seguirán requiriendo una gran mano de obra (Collette, 2011).

La cuenca como unidad territorial agroecológica

La perspectiva o enfoque de cuenca hidrográfica para la gestión del recurso hídrico en un contexto agroecológico es, sin lugar a dudas, un apoyo a la toma de decisiones y se basa en gestionar el recurso considerando su dimensión social, productiva y medioambiental, que en muchos casos se oponen.

La cuenca es el espacio del territorio en el cual naturalmente las aguas provenientes de precipitaciones, deshielos, acuíferos, entre otros, discurren por cursos superficiales hacia un único lugar o punto de descarga, que usualmente es un cuerpo de agua importante, como un río, un lago o un océano. La cuenca hidrográfica es un espacio territorial natural independiente de las fronteras político administrativas internas de un país o de fronteras internacionales (Aguirre, 2011).

De la misma forma, como en la cuenca converge el agua a la red de drenaje natural, lo hacen también los intereses de naturaleza diversa como el consumo humano, el productivo o económico (minería, agricultura, generación eléctrica, etc.) y medioambiental. Estos legítimos intereses suelen generar conflictos en esta convivencia territorial, que se resuelve en la medida que la gobernanza del agua, coordinada por la autoridad correspondiente, sea representativa y participativa a la vez.

Un buen ejemplo son las zonas de amortiguación agroforestales (ZAA), que son una práctica colectiva de conservación y mitigación de los efectos de contaminación del recurso hídrico, correspondiente al ordenamiento territorial a nivel de paisaje, al interior de una cuenca, con el propósito de conservar este recurso. Son zonas que se encuentran anexas a la red de drenaje de estas unidades geográficas, son cuidadosamente diseñadas para que, junto con considerar el manejo predial, se acoplen a los cuerpos de agua para filtrar y disminuir los aportes de sedimentos, materia orgánica y nutrientes, provenientes de actividades agropecuarias, manteniendo y mejorando así la salud y calidad de las cuencas hidrográficas.

Desde una perspectiva territorial, agroecológica y política de gestión del territorio, es posible considerar que las áreas limítrofes a cuerpos de agua, con un ancho de 10 hasta 20 metros, pueden cumplir con estas funciones y deberían considerarse íntegramente como zonas de amortiguación. De esta manera, las zonas de amortiguación serán aquellas encargadas de resguardar y recuperar las funciones y salud de los sistemas hidrológicos (Bizzozero *et al.*, 2018).

En Figura 9.4 se puede ver el diseño general de una zona de amortiguación agroforestal, adaptado de Bongard *et al.* (2010), la cual funciona como una zona *buffer* entre el área de producción agropecuaria y los cauces naturales de la cuenca.



Figura 9.4. Diseño general de una zona de amortiguación agroforestal. Fuente: Adaptación propia.

La escorrentía superficial proveniente de las zonas de producción, que contiene los potenciales elementos contaminantes utilizados en la agricultura, es interceptada por vegetación densa y baja evitando su movimiento hacia el cauce. El área a continuación contempla vegetación arbustiva con sistemas radiculares profundos que favorecen la percolación hacia los acuíferos subterráneos desde la zona de recarga y finalmente son las especies forestales de gran tamaño que ejercen una función de estabilización del área directa de influencia del cauce evitando procesos erosivos. Estas zonas de amortiguación pueden ser perfectamente productivas en la medida que las especies utilizadas en su diseño proporcionen productos comercializables o igualmente productivas, por ejemplo, de materias primas para otros procesos, elaboración de biofertilizantes o biopesticidas, alimentación de ganado, etc.

Finalmente, algunas consideraciones que se deben tener presentes en el manejo del agua de riego incorporando criterios agroecológicos (Núñez, 2000):

- No regar con poca agua y con demasiada frecuencia. El riego, cada cierto tiempo, debe ser profundo evitando el exceso de humedad para que no se desarrollen enfermedades, anaerobiosis y lavado de nutrientes.
- Se sugiere no regar en horas de calor, para evitar que se produzcan pérdidas excesivas por evaporación. Lo óptimo es aplicar el agua temprano en la mañana como límite hasta media mañana.

- Conocer en detalle los tipos de cultivos, requerimientos hídricos y el proceso de manejo agroecológico del suelo.
- Un suelo rico en humus no solo es un suelo rico en nutrientes sino que desde el punto de vista físico-hídrico 1 kg de humus puede llegar a retener 2 kg de agua.

Comentarios finales

El agua, como elemento vinculante para la vida, en cualquiera de sus formas, juega un rol preponderante en la agroecología y en el ambiente social; en gran medida sus resultados dependerán de la gestión que se haga de este recurso.

La dimensión holística de la optimización y uso eficiente del agua para riego queda de manifiesto al entender los factores medioambientales que inciden en la evapotranspiración vegetal.

Los rendimientos alcanzados por los cultivos están determinados, entre otros factores, por la interrelación que existe entre suelo-agua-planta-atmósfera.

El rol del agua en un modelo agroecológico se entiende mejor al conocer su ciclo natural, su balance hídrico en torno al cultivo y la cuenca como unidad de decisión en su gestión.

La gestión eficiente del recurso hídrico dirigido al riego, en un contexto de manejo agroecológico, se basa en aplicaciones precisas de acuerdo con la evapotranspiración, la frecuencia apropiada y la oferta hídrica natural, de forma inocuas para el entorno y el medioambiente.

Referencias

Agromet. (2012). Red agroclimática nacional. Recuperado el 19 de mayo 2021 en <https://www.agromet.cl>

Aguirre, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*, 5(1):10-20.

Alegría, M. A., and Lillo, A. (2015). Protección legal de los humedales altoandinos (vegas y bofedales) en Chile en *Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible*. Depto. de Estudios y Planificación Dirección General de Aguas. MOP. Santiago, Chile. <http://bosques.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/6519/Otros-HUMED09.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998).** *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.* https://www.scsccourt.org/complexcivil/105CV049053/volume3/172618e_5xAGWAX8.pdf
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (2006).** *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos- Estudio FAO riego y drenaje 56.* <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Barron, J. (2009).** Background: The water component of ecosystem services and in human well-being development targets en United Nations Enviroment Program (ed.) *Rainwater harvesting: a lifeline for human well-being.* (Chapter 2, pp. 4-13. Published by UNEP and Stockholm Environment Institute. http://www.stipulae.org/wp-content/uploads/2017/03/Rainwater_Harvesting_UNEP.pdf#page=14
- Bizzozero F. Carro G. y Guazzelli M. J. (2018).** *Sistemas Agroforestales Agroecológicos Familiares Bioma Pampa.* 68p.
- Bongard, P., and Wyatt, G., Nerbonne, B., Becker, B. (2010).** Riparian Forest Buffers for Trout Habitat Improvement. Extension University of Minessota. Minessota. <https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/113583/riparianforestbuffers-maroon.pdf?sequence=1>
- CIAMA. (1992).** Declaración de Dublín sobre el agua y desarrollo sostenible. *Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA): El desarrollo en la perspectiva del siglo XXI 26-31 de enero 1992 Dublín Irlanda* <https://gestion sostenibledelagua.files.wordpress.com/2014/07/1992-declaracion3b3n-de-dublin-sobre-el-agua-y-el-ds.pdf>
- CNR. (2020)** Estudio básico “Diagnóstico riego para el desarrollo agrícola canal Imperial” : informe final, resumen ejecutivo. ’ <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/32148>
- CNUMAD. (1992).** *La declaración del Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.* Río de Janeiro República Federativa del Brasil <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- Collette, L. (2011).** *Ahorrar para crecer. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala.* <http://www.fao.org/3/a-i2215s.pdf>
- DARRERA. (2021).** Estación meteorológica automática (EMA). Recuperado el 19 de mayo 2021 en <https://www.darrera.com/wp/es/producto/3r-aws100-estacion-meteorologica-automatica-ema/>
- French, R.J. y Schultz, J.E. (1984).** Water use efficiency of wheat in a Mediterranean type environment. I: The relation between yield, water use and climate. *Australian Journal of Agricultural Research*, 35(6), 743–764. doi:10.1071/AR9840743
- Hatfield, J. L. (1990).** Methods of estimating evapotranspiration. *Agronomy*, (30), 435-474.

- Heselaars, T. (2018)** Crisis del agua en Petorca: “Los requerimientos hídricos no se condicen con la disponibilidad”. Emol. Recuperado el 19 de mayo, 2021 en <https://www.emol.com/noticias/Tecnologia/2018/03/29/900523/Crisis-del-agua-en-Petorca--Los-requerimientos-hidricos-no-se-condicen-con-la-disponibilidad.html>
- Núñez, M. A. (2000).** *Manual de técnicas agroecológicas*. (N°. 04; S589. 7, N8.) Serie de Manuales de Educación y Capacitación Ambiental. (Primera Ed). Mexico D.F. PNUMA, Ed.
- Oster, J.D. and Wichelns, D. (2003).** Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. *Irrigation Science*, 22(3-4), 107–120. doi:10.1007/s00271-003-0076-4
- Perlman, H. (2019).** *The natural water cycle*, USGS Science for a changing world. <https://www.usgs.gov/media/images/water-cycle-natural-water-cycle>
- Sadras, V.O. y Angus, J.F. (2006).** Benchmarking water use efficiency of rainfed wheat in dry environments. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(8), 847–856. doi:10.1071/ar05359
- Salgado, L. (2000).** Manual de estándares técnicos y económicos para obras de drenaje. CNR. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/9598>
- Salgado, L. y Ortega L. (2001).** *Drenaje en suelos agrícolas*. CNR. CORFO. INIA-Carillanca. Temuco. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/36217>
- Santiago-Rodríguez, S., Arteaga-Ramírez, R., Sangerman-Jarquín, D. M., Cervantes-Osornio, R., and Navarro Bravo, A. (2012).** Evapotranspiración de referencia estimada con Fao-Penman--Monteith, Priestley-Taylor, Hargreaves y RNA. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(8), 1535-1549. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000800005&lng=es&nrm=iso
- Tanner, C.B. and Sinclair, T.R. (1983).** Efficient water use in crop production. Research or Re-Search? in H.M. Taylor *et al.* (Ed.). *Limitations to efficient water use in crop production*. (cap: 1. pp.1–27) ASA, CSSA, and SSSA. Books. doi:10.2134/1983.limitationstoefficientwateruse.c1
- Troiano, I., Garretson, C., Krauter, C., Brownell, I. and Huston, J. (1993).** Influence of amount and method of irrigation water application on leaching of atrazine. *Journal of Environmental Quality*. 22 (2), 290-298. doi:10.2134/jeq1993.00472425002200020009x



Escabiosa e insectos (2007). Anna Pasternak.

La flora provee de nutrientes necesarios para la supervivencia, mantenimiento, maduración de óvulos y dispersión a través del vuelo de los estados adultos de los enemigos naturales. Además, estos suplementos alimenticios provenientes de recursos florales pueden incrementar la efectividad de los controladores biológicos en campo.



Capítulo 10

Manejo ecológico de insectos y ácaros plagas

Claudio Salas F.¹

Alejandro Layana S.²

Viviana Pérez L.²

El incesante crecimiento poblacional previsto para las próximas décadas establece la necesidad de contar con suficientes alimentos para satisfacer las necesidades propias de la población mundial. A raíz de esto, la agricultura tiene un rol fundamental como motor productivo que satisfaga estas demandas. Se requerirá una agricultura que logre obtener altos rendimientos por superficie productiva, pero también que considere aspectos ambientales, pues en la actualidad existe suficiente evidencia del daño que causa la agricultura intensiva al medioambiente, responsable del 46% del declive de la entomofauna debido a aplicaciones de plaguicidas y fertilizantes químico-sintéticos (Sánchez-Bayo y Wyckyhuys, 2019).

Estudios epidemiológicos han demostrado una asociación entre la exposición prolongada a plaguicidas utilizados frecuentemente en la agricultura intensiva y el aumento de la tasa de enfermedades crónicas que afectan al ser humano, como el cáncer, diabetes y trastornos neurodegenerativos como el Parkinson, Alzheimer (Kamel, y Hoppin, 2004), efectos teratogénicos y trastornos reproductivos (Giulivo *et al.*, 2016).

De modo creciente los mercados internos y externos de alimentos demandan productos generados a través de procesos productivos limpios y ambientalmente sustentables, que cumplan con las exigencias de los consumidores y con las normas regulatorias que aseguran tanto la protección de la salud de las personas como del ambiente. Estas nuevas exigencias están generando importantes cambios en la producción agrícola, pues son totalmente contrarias a la agricultura intensiva caracterizada por la simplificación de la biodiversidad a través de la práctica del monocultivo, generando ecosistemas artificiales que requieren de una constante intervención humana. Esta intervención suele ocurrir en la forma de insumos y agroquímicos, los cuales si bien permiten aumentar los rendimientos,

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Intihuasi. claudio.salas@inia.cl

² AgroCircular, Coquimbo, Chile. alejandro.layana@agrocircular.com; vperez@userena.cl

traen asociados altos costos ambientales y sociales. Sin ir más lejos, en Chile existe evidencia epidemiológica de varias regiones respecto de la exposición a plaguicidas y sus efectos en la salud poblacional, que evidencian que los niveles de exposición en población general y ocupacional son superiores a los encontrados en estudios internacionales (Zúñiga-Venegas *et al.*, 2021).

¿Cómo satisfacer las crecientes demandas alimenticias sin perder de vista las nuevas exigencias mencionadas? La agroecología es una alternativa que permite satisfacer las demandas crecientes de alimentos, así como también las demandas ambientales y sociales. En el caso específico del manejo de plagas, para entender la complejidad de la transición desde sistemas convencionales a los de base agroecológica, se debe asumir que hoy los/as agricultores/as, como cita Bale *et al.* (2008), son pesticida dependientes, pues basan sus acciones de control exclusivamente en estos agroquímicos eficaces en eliminar los organismos plagas que causan pérdidas económicas en sus cultivos. El manejo agroecológico de plagas, en cambio, se fundamenta en el uso de herramientas alternativas y conocimientos ecológicos, a veces poco dominadas por los/as agricultores/as e incluso en algunos casos por los/as especialistas agrícolas. En este sentido, existe entre los/as agricultores/as y técnicos/as buen reconocimiento de los organismos plagas, tanto en el rubro hortícola como en el rubro frutícola. Sin embargo, cuando se les consulta sobre enemigos naturales y el rol que poseen en los procesos ecológicos, muy pocos/as responden de forma correcta, evidenciando la necesidad de contar con fuentes de información técnica que les sirvan de apoyo y consulta.

En el presente capítulo se exponen los antecedentes más relevantes para llevar a cabo estrategias ecológicas que favorezcan los mecanismos de regulación natural con miras a mitigar las poblaciones de plagas.

¿Qué es el manejo ecológico de plagas?

La agroecología busca alternativas para poder mejorar los sistemas de producción agrícola, imitando los procesos naturales y fortaleciendo las interacciones biológicas, para la maximización de la producción y optimización del agroecosistema como un todo (Nicholls y Altieri, 2002), planteando la necesidad de comprender por qué los insectos plagas se adaptan tan rápidamente a los agroecosistemas y por qué los cultivos son susceptibles a estas. Entender la causa del problema y no el efecto debe ser la forma en que los/as agricultores/as y asesores/as aborden el problema de plagas en los sistemas agrícolas y la base para desarrollar estrategias ecológicas.

A diferencia del manejo de plagas en la agricultura convencional, el enfoque agroecológico se centra en el rediseño de los agroecosistemas (ver capítulo 6), aprovechando las ventajas que ofrecen los agroecosistemas diversificados (Altieri y Nicholls, 2018). Para lograrlo hay que considerar los principios agroecológicos (ver capítulo 5) fomentando la diversificación vegetal como estrategia para aumentar la biodiversidad funcional y manteniendo un suelo sano (Altieri y Nicholls, 2018).

Diversificación vegetal como estrategia para mitigar las poblaciones de insectos y ácaros plagas

Naturalmente, en los agroecosistemas existen depredadores y parasitoides que regulan y mantienen las poblaciones de los organismos plagas, proceso conocido como control biológico natural. Mantener y favorecer el aumento de poblaciones de estos agentes es muy importante ya que se estima que son responsables de ejercer un control entre 50 y 90% sobre artrópodos plagas en campos de cultivo (Pimentel *et al.*, 2005).

El control biológico natural posee la ventaja de no causar efectos adversos al ambiente. Esto ha adquirido gran relevancia entre los nuevos consumidores, personas informadas con una percepción cada vez más aguda al uso excesivo de plaguicidas en la producción agrícola. Su desventaja es que requiere unos conocimientos adecuados para su buen accionar y no actúa rápido como están acostumbrados/as los/as agricultores/as quienes son, como se dijo anteriormente, pesticida dependientes.

Debido a eventos ambientales adversos y principalmente al uso indebido de plaguicidas químico-sintéticos, las poblaciones de enemigos naturales se ven negativamente alteradas. Se estima que por el uso de los plaguicidas en los últimos diez años se ha registrado una disminución del 41% de los insectos a nivel mundial (Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019), esto incluye por supuesto, los agentes de control natural altamente expuestos a los plaguicidas en los agroecosistemas.

Otro factor que influye negativamente en el accionar de los agentes de control natural en los campos chilenos, y que muchas veces no es considerado, corresponde al desconocimiento por parte de los/as agricultores/as y técnicos/as respecto de su correcta identificación y requerimientos alimenticios en estado adulto. Algunos de los fundamentos para favorecer el control biológico natural en sistemas agroecológicos se exponen en la Figura 10.1.

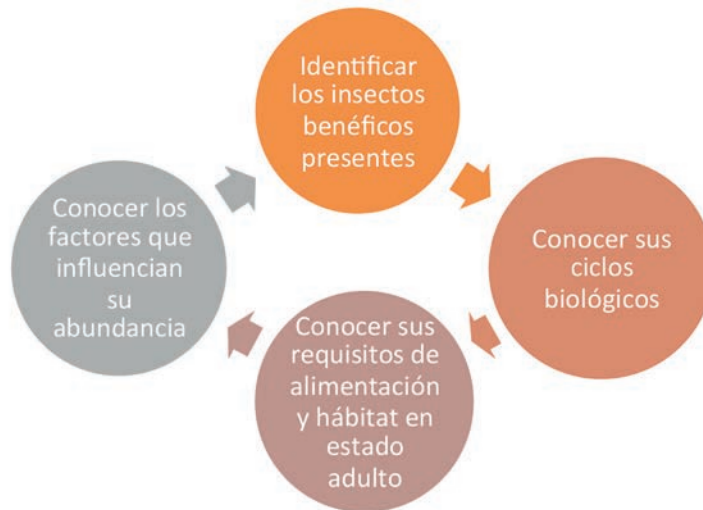


Figura 10.1. Fundamentos para favorecer el control biológico en sistemas agroecológicos.

Diferencias entre depredadores y parasitoides

Los depredadores son organismos que requieren para su desarrollo, sustento y reproducción, consumir una gran cantidad de presas, que pueden pertenecer a la misma especie o a diferentes especies (considerando polífago al depredador si se alimenta de más de una especie) (Torres *et al.*, 2009). Son insectos de mayor tamaño que sus presas, diferente a lo que sucede con los parasitoides. A los depredadores se les considera generalistas (polífagos) porque se alimentan de diversas presas durante su desarrollo, existiendo pocos casos de depredadores especialistas. Uno de ellos corresponde a la chinita *Rodolia cardinalis* (Coleoptera: Coccinellidae) una especie originaria de Australia ingresada a Chile el 1931 para el control de la conchuela acanalada de los cítricos (*Icerya purchasi*) (Rojas, 2005). En hábitats restringidos donde existe dominancia de una especie presa, los depredadores generalistas pueden actuar de forma bastante específica. Algunas de las familias de depredadores más conocidas como agentes de control natural presentes en agroecosistemas chilenos son: Coccinellidae (Coleoptera), Syrphidae (Diptera), Crysopidae, Hemerobiidae (Neuroptera), Miridae (Hemiptera) y Phytoseiidae (Acarina) (Foto 10.1).



Foto 10.1. Depredadores comúnmente encontrados en agroecosistemas chilenos. A) Larva de crisopídeo *Chrysopa* spp. (Neuroptera: Chrysopidae) alimentándose de ninfas de mosquita blanca, B) adulto de larvas de mosca tigre *Coenosia attenuata* (Diptera: Muscidae) alimentándose de minador de las chacras, C) adulto de chinche *Tupiocoris cucurbitaceus* (Hemiptera: Miridae) alimentándose de ninfa de mosquita blanca de los invernaderos, D) adulto de ácaro fitoseido *Neoseiulus* sp. (Acarina: Phytoseiidae) alimentándose de araña roja. Fuente propia.

Los parasitoides son insectos que se desarrollan sobre o dentro de su hospedero, pudiendo ser clasificados por tanto como: ectoparasitoides o endoparasitoides, respectivamente (Sampaio, 2009). A diferencia de los depredadores, los parasitoides requieren solo de un hospedero para completar su ciclo biológico, causando su muerte al completar su ciclo. Los parasitoides utilizan específicamente una de las fases de desarrollo de su hospedero, existiendo por tanto categorías de parasitoides: de huevos, de larvas o pupas. La fase adulta también es utilizada por especies parasitoides como hospederos, pero en menor proporción. Algunas de las familias de parasitoides más conocidas como agentes de control biológico corresponden a: Trichogramma, Braconidae, Eulophidae, Ichneumonidae que pertenecen al orden Hymenoptera y Tachinidae al orden Diptera. (Foto 10.2.).

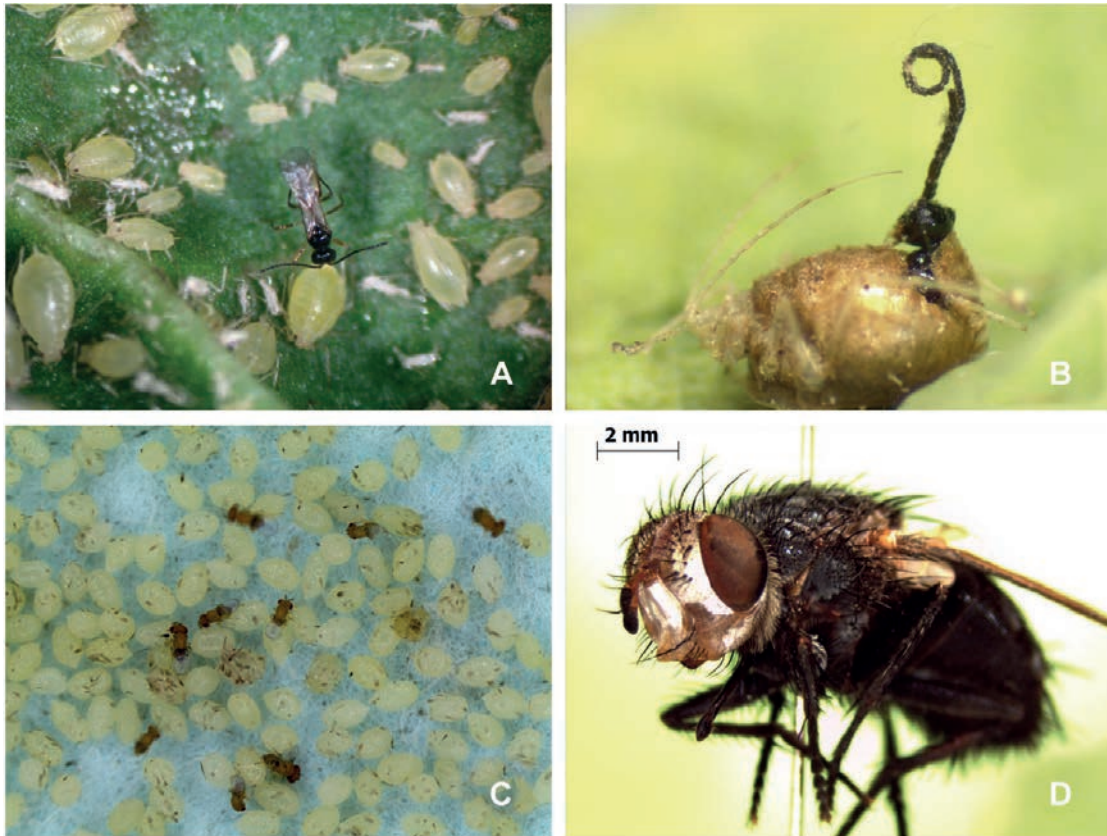


Foto 10.2. Parasitoides comúnmente encontrados en agroecosistemas chilenos. A) Adulto de avispa *Aphidius* sp. (Hymenoptera: Braconidae) parasitando pulgón del duraznero, B) Adulto de *Aphidius* sp. (Hymenoptera: Braconidae) emergiendo de huésped, C) Avispa *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitando huevos de polilla, D) Adulto de mosca parasita *Aschyta pilifrons* (Diptera: Tachinidae). Fuente propia.

Tanto depredadores como parasitoides poseen especies generalistas o especialistas. Las diferencias entre generalista y especialistas son aspectos ecológicos muy estudiados por las interacciones tróficas que estos representan. La clasificación en generalistas o especialistas en algunos casos parece ser subjetiva, ya que las especies que normalmente son generalistas pueden funcionalmente estar especializadas en el uso de sus presas, si solo utilizan ciertas áreas habitadas por pocas presas o si su tamaño más pequeño las restringe a solo las pocas especies de presas más pequeñas en su hábitat (Michálek *et al.*, 2017).

Los generalistas gastan menos energía en buscar comida, ya que aceptan fácilmente la mayoría de los alimentos que encuentran. Por el contrario, los especialistas dedican más tiempo y energía a la búsqueda de alimentos (IBID). En el ámbito del control biológico esto también reviste importancia, ya que se debe considerar para realizar modificaciones en el hábitat y así favorecer los requerimientos de estos agentes de control natural.

Manejo del hábitat y prácticas culturales para favorecer enemigos naturales y reducir la presencia de plagas

En los sistemas agrícolas la biodiversidad está constituida por especies que interactúan y proporcionan servicios ecosistémicos, como reciclaje de nutrientes, polinización y control biológico (Hidalgo y Acevedo, 2012). Al contrario, en agroecosistemas simplificados debido a la práctica del monocultivo, los fitófagos logran una mayor colonización, mayor reproducción, mayor tiempo de permanencia en el cultivo, facilidad para encontrar el cultivo y menor control natural (Nicholls y Altieri, 2002). Esto puede revertirse, en cierta manera, manejando el hábitat a través de la disposición de policultivos y utilizando coberturas vegetales, cultivos auxiliares y cultivos asociados (Altieri y Nicholls, 2010; Salas, 2019).

El manejo o manipulación del hábitat se ha utilizado como estrategia para minimizar la presión de plagas en la agricultura, a través de la mejora de la aptitud de los enemigos naturales por la presencia de diversidad funcional (González-Chang *et al.*, 2019). A continuación, diferentes tipos de gestión del hábitat para favorecer el accionar de agentes de control natural:

Plantas insectario

Para cumplir su rol ecológico en estado adulto, como por ejemplo sírfidos, coccinélidos y crisopídeos, muchos agentes de control natural requieren de fuentes de energía, como lo son los azúcares encontrados en los nectarios de las flores. Una de las principales fuentes de obtención de azúcares en los agroecosistemas corresponde a la mielecilla o melaza producida por la excreción de insectos hemípteros que se alimentan del floema, como pulgones, chanchitos blancos y mosquitas blancas (Hemípteros). Sin embargo, estudios recientes han demostrado que el uso de insecticidas sistémicos en la agricultura como los del grupo químico de los neonicotinoides han provocado que esta importante fuente de azúcares (mielecilla) se encuentre contaminada, causando la muerte de depredadores (Calvo-Agudo *et al.*, 2019). De ahí que resulta fundamental para el manejo agroecológico de plagas favorecer la flora funcional en el agroecosistema (espontánea o establecida) para satisfacer las demandas nutricionales y restaurar los mecanismos de regulación natural; reemplazando o añadiendo diversidad funcional a los sistemas existentes es posible ejercer cambios que favorecen la abundancia y la eficacia de los enemigos naturales de distintas formas (Altieri y Nicholls, 2010). Esto debe llevarse a cabo a través de la incorporación de flora funcional, plantas con flores que atraen y mantienen con sus recursos de néctar y polen y una población de enemigos naturales (Parolin *et al.*, 2012; Landis *et al.*, 2000). Estas fuentes florales proveen la energía necesaria para: la supervivencia, el mantenimiento, la maduración de óvulos y la dispersión a través del vuelo de adultos, incrementando la efectividad de los controladores biológicos en el campo (Gurr *et al.*, 2005, Van Lenteren *et al.*, 1987). En esta

flora funcional los enemigos naturales no solo encuentran fuentes de carbohidratos y de proteínas sino que además sirven de refugio frente a condiciones climatológicas adversas y/o frente a depredadores, encontrando además otras especies como presas alternativas, especialmente cuando estas escasean en los campos de cultivo (Altieri y Nicholls, 2010; Rodríguez y González, 2014).

Estudios entomológicos indican que los agroecosistemas ricos en flora funcional, como los que se aprecian en la Foto 10.3, poseen mayor prevalencia de enemigos naturales de la familia Syrphidae (Diptera) (Salas y Portilla, 2020) y menor incidencia de plagas, principalmente debido a la mayor abundancia y eficiencia de depredadores y parasitoides (Altieri y Nicholls, 2010).



Foto 10.3. Disposición de flora funcional en la producción de hortalizas. Pan de Azúcar, Región de Coquimbo, Chile, 2020.

Una de las condiciones indispensables para favorecer el control biológico natural es disponer de flora funcional que florezca secuencialmente a lo largo de todo el año, de forma tal que haya continuidad en los recursos alimenticios, manteniendo cerca de los cultivos a los enemigos naturales. Por esto, es muy importante seleccionar plantas que flozcan durante el invierno cuando hay escasez de plantas en flor en los campos de cultivo (Salas, 2019).

Estudios llevados a cabo en la Región de Coquimbo han determinado que la incorporación de flora funcional entre 2% y 5% de la superficie cultivada con lechugas, resulta suficiente para favorecer los mecanismos de autorregulación (Salas y Portilla, 2020). La selección de plantas que componen estas infraestructuras ecológicas es un primer paso, de vital importancia.

Los criterios de selección más importantes utilizados por Salas (2019), para identificar qué plantas pueden ser potencialmente útiles para atraer y mantener a los enemigos naturales clave de plagas agrícolas, serían las siguientes:

- adaptación a la zona;
- que no sean reservorio de plagas o enfermedades;
- que ofrezcan polen y néctar de calidad;
- que ofrezcan refugio;
- floraciones tempranas y
- color y tamaño acorde a los enemigos naturales

Cultivos trampa, barreras y repelentes

Los cultivos trampa corresponden a aquellas plantas que son establecidas para atraer insectos u otros organismos como nematodos con el fin de proteger al cultivo principal de su ataque (Hokkanen, 1991). Shelton y Badenes-Perez (2006) amplían la definición de cultivos trampa y los señalan como aquellas plantas que, por sí mismas o a través de la manipulación, son utilizadas para atraer, interceptar y/o retener insectos plagas, con el fin de reducir el daño del cultivo principal, desviando la atención de dichos insectos. El principio de esta estrategia preventiva se basa en el hecho de que todas las plagas presentan preferencias por determinadas plantas, cultivares o estado fenológico del cultivo. De esta forma, la presencia de un segundo cultivo cercano al cultivo principal podría atraer una plaga, que de otra manera atacaría a este último (Hokkanen, 1991).

Al utilizar esta práctica de manejo del hábitat para reducir el efecto negativo de los insectos y ácaros plagas, se debe considerar lo siguiente (Reddy, 2017):

- Comprender la biología de la plaga asociada al cultivo principal.
- Identificar la cantidad de plantas hospederas de la plaga.
- Los cultivos trampa a seleccionar deben ser más atractivos para su alimentación y ovoposición en relación con el cultivo principal.
- La distribución espacial del cultivo trampa en el agroecosistema (en el perímetro o en el centro del campo) debe decidirse en función del patrón de movimiento de la plaga.
- La superficie destinada para el establecimiento de un cultivo trampa debe ser limitada, representando un máximo de un 10% a un 15% del cultivo principal.



Foto 10.4. Berenjena (*Solanum melongena*) como cultivo trampa para la atracción de mosquita blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) de los invernaderos, en la producción comercial de tomate Cherry. Pan de Azúcar, Región de Coquimbo, 2018, Chile.

Esta práctica puede incluir el cultivo simultáneo de distintas plantas trampa asociadas al cultivo principal para manejar múltiples plagas. Además, estas especies pueden cultivarse antes o después del establecimiento del cultivo comercial, si ello permite mayor eficiencia (Foto 10.4.).

Al respecto, Ratnadass *et al.* (2011) realizaron una revisión de diversos estudios sobre la contribución de la diversidad de plantas para el manejo sostenible de plagas y enfermedades. Ellos señalan diez experiencias exitosas asociadas al uso de cultivos trampa, destacando el estudio de Badenes-Perez *et al.* (2005), quienes demostraron que la utilización de la especie *Barbarea vulgaris* como cultivo trampa (brassica bienal conocida como hierba de santa Bárbara) redujo el nivel de infestación de la polilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) en campos cultivados con brassicas. De la misma forma, Reddy (2017) indica que el cultivo principal coliflor, intercalado con girasol, tomate y caléndula como cultivos trampa, fue eficaz en la disminución del nivel poblacional de pulgones y en aumentar la presencia de sus enemigos naturales.

Un estudio realizado por Walgenbach (2018) demostró que establecer un cultivo de calabazas en el contorno de un cultivo de tomate redujo el nivel de infestación de la mosquita blanca y, en consecuencia, se registró menor incidencia del virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV) en tomate, en comparación a un monocultivo de tomate.

Los cultivos barrera, por su parte, consisten en establecer un cultivo secundario dentro o alrededor de un cultivo principal con el fin de impedir, limitar, obstaculizar e interferir su colonización con organismos plagas. Se utilizan plantas de tallo alargado y crecimiento recto como el sorgo, maíz, trigo, cebada y girasol, que han demostrado su efectividad en la prevención de la dispersión de pulgones hacia el cultivo principal, o bien, en la disminución de la infectividad de estos, reduciendo la propagación de enfermedades asociadas a virus no persistentes (Hooks y Fereres, 2006). Las plantas (o cultivos) barreras protegen a los cultivos de la invasión de insectos plagas, no solo como una barrera física, sino también son capaces de atraer a sus enemigos naturales y/o bien actuar como un cultivo trampa al sintetizar ciertos compuestos secundarios (Pérez Consuegra, 2004; Hooks y Fereres, 2006).

El uso de plantas repelentes o disuasivas es otra estrategia orientada a disminuir el nivel poblacional de artrópodos plagas en un cultivo principal (Cook *et al.*, 2007). Asociar un cultivo con plantas no hospedantes y que presenten alguna característica de repelencia de plagas, contribuye a la menor presencia de estas. Los mecanismos implicados en la repelencia o disuasión de plagas se deben a la liberación de semioquímicos (Ratnadass *et al.*, 2011). Así lo demostró Kimani *et al.* (2000) al asociar un cultivo de maíz con la especie *Melinis minutiflora* (hierba perenne de la familia Poaceae), donde los semioquímicos repelentes liberados por esta especie afectaron la ovoposición del barrenador del tallo manchado *Chilo partellus* (Lepidoptera: Crambidae) sobre el cultivo principal. Bennison *et al.* (2001) demostraron que las plantas de romero (*Rosmarinus officinalis*) asociadas al cultivo de crisantemo presentaron un gran potencial como plantas repelentes del trips de california *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae); sin embargo, se evidenció un efecto repelente hacia su controlador biológico *Orius laevigatus* (Hemiptera: Anthocoridae). La utilización de cebolla (*Allium cepa*), ajo (*Allium sativum*) y tagetes (*Tagete erecta* y *Tagete patula*) asociadas a un cultivo principal, provocan también efectos repelentes contra plagas voladoras debido a las sustancias aromáticas que emanan (Reddy, 2017).

Existe evidencia de que algunas plantas pueden presentar un efecto repelente para una plaga específica y al mismo tiempo atraer a otras, por lo tanto, no es recomendable generalizar el efecto de las plantas repelentes para un complejo de plagas y deben ser utilizadas según la plaga objetivo (Ratnadass *et al.*, 2011), este es el caso de la caléndula (Foto 10.5.) la cual tiene efecto de repelencia sobre *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) y atracción sobre la chinche depredadora *Tupiocorius cucurbitaceus* (Hemiptera: Miridae).



Foto 10.5. Disposición de caléndula (*Calendula officinalis*) como cultivo repelente-atrayente en producción de tomates en invernaderos. Canto del agua, Región de Atacama, 2018, Chile.

En el Cuadro 10.1 se presentan ejemplos de algunos consorcios de plantas y su efecto sobre nivel poblacional de plagas.

Cuadro 10.1. Ejemplos de consorcios y su efecto sobre nivel poblacional de plagas.

Cultivo principal	Planta compañera	Plaga regulada	Mecanismo de acción
Repollo	Tomate	Polilla de la col (<i>Plutella xylostella</i>)	Efecto repelente, interferencia localización
Maíz	Habas-zapallo	Pulgones, arañita bimaclada (<i>Tetranychus urticae</i>)	Aumento de enemigos naturales
Brásicas	Poroto	Pulgón de la col (<i>Brevicoryne brassicae</i>)	Mayor depredación y alteración del comportamiento de ovoposición
Maíz	Poroto	Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Aumento de enemigos naturales e interferencia con la colonización
Melón	Trigo	Pulgón del durazno (<i>Myzus persicae</i>)	Interferencia dispersión de pulgón
Manzana	<i>Phacelia</i> sp, <i>Eryngium</i> sp	Escama de san José (<i>Aspidiotus perniciosus</i>), pulgones	Parasitismo
Cebada	Alfalfa	Pulgones	Depredación
Ajo	<i>Tagete</i> spp.	Trips	Efecto trampa
Solanaceas, brassicas, cucurbitáceas	<i>Tagetes erecta</i> y <i>Tagetes patula</i> .	Nemátodos (<i>Meloidogyne</i> spp)	Efecto trampa
Brassicas	Capuchina	Pulgones	Efecto trampa
Brassicas	Anís	Pulgones	Aumento de enemigos naturales
Brassicas	Salvia y tomillo	Polilla de la col (<i>Plutella xylostella</i>)	Menor ovoposicións
Papa	Cilantro	Arañita bimaclada (<i>Tetranychus urticae</i>)	Efecto repelente
Cebolla	Puerro	Mosca de la cebolla (<i>Delia antiqua</i>)	Efecto disuasivo
Brassicas	<i>Barbarea vulgaris</i>	Polilla de la col (<i>Plutella xylostella</i>)	Efecto trampa
Crisantemo	Romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	Trips de california (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Efecto repelente
Zanahoria, betarraga, lechuga, frutilla	Cebolla	Pulgón del duraznero (<i>Myzus persicae</i>)	Efecto repelente
Repollo	Col (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Acephala</i> L.)	Polilla de la col (<i>Plutella xylostella</i>)	Efecto trampa
Pimiento	Girasol	Trips de california (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Efecto trampa

Fuente: Reddy (2017), Dover (1986), Ratnadass *et al.* (2011), Bennison *et al.* (2001), Mitchell *et al.* (2000), Funderburk *et al.* (2018).

Estrategia *push-pull*

El *push-pull* (empuje- atracción) corresponde a una estrategia basada en la combinación de estímulos, que modifica la distribución y abundancia de los artrópodos plagas y sus enemigos naturales en un agroecosistema. De esta forma, las plagas son repelidas o disuadidas de la zona donde se encuentra el cultivo, debido a la presencia de plantas repelentes y son atraídas hacia al borde del huerto por el efecto de cultivos trampa para que posteriormente sean depredadas o parasitadas por la acción de sus enemigos naturales (Hokkanen, 1991; Cook *et al.*, 2007; Ratnadass *et al.*, 2011).

Un ejemplo de utilización de la estrategia *push-pull* fue llevado en Kenia a través de la asociación junto a maíz de diversas especies que actuaban como repelentes y, a su vez, como cultivos trampa de la plaga del barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*) del maíz (*Zea mays*) (Figura 10.2.). Los resultados demostraron que las plantas repelentes no solo redujeron la infestación del barrenador del tallo, sino que además se registró un aumento de las tasas de parasitismo ejercido por *Cotesia sesamiae* (Hymenoptera: Braconidae) en relación con un monocultivo de maíz (Khan *et al.*, 1997).

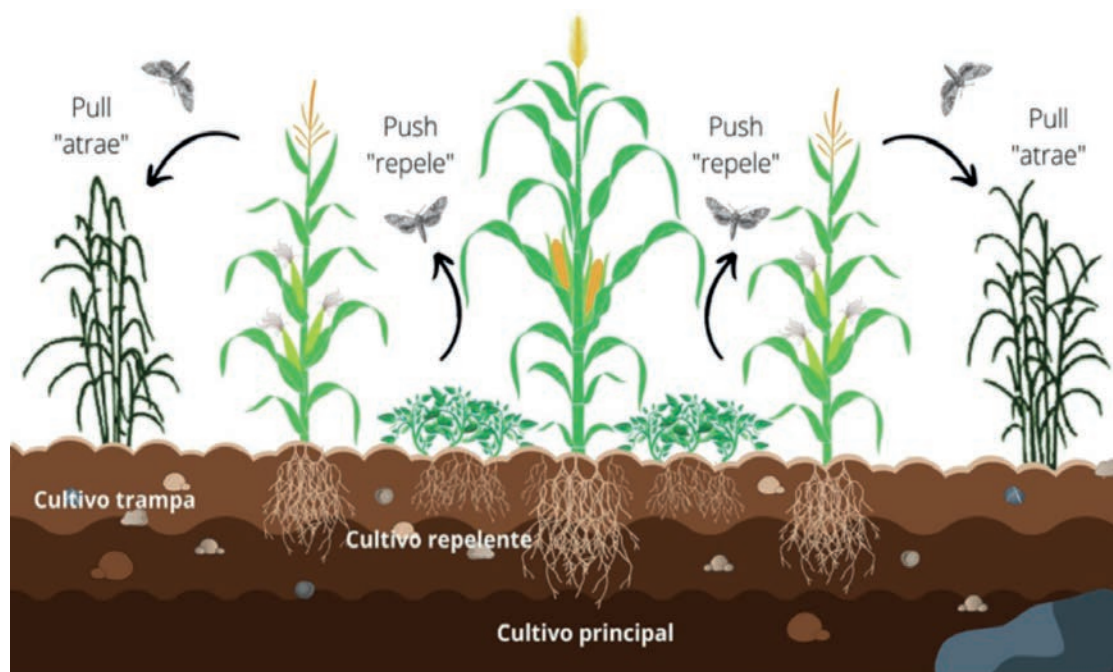


Figura 10.2. Esquema de estrategia *push-pull* para el manejo de plagas en maíz. Fuente: Adaptado de Pickett *et al.*, 2014.

Policultivos

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, la biodiversidad es uno de los pilares clave en los sistemas de producción con criterios agroecológicos, al aumentar la diversidad se optimizan procesos tales como regulación de plagas y reciclaje de nutrientes entre otras variables (Nicholls *et al.*, 2017). En este sentido, una estrategia de diversificación espacial corresponde al uso de policultivos (cultivos múltiples), definida como un sistema de cultivo donde dos o más especies se establecen de forma simultánea y próximas entre ellos (Altieri y Nicholls, 2010). Además, esta práctica no solo fomenta la diversificación en la parte aérea, sino también en la rizosfera al utilizar cultivos con distintos sistemas radiculares (Marnet, 2013).

La contribución de los policultivos en la prevención del establecimiento de poblaciones de organismos plagas se explica a través de la resistencia asociativa, la concentración de recursos, los enemigos naturales, la apariencia de las plantas, del cultivo trampa, la barrera física y el efecto repelente (Pérez Consuegra, 2004; Reddy, 2017). El uso de policultivos se fundamenta en que las poblaciones de insectos plagas pueden ser influenciadas por la dispersión espacial de sus plantas hospedantes. La explicación a lo anterior es que gran parte de los insectos fitófagos tienen en común la capacidad de localizar y permanecer sobre su hospedante cuando estos crecen de forma densa o casi puros, suministrando recursos y homogeneidad de las condiciones físicas (Pérez Consuegra, 2004; Altieri y Nicholls, 2010). De esta forma, al aumentar la diversidad a nivel predial a través del uso de cultivos múltiples o policultivos, existe una menor presión de insectos plagas ya que se genera una dilución de los recursos alimenticios, es decir, se genera una menor concentración de recursos y condiciones físicas, dificultando la localización del alimento al ser menos visible en comparación a un monocultivo (Ratnadass *et al.*, 2011; Paleologos y Flores, 2014).

Para que los sistemas de policultivos sean exitosos es indispensable que cada especie utilizada en la asociación tenga un nicho diferente, con el fin de que exista una complementariedad y así mejore la utilización y aprovechamiento de los recursos (Gliessman, 2001). De igual forma, hay que considerar que las plantas insectario no deben hospedar plagas o enfermedades de importancia económica para el cultivo principal (Reddy, 2017).

Cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura, como se mencionó en capítulos anteriores, corresponden a especies vegetales que crecen en poblaciones puras o mixtas, utilizadas para brindar cobertura al suelo durante la mayor parte del año (Gliessman, 2001). Lo más común es la siembra de una especie gramínea, una leguminosa o una mezcla de ambas especies, pero también puede ser de especies de otras familias botánicas (Foto 10.6.).



Foto 10.6. Trébol rosado (*Trifolium pratense*) como cultivo de cobertura en producción de frutales. La Palma, Quillota, Región de Valparaíso, Chile. 2019.

Manejo del suelo para mitigar poblaciones de organismos plagas

Fomentar interacciones positivas entre los componentes del ecosistema (sobre y bajo el suelo), genera una optimización total de su funcionamiento, siendo un paso clave para el diseño de una estrategia de manejo ecológico de plagas (Nicholls y Altieri, 2006). Diversas investigaciones demuestran que aquellos suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica exhiben una alta fertilidad, otorgándoles a los cultivos una mayor resistencia o tolerancia frente al ataque de insectos plagas o enfermedades (Nicholls y Altieri, 2008).

Resulta fundamental mantener un suelo en óptimas condiciones, equilibrado y que sea capaz de proveer a los cultivos de los macro y micronutrientes necesarios. De acuerdo con Altieri y Nicholls, (2010), los cultivos con menor fertilización nitrogenada tienden a una mayor capacidad para resistir el ataque de insectos fitófagos, debido a la menor concentración de nitrógeno en sus estructuras vegetales. Algunos estudios han demostrado que las plantas de tomate con elevados niveles de fertilización nitrogenada favorecieron el desarrollo de dos plagas de gran relevancia económica, la polilla del tomate *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) (Han *et al.*, 2014) y de la mosquita blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) (Islam *et al.*, 2017). Los mecanismos metabólicos asociados a la mayor incidencia de estas plagas son el resultado de la interacción negativa del exceso de fuentes nitrogenadas de origen químico, en

los sistemas de defensa de las plantas, y de una mayor emisión de volátiles por parte de las plantas, los cuales contribuyen a atraer a las plagas.

Céspedes e Infante (2012), señalan que para aumentar la biodiversidad del suelo en un agroecosistema con el objetivo de mejorar su calidad y sostenibilidad se deben realizar algunas prácticas como: recuperar la materia orgánica mediante la elaboración y aplicación de abonos orgánicos, incorporación de abonos verdes y establecimiento de cultivos de cobertura. Estas prácticas, sumadas a la sincronización de los cultivos en la rotación, para evitar suelos descubiertos, reducción de la labranza del suelo, eliminación de las quemas agrícolas y del uso de compuestos químicos tóxicos permiten mejorar la calidad del suelo y aumentar el contenido de materia orgánica, lo cual se traduce en el tiempo en una mayor agregación estable al agua, un aumento en la población de lombrices en el perfil de suelo, una mayor disponibilidad de nutrientes y un incremento de la biomasa microbiana, lo que estimula la supresión de enfermedades todo lo cual aumenta el vigor y rendimiento de cultivos (Céspedes, 2018).

Comentarios finales

Queda un largo camino por recorrer para que prevalezca el manejo ecológico de plagas en la agricultura chilena. Aún hay mucho que investigar y transferir dado que cada agroecosistema es único por su ubicación geográfica, tipo de suelo, microfauna, microclima, vegetación, entre otros factores. Los pasos a seguir, se deben orientar a transitar desde el manejo integrado de plagas (MIP) hacia estrategias que favorezcan la prevalencia y el accionar de los agentes de control natural, ya que poseen un rol ecológico crucial en los agroecosistemas. Entregar antecedentes técnicos que sirvan de consulta sin duda representa un apoyo para avanzar y cambiar la forma en que hasta hoy se ha llevado a cabo el manejo de plagas.

Referencias

- Altieri, M. y Nicholls C. (2010).** *Diseños Agroecológicos para incrementar la biodiversidad de entomofauna benéfica en agroecosistemas.* Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). <https://multiversidad.es/2015/11/disenos-agroecologicos-incrementar-la-biodiversidad-entomofauna-benefica-agroecosistemas/>
- Altieri, M. y C. Nicholls (2018).** Agroecología: Ciencia fundamental para el diseño de fincas resilientes a plagas. *Leisa*, 34(1), 5-8. <http://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol34n1.pdf>

- Badenes-Perez, F. R., Nault, B. A., and Shelton, A. M. (2005).** Manipulating the Attractiveness and Suitability of Hosts for Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 98(3), 836–844. doi:10.1603/0022-0493-98.3.836
- Bale, J., Van Lenteren, J. and Bigler, F. (2008).** Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, 363(1492), 761–776. doi:10.1098/rstb.2007.2182
- Bennison, J., Maulden, K., Dewhirst, S., Pow, E., Slatter, P. and Wadhams, L.J. (2001).** Towards the development of a push-pull strategy for improving biological control of western flower thrips on chrysanthemum. pp. 199- 206 in R. Marullo and L. Mound (Eds.) *Seventh International Symposium on Thysanoptera: Thrips, Plants, Tospoviruses: The Millennial Review*, 27 July 2001, Reggio Calabria, Italy, CSIRO Entomology, Canberra, Australia.
- Calvo-Agudo, M., González-Cabrera, J., Picó, Y., Calatayud-Vernich, P., Urbaneja, A., Dicke, M., and Tena, A. (2019).** Neonicotinoids in excretion product of phloem-feeding insects kill beneficial insects. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(34), 16817-16822. doi:10.1073/pnas.1904298116
- Céspedes, L., M. C. e Infante L., A. (2012).** Producción orgánica como un sistema integral. En: C. Céspedes (Ed.) *Producción hortofrutícola orgánica*. Boletín N° 232. 192p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7459>
- Céspedes, L., M.C. (2018).** Sostenibilidad de los suelos y la importancia de materia orgánica. En: C. Sepúlveda, y M. Alfaro. (Eds). *Curso de Capacitación para Operadores y Futuros Operadores del Programa de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental (SIRSD-S) de la Región de Los Ríos, Osorno, Chile*. Boletín N° 361, 110p. Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA). <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/6657/NR40859.pdf?sequence=1>
- Cook, S. M., Khan, Z. R., and Pickett, J. A. (2007).** The Use of Push-Pull Strategies in Integrated Pest Management. *Annual Review of Entomology*, 52(1), 375-400. doi:10.1146/annurev.ento.52.110405.091407
- Dover, J. W. (1986).** The effect of labiate herbs and white clover on *Plutella xylostella* oviposition. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 42(3), 243–247. doi:10.1111/j.1570-7458.1986.tb01029.x
- Funderburk, J., Reitz, S., Stansly, P., Freeman, J., Miller, C. McAvoy, G., Whidden, A., Demirozer, O., Nuessly, G., and Leppla, N. (2018).** *Managing Thrips in Pepper and Eggplant*¹. ENY-658. (9). <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/IN401>
- Giulivo, M., Lopez de Alda, M., Capri, E., and Barceló, D. (2016).** Human exposure to endocrine disrupting compounds: Their role in reproductive systems, metabolic syndrome and breast cancer. A review. *Environmental Research*, 151, 251–264. doi:10.1016/j.envres.2016.07.011
- Gliessman, S.R. (Ed.) (2001).** *Agroecosystem Sustainability: Developing Practical Strategies*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

- González-Chang, M., Tiwari, S., Sharma, S., and Wratten, S. D. (2019).** Habitat Management for Pest Management: Limitations and Prospects. *Annals of the Entomological Society of America*, 112(4):302-317. doi:10.1093/aesa/saz020
- Gurr, G.M., Wratten, S.D., Stephen, D., Tyljanakis, J., Kean, J. and Keller, M. (2005).** Providing plant foods for natural enemies in farming systems: balancing practicalities and theory en F.L. Wäckers, P.C.J. Van Rijn and J. Bruin (Eds.). *Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and its Applications*. Cambridge University Press. pp. 326-347
- Han, P., Lavoit, A.-V., Le Bot, J., Amiens-Desneux, E., and Desneux, N. (2014).** Nitrogen and water availability to tomato plants triggers bottom-up effects on the leafminer *Tuta absoluta*. *Scientific Reports*, 4(1). doi:10.1038/srep04455
- Hidalgo M. J. y Acevedo, A. (2012).** Efectos de la biodiversidad en el control biológico dentro de los agroecosistemas. *INVENTUM*, 7(13), 30-35. doi:10.26620/uniminuto.inventum.7.13.2012.30-35
- Hokkanen, H. M. T. (1991).** Trap Cropping in Pest Management. *Annual Review of Entomology*, 36(1), 119–138. doi:10.1146/annurev.en.36.010191.001003
- Hooks, C. R. R., and Fereres, A. (2006).** Protecting crops from non-persistently aphid-transmitted viruses: A review on the use of barrier plants as a management tool. *Virus Research*, 120(1-2), 1–16. doi:10.1016/j.virusres.2006.02.006
- Islam, M. N., Hasanuzzaman, A. T. M., Zhang, Z.-F., Zhang, Y., and Liu, T.-X. (2017).** High level of nitrogen makes tomato plants releasing less volatiles and attracting more *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Frontiers in Plant Science*, 8(466) 1-14. doi:10.3389/fpls.2017.00466
- Kamel, F., and Hoppin, J. A. (2004).** Association of Pesticide Exposure with Neurologic Dysfunction and Disease. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 950–958. doi:10.1289/ehp.7135
- Khan, Z. R., Chiliswa, P., Ampong-Nyarko, K., Smart, L. E., Polaszek, A., Wandera, J., and Mulaa, M. A. (1997).** Utilisation of Wild Gramineous Plants for Management of Cereal Stem-borers in Africa. *International Journal of Tropical Insect Science*, 17(01), 143–150. doi:10.1017/s1742758400022268
- Kimani, S. M., Chhabra, S. C., Lwande, W., Khan, Z. R., Hassanali, A., and Pickett, J. A. (2000).** Airborne Volatiles from *Melinis minutiflora* P. Beauv., a Non-Host Plant of the Spotted Stem Borer. *Journal of Essential Oil Research*, 12(2), 221–224. doi:10.1080/10412905.2000.9699502
- Landis, D. A., Wratten, S. D., and Gurr, G. M. (2000).** Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45(1), 175–201. doi:10.1146/annurev.ento.45.1.175
- Marnet, B.C. (2013).** La rotación de cultivos y los abonos verdes en horticultura ecológica. *Producción Agraria Ecológica (PAE)* Ficha técnica 22. http://www.arreu.bio/uploads/5/2/0/5/52059395/fichapae22_rotacion.pdf

- Michálek, O., Petráková, L., and Pekár, S. (2017).** Capture efficiency and trophic adaptations of a specialist and generalist predator: A comparison. *Ecology and Evolution*, 7(8), 2756-2766. doi:10.1002/ece3.2812
- Mitchell, E. R., Hu, G. y Johanowicz, D. (2000).** Management of diamondback moth (*Lepidoptera: Plutellidae*) in cabbage using collard as a trap crop. *Hortscience*, 35(5):875-879. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.5.875>
- Nicholls C. y Altieri, M. (2002).** Biodiversidad y diseño agroecológico: un estudio de caso de manejo de plagas en viñedos. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 65, (50-64). <http://www.sidalc.net/repdoc/A2029e/A2029e.pdf>
- Nicholls, C. y Altieri, M. (2006).** Manejo de la fertilidad de suelos e insectos plaga: armonizando la salud del suelo y la salud de las plantas en los agroecosistemas. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 77,8-16. <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Catie-suelos-plagas.pdf>
- Nicholls, C. y M. Altieri. (2008).** Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. *Revista Leisa*, 24(2)6-8. <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-24-numero-2>
- Nicholls, C. I., Altieri, M. A., and Vázquez, L. L. (2017).** Agroecología: Principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*, 10(1), 61-72. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300741>
- Paleologos M.F. and Flores C.C. (2014).** Principios para el manejo ecológico de plagas en S.J. Sarandón and C.C. Flores (Eds). *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. (Capítulo 10- pp: 260-285). Colección de libros Cátedra. Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Parolin, P., Bresch, C., Desneux, N., Brun R, Bout A., Boll, R. and Poncet, C. (2012).** Secondary plants used in biological control: A review. *International Journal of Pest Management*, 58(2):91-100. doi:10.1080/09670874.2012.659229
- Pérez Consuegra, N. (2004).** *Manejo Ecológico de Plagas*. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural (CEDAR). La Habana, Cuba. 296 p. <https://docplayer.es/14317807-Manejo-ecologico-nilda-perez-consuegra.html>
- Pickett, J., Woodcock, C., Midega, C., Khan, A. (2014).** Push-pull farming systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 26, 125-132. doi:10.1016/j.copbio.2013.12.006
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D. and Seidel, R. (2005).** Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *Bioscience*, 55(7) 573-582. doi:10.1641/0006-3568(2005)055[0573:eeaeeco]2.0.co;2
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J. and Habib, R. (2011).** Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1):273-303. doi:10.1007/s13593-011-0022-4

- Reddy, P. P. (2017).** Agro-Ecological Pest Management – An Overview en P. Redy (Ed). *Agro-ecological Approaches to Pest Management for Sustainable Agriculture*. pp. 1-10. Springer. doi:10.1007/978-981-10-4325-3
- Rodríguez, E; Gonzales, M. (2014).** *Vegetación autóctona y control biológico: diseñando una horticultura intensiva sostenible*. CAJAMAR. Líderes en Negocio Agroalimentario. Ficha de Transferencia No 4. 14 p. <https://www.cajamar.es/storage/documents/004-vegetacion-autoctona-1403862179-cb95f.pdf>
- Rojas, S. (2005)** *Control biológico de plagas en Chile historia y avances*. Colección libros INIA N° 12. Impresora y Editora Ograma S.A. Santiago. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/3693>
- Salas, C. (2019).** Plants as Food for Adult Natural Enemies. 2019 en B. Souza, L.L. Vázquez and R. C. Marucci (Eds.). *Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems* (capítulo 4. pp. 35-47. Springer. doi.org/10.1007/978-3-030-24733-1
- Salas, C. y Portilla, M. (2020).** Manejo del hábitat para aumentar poblaciones de moscas de las flores (sírfidos) en cultivos comerciales de lechuga. *Tierra Adentro*, 113,17-21. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/67190?show=full>
- Sampaio, M. (2009).** Controle biológico de pragas com o uso de parasitoides. *Informe Agropecuário*, 30, (251) 41-46.
- Sánchez-Bayo, F. y K.A. Wyckhuys (2019).** Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232: 8-27. doi:10.1016/j.biocon.2019.01.020
- Shelton, A. M., and Badenes-Perez, F. R. (2006).** Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 51(1) 285-308. doi:10.1146/annurev.ento.51.110104.150959
- Torres, J., Schetino, C. and Pratissoli, D. (2009).** Controle biológico de pragas com uso de insetos predadores. *Informe Agropecuário*, 30, (251):17 - 40.
- Van Lenteren, J.C., Van Vianen, A. and Korthoff, H.F. (1987).** The parasite host relationship between *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Trialetodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology*, 103(1-5), 69–84. doi:10.1111/j.1439-0418.1987.tb00961.x
- Walgenbach, J. F. (2018).** Integrated Pest Management Strategies for Field-Grown Tomatoes en W. Wakil, G.E. Brust and T.M. Perring (Eds.). *Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato* (chapter 16, 323–339) Elsevier Inc. doi:10.1016/b978-0-12-802441-6.00016-4
- Zúñiga-Venegas, L., Saracini, C., Pancetti, F., Muñoz-Quezada, M.T., Lucero, B., Foerster, C. y Cortés, S. (2021).** Exposición a plaguicidas en Chile y salud poblacional: urgencia para la toma de decisiones. *Gaceta Sanitaria*, 35(5) 480-487,doi:10.1016/j.gaceta.2020.04.020



Las cultivadoras/Dos mujeres campesinas cavando en un campo cubierto de nieve
(1868, 1890). Jules Breton y Vicent Van Gogh.

Aunque las malezas son parte de la diversidad en la naturaleza, en la producción agrícola compiten con los cultivos, por lo que es necesario manejarlas, no permitiendo que se multipliquen en los sectores utilizados para el cultivo. Existen varios métodos que es necesario considerar para asegurar el éxito, el más antiguo es la escarda, que se puede ver en este cuadro.



Capítulo 11

Manejo de malezas en producción con base agroecológica

Alberto Pedreros L.¹

La producción agrícola es afectada por una serie de factores bióticos y abióticos donde destacan negativamente los primeros, entre los que se incluye a organismos como malezas, plagas y enfermedades. Las denominadas malezas o especies vegetales no cultivadas o que afectan los niveles de producción, son ajenas a los cultivos pero ocupan los mismos espacios e igual nivel trófico, por lo que compiten por agua, nutrientes, luz y espacio entre otros. A esto se suma el efecto perjudicial en la calidad de ciertos productos agropecuarios, además de ser huéspedes de plagas y enfermedades, interferir en etapas de cosecha, afectar negativamente el paisaje y ser alergénicas, en algunos casos.

En términos generales, se estima que las pérdidas anuales ocasionadas por las malezas en países desarrollados sería suficiente para alimentar a 250 millones de habitantes al año (Parker y Fryer, 1975), a pesar de toda la inversión que se realiza para disminuir su efecto. Por esto, desde el inicio de la agricultura, la vegetación espontánea o malezas se ha considerado como un serio problema y se busca su eliminación, e incluso erradicación, debido a que su presencia se estima nefasta por requerir y usar los mismos factores productivos de los cultivos, lo que determina un problema permanente cuando se busca maximizar la productividad en el corto plazo. Con este propósito, desde la antigüedad se ha usado la remoción manual y/o mecánica como método de control, pero al aumentar la necesidad de producir alimentos y con la industrialización de la agricultura, se cambia el uso de la fuerza humana y animal por fuerza motriz, mejorando la eficiencia en el corto plazo. A pesar de esto, el mayor éxito aparente llega con la aparición de los herbicidas, alrededor del año 1945. Los herbicidas destruyen selectivamente las malezas en los cultivos establecidos; de esta forma, el control químico se transforma en la principal forma de reducir el efecto de estas plantas no deseadas, lo que fue considerado de gran éxito en la agricultura intensiva convencional, cuyo fin es maximizar rendimientos con un alto retorno económico en el corto plazo. Sin embargo, no consideró los posibles efectos perjudiciales al medioambiente.

¹ Facultad Agronomía Universidad de Concepción. Sede Chillán. jpedrerosl@udec.cl

El éxito de los herbicidas es alto, tanto en las grandes como medianas y pequeñas unidades productivas, dada la efectividad en el control, la rapidez de su acción y sus costos por unidad de superficie. El éxito inicial de los plaguicidas en general (insecticidas, fungicidas, herbicidas, entre otros), ha provocado su alto uso, muchas veces indiscriminado, lo que es incompatible con la sostenibilidad medioambiental y económica de más largo plazo, ya que comienzan a aparecer otros problemas desde el punto de vista técnico, como la aparición de resistencias, y cambios en la comunidad de malezas, por tolerancia de algunas especies a productos específicos. La resistencia, que es la selección de plantas o poblaciones de una especie que no son controladas a dosis agronómicas que originalmente sí lo hacían, y la tolerancia que es la incapacidad de controlar algunas especies por parte de herbicidas muy efectivos, terminan en ambos casos produciendo un aumento significativo de nuevas poblaciones de malezas, que antes no eran importantes. En el Cuadro 11.1. se muestran las malezas de Chile que han sido reportadas con resistencia a herbicidas. Esto significa que la comunidad de malezas se adapta en el tiempo y otras especies u otras poblaciones pasan a ser dominantes y muchas veces con un comportamiento más competitivo que las desplazadas.

El aparente comportamiento exitoso del control de malezas, pero que ha obligado a depender cada vez más de los plaguicidas, ha motivado el estudio de métodos que no se orienten al uso de productos sintéticos sino hacia una agricultura más sostenible, donde la visión del problema sea diferente ya que las malezas deben ser consideradas como parte del agroecosistema, al igual que las plantas cultivadas, entendiendo claramente sus interacciones con los otros componentes y cuánto influye la presencia de unas sobre las otras, tanto en el corto como el largo plazo. Esto lleva necesariamente a un cambio de paradigma, donde es primordial profundizar el conocimiento de la biología y ecología de todas las malezas que forman parte del agroecosistema, de modo de prever las posibles alteraciones que sufren en la composición de las comunidades, cuando el medioambiente tiene cultivos o animales de mayor interés. Se propone un enfoque más holístico del sistema productivo, donde los conceptos de control, eliminación o erradicación, sean reemplazados por manejo, que acepta cierta presencia de este tipo de vegetación hasta niveles tolerables por el cultivo.

Lo primero que se debe entender en un agroecosistema es que las denominadas malezas, plantas fuera de lugar o plantas no cultivadas, son parte natural del ambiente y que la agricultura busca favorecer algunas especies sobre otras. Esto significa que estarán siempre presentes en el agroecosistema y que las especies más adaptadas a las labores de disturbio que hace la agricultura serán las que emergerán en mayor cantidad; ante cualquier cambio que se haga para favorecer una especie cultivada, habrá alguna especie de maleza que sacará ventajas de él y emergerá. A esto se suma la cantidad de semillas de malezas que hay en la capa arable del suelo, demostrando el alto potencial de reinfestación que poseen estas plantas no cultivadas, ya que la mayoría de esas semillas están vivas, pero no germinan por estar en dormancia, es decir que a pesar de que las condiciones medioambientales son

las adecuadas, su germinación es escasa (Cuadro 11.2). En el Cuadro 11.3 se puede ver la cantidad de semillas de malezas reportadas en la capa arable de suelos agrícolas chilenos y la mayor cantidad de estas cuando la agricultura es más intensiva en otros lugares. Por ello es claro que las comunidades de malezas responderán diferente a cambios en la preparación de suelos, a sistemas de riego, a sistemas de labranza, al pisoteo, al clima, a los diferentes cultivos, al corte o a cualquier sistema de control. Esto determina que siempre habrá alguna especie favorecida frente a algún estrés medioambiental ya que se han autoseleccionado en el tiempo, a diferencia de los cultivos que se han fitomejorado para tener altos rendimientos, pero perdiendo su capacidad de competencia.

Cuadro 11.1. Malezas de Chile que han sido reportadas con resistencia a herbicidas.

Especie	Nombre común	Año detección	Modo de acción con resistencia
<i>Lolium rigidum</i>	Ballica	1997	Inhibidor ACCasa (A/1)
<i>Avena fatua</i>	Avenilla	1998	Inhibidor ACCasa (A/1)
<i>Lolium perenne</i> ssp. <i>multiflorum</i>	Ballica italiana	1998	Inhibidor ACCasa (A/1)
<i>Cynosurus echinatus</i>	Cola de conejo	1999	Inhibidor ACCasa (A/1)
<i>Lolium perenne</i> ssp. <i>multiflorum</i>	Ballica italiana	2001	Inhibidor EPSPS (G/9)
<i>Lolium perenne</i>	Ballica perenne	2001	Inhibidor ACCasa (A/1)
<i>Lolium perenne</i> ssp. <i>multiflorum</i>	Ballica italiana	2002	Inhibidor ALS (B/2) Inhibidor EPSPS (G/9)
<i>Lolium rigidum</i>	Ballica	2003	Inhibidor ACCasa (A/1) Inhibidor ALS (B/2)
<i>Cynosurus echinatus</i>	Cola de conejo	2004	Inhibidor ACCasa (A/1) Inhibidor ALS (B/2)
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Hualtata	2005	Inhibidor ALS (B/2)
<i>Scirpus mucronatus</i>	Pasto cabezón	2005	Inhibidor ALS (B/2)
<i>Lolium perenne</i> ssp. <i>multiflorum</i>	Ballica italiana	2005	Inhibidor ACCasa (A/1) Inhibidor ALS (B/2)
<i>Lolium perenne</i> ssp. <i>multiflorum</i>	Ballica italiana	2006	Inhibidor ACCasa (A/1) Inhibidor EPSPS (G/9)
<i>Lolium perenne</i> ssp. <i>multiflorum</i>	Ballica italiana	2007	Inhibidor ALS (B/2) Inhibidor ALS (B/2) Inhibidor EPSPS (G/9)
<i>Sorghum halepense</i>	Maicillo	2009	Inhibidor ALS (B/2)
<i>Raphanus sativus</i>	Rábano	2010	Inhibidor ALS (B/2)
<i>Anthemis cotula</i>	Manzanillon	2010	Inhibidor ALS (B/2)
<i>Anthemis arvensis</i>	Manzanilla hedionda	2010	Inhibidor ALS (B/2)
<i>Silene gallica</i>	Calabacillo	2012	Inhibidor ALS (B/2)
<i>Epilobium ciliatum</i>	Epilobio	2018	Inhibidor FS I (D)*

Fuente: Heap, 2020. * Tahmasebi *et al.*, 2018.

Cuadro 11.2. Semillas por planta y sobrevivencia de especies de malezas abundantes en Chile.

Especie	Nombre común	Semillas por planta (n°)	Sobrevivencia (años)
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Pasto negro, democracia	3.380 - 6.140	40
<i>Avena fatua</i>	Avenilla	250	1, 10
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Bledo	229.175	10, 40
<i>Amaranthus hybridus</i>	Bledo	117.400	10, 40
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Bolsita del pastor	38.500	16, 35
<i>Chenopodium album</i>	Quinguilla	72.450	39
<i>Convolvulus arvensis</i>	Correhuela	500	20
<i>Echinochloa crusgalli</i>	Hualcacho	7.160	7
<i>Epilobium ciliatum</i>	Epilobio	60.000	
<i>Fallopia convolvulus</i>	Porotillo	11.900	22
<i>Lactuca serriola</i>	Lechuguilla	27.900	9
<i>Poa annua</i>	Piojillo	2.050	16
<i>Polygonum aviculare</i>	Sanguinaria	6.380	14, 14
<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga	52.300	30, 40
<i>Raphanus raphanistrum</i>	Rábano	1.875	20
<i>Rumex acetosella</i>	Vinagrillo	1.622	80
<i>Rumex crispus</i>	Romaza	29.500	39, 80
<i>Setaria viridis</i>	Pega pega	34.000	< 6, 30
<i>Stellaria media</i>	Quilloi-quilloi	15.000	> 20
<i>Taraxacum officinalis</i>	Diente de león	15.000	< 2, 6
<i>Verbascum thapsus</i>	Hierba del paño	223.200	39, 100

Fuente: Adaptado de Kurth, 1967; Wilson, 1988; Radosevich *et al.*, 1997; Zimdahl, 2013; Ross y Lembi, 2000; Baskin y Baskin, 2001; Altland, 2007; Hossain y Begum, 2015; CABI, 2020.

Cuadro 11.3. Densidad de semillas de malezas detectadas en capa arable de diferentes suelos de Chile y promedios de evaluación en Estados Unidos.

Especie	Semillas/m ²	Fuente
Secano interior Ñuble	9.400	Jiménez, 1960
Precordillera andina Ñuble	15.350	
Valle regado Ñuble	162.630	
Valle regado Área Metropolitana	43.168	Tosso <i>et al.</i> , 1986
Suelo cultivos	34.000 - 75.000	Cook, 1980
Praderas naturales	9.000 - 54.000	
Bosques	200 - 3.300	

Fuente: Elaboración propia.

Diferencias entre control y manejo de malezas

Hablar de control es referirse a una actividad de corto plazo, orientada al exterminio de algún problema biótico, en este caso de una o varias malezas; mientras que el manejo se refiere a la ejecución de varias actividades complementarias que buscan disminuir el daño producido por el problema biótico y aquí es donde la prevención pasa a ser lo más importante. Las prácticas utilizadas para el manejo de las malezas buscan reducir el efecto de las plantas no deseadas, pero la mayoría son actividades de largo plazo, por lo que gran parte de los/as agricultores/as no aceptan que son importantes, ya que por años han utilizado un sistema de control de corto plazo, donde ven resultados casi de inmediato, sin percatarse de que, dependiendo del cultivo, las malezas emergerán igual un par de semana después. En esto y para que la prevención sea efectiva, una tarea básica es conocer las malezas y sus ciclos de vida para entender sus diferencias en la respuesta al manejo, esto obliga a tener un monitoreo permanente para llevar un registro de las épocas de emergencia en relación al cultivo, épocas de floración, épocas de producción de semillas y épocas que entran en latencia si son perennes y todo esto con las malezas claramente identificadas. Al entender que la prevención es lo más importante, es factible aplicar estrategias de manejo cultural y complementar con estrategias de control, temas que se tratarán más adelante.

Clasificación de malezas o plantas no cultivadas

A pesar de existir varios tipos de clasificación basados en características botánicas, fisiológicas, morfológicas u otras, desde el punto de vista productivo es importante distinguir las malezas herbáceas por su ciclo de vida, ya que la mayoría de los cultivos comparte su espacio, agua y nutrientes con especies espontáneas herbáceas, es decir aquellas cuyos tallos no desarrollan tejidos leñosos, por lo que estos quedan tiernos, flexibles o suculentos. En zonas templadas se distinguen tres tipos generales de malezas herbáceas: anuales, bienales y perennes.

Malezas anuales

Las malezas anuales corresponden a aquellas que completan su ciclo de vida, semilla a semilla, en solo una estación o temporada de crecimiento. Este ciclo puede durar 30 días o varios meses, dependiendo de la especie. Se reproducen solo por semillas, las que son producidas en altas cantidades. Son consideradas las malezas más numerosas en los suelos agrícolas y siempre están presentes en suelos altamente perturbados.

De acuerdo a sus requerimientos de temperatura, están en este grupo las denominadas anuales de otoño-invierno que toleran bajas temperaturas, germinan en otoño o invierno,

crecen durante el invierno, producen semillas y mueren en verano. Ejemplos de este tipo son ballica (*Lolium perenne* ssp. *multiflorum*), avenilla (*Avena fatua*) y rábano (*Raphanus* spp).

Las malezas anuales de primavera-verano, no toleran bajas temperaturas, y germinan en la primavera, crecen y se desarrollan durante primavera y verano, producen semillas y mueren en otoño o inicios de invierno, dependiendo de las temperaturas. Ejemplos de ellas son: pata de gallina (*Digitaria sanguinalis*), hualcachos (*Echinochloa* spp), duraznillo (*Polygonum persicaria*).

Pueden desarrollarse anuales de invierno durante primavera-verano, pero en menor cantidad, y pueden germinar algunas de primavera-verano y vivir en otoño-invierno, cuando el clima es más benigno, situación que no se da en zonas templadas con las estaciones claramente diferenciadas, ya que muchas malezas de verano no toleran estas bajas temperaturas. Dependiendo de la zona de Chile, algunas especies como sanguinaria (*Polygonum aviculare*) pueden germinar durante todo el año, a pesar de adaptarse mejor a la primavera.

También se pueden clasificar por su tipo hoja, las malezas de hoja ancha (o latifoliadas) y las de hoja angosta, que son gramíneas (o *Poaceae*), ambas disponen de semillas para su propagación y son fácilmente controladas mediante el corte en sus primeros estados de desarrollo. A pesar de ello, la respuesta al corte es diferente entre ambos tipos, ya que las latifoliadas tienen sus puntos de crecimiento expuestos sobre la superficie, mientras que las gramíneas tienen su punto de crecimiento algo protegido a ras de suelo (Figura 11.1), por lo que pueden rebrotar en sus primeros estados y al alcanzar cierto desarrollo; luego el crecimiento del tallo principal se traslada hacia arriba por el tallo principal en crecimiento, siendo más fáciles de controlar con cortes, pero de la base pueden salir macollas al tener condiciones adecuadas de humedad.

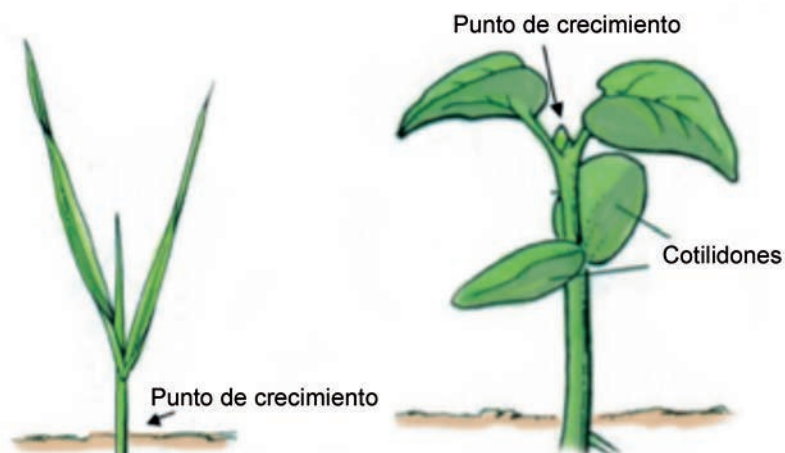


Figura 11.1. Ubicación de puntos de crecimiento en malezas anuales, gramíneas (izquierda); latifoliadas (derecha). Fuente: Adaptado de Pedreros et al., 2011.

Malezas bienales

Las malezas bienales requieren de dos temporadas para terminar su ciclo de semilla a semilla. Durante la primera etapa, se desarrollan vegetativamente hasta llegar al estado de roseta y solo emiten tallo floral después de una segunda temporada, al completarse el requerimiento de horas de frío. En ciertas áreas de bajas temperaturas es posible que algunas bienales completen sus horas de frío en la primera temporada y se comporten como anuales, siendo estas bienales facultativas. Una vez iniciado su crecimiento reproductivo, el tallo floral es capaz de rebrotar al ser cortado ya que el punto de crecimiento está bajo la roseta (Figura 11.2); pero dependiendo de las condiciones, este tallo será de menor altura y con menor producción de semillas. Algunos ejemplos: zanahoria silvestre (*Daucus carota*), hierba azul (*Echium vulgare* y *E. plantagineum*), cicuta (*Conium maculatum*).

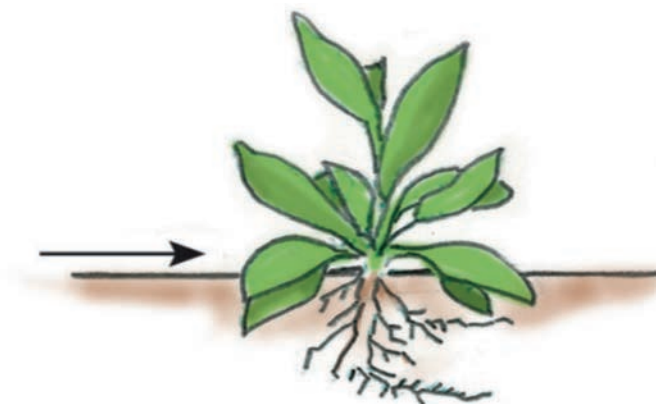


Figura 11.2. Ubicación de puntos de crecimiento en malezas bienales.

Malezas perennes o plurianuales

Las malezas perennes o plurianuales pueden o no completar su ciclo de semilla a semilla, en una temporada, pero después pueden seguir completando el ciclo de manera indefinida desde propágulos vegetativos. Dentro de este grupo hay dos tipos (Figura 11.3.):

- **Perennes simples:** se reproducen casi exclusivamente por semillas, sin embargo son capaces de rebrotar desde la raíz (corona); si el sistema radicular pivotante es dañado o cortado cada trozo de raíz, es capaz de generar otra planta. Ejemplos son: diente de león (*Taraxacum officinale*), siete venas (*Plantago lanceolata*), galega (*Galega officinalis*).
- **Perennes complejas o vivaces:** además de propagarse por semillas, lo hacen asexualmente por propágulos vegetativos que originan plantas independientes pero genéticamente iguales. En Chile, la mayoría de estas malezas no tolera las bajas

temperaturas de la zona sur, pero son capaces de pasar el invierno con sus propágulos en latencia. Entre estas estructuras las más comunes son: los estolones, rizomas, tubérculos, bulbos, cormos y fragmentos.

Estas malezas son las más complicadas de controlar, ya que pueden rebrotar innumerables veces, dependiendo del tipo de estructuras vegetativas que tengan y su cantidad. Especies como pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) y chépicas (*Paspalum paspalodes*, *Pennisetum clandestinum*, *Distichlis spicata*), tienen estolones sobre la superficie del suelo y rizomas bajo la superficie; mientras que las chufas (*Cyperus esculentus*, *C. rotundus*) tienen rizomas, bulbos y tubérculos, dependiendo estas dos últimas de la época del año (Cuadro 11.4). Por lo general, los sistemas de control basados en cortes, cultivadores, rastrajes o cualquier sistema que produzca daño mecánico, aumentan la diseminación de estas malezas debido a que los trozos de propágulos originan nuevas plantas independientes. Esto ayudado por la profundidad que pueden tener sus estructuras vegetativas, ya que mientras mejor sea la calidad del suelo más profundo estarán.

Entre las malezas perennes, además de las herbáceas, están las que presentan crecimiento aéreo leñoso o semileñoso, donde hay importantes especies como zarzamora (*Rubus ulmifolius*, *R. constrictus*), espinillo (*Ulex europaeus*).

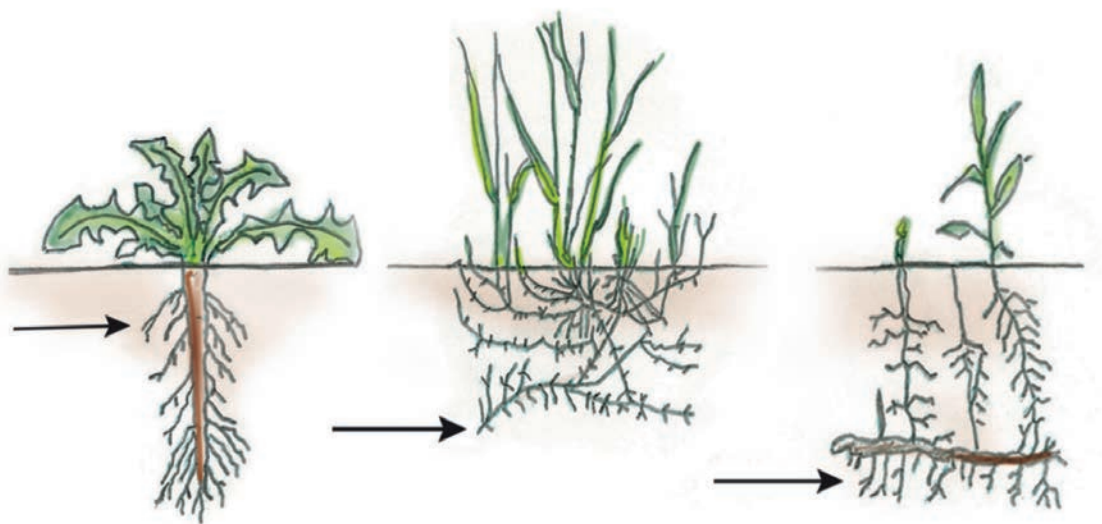


Figura 11.3. Puntos de crecimiento de malezas perennes simples (izquierda) y perennes complejas (centro y derecha).

Cuadro 11.4. Malezas perennes importantes en zona Centro y Centro sur de Chile.

Especie	Nombre común	Tipo de propágulo	Profundidad en suelo	Producción de semillas
<i>Galega officinalis</i>	Galega	Raíz pivotante	Media	Alta
<i>Malva nicaensis</i>	Malva	Raíz pivotante	Media	Alta
<i>Plantago lanceolata</i>	Siete venas	Raíz pivotante	Superficial	Alta
<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	Raíz pivotante	Superficial	Alta
<i>Bidens aurea</i>	Falso té	Rizomas	Media	Media
<i>Cirsium arvense</i>	Cardo canadiense	Rizomas	Profunda	Media
<i>Convolvulus arvensis</i>	Correhuela	Yemas, rizomas	Profunda	Baja
<i>Cynodon dactylon</i>	Pasto bermuda	Rizomas, estolones	Media, superficial	Baja
<i>Cyperus spp</i>	Chufas	Bulbos, tubérculos, rizomas	Superficial, media	Alta
<i>Epilobium ciliatum</i>	Epilobio	Rizomas, turiones	Superficial	Media, alta
<i>Modiola caroliniana</i>	Pilo-pilo	Estolones	Superficial	Media
<i>Paspalum paspalodes</i>	Chépica	Rizomas, estolones	Media, superficial	Baja
<i>Roryppa sylvestris</i>	Pata de laucha	Yemas, rizomas	Media, profunda	Baja
<i>Rumex acetosella</i>	Vinagrillo	Rizomas	Profunda	Baja
<i>Sorghum halepense</i>	Maicillo	Rizomas	Media	Alta
<i>Equisetum bogotense</i>	Hierba del platero	Rizomas, esporas	Media	Baja

Fuente: Adaptado de Anderson, 1999; Ormeño, 2005; Recasens y Conesa, 2009.

Características biológicas y ecológicas de las malezas que permiten entender la interferencia

Entre las características biológicas que destacan a las malezas, está la capacidad de interferencia, la persistencia y la facilidad de dispersión.

La interferencia es el efecto que se produce entre organismos que se afectan unos a otros, en malezas puede ser por competencia y alelopatía. La competencia se define como la interacción entre individuos que tienen similares requerimientos y algún factor de producción comienza a ser escaso. Por su parte, la alelopatía es el efecto negativo, a veces positivo, que puede ejercer una planta sobre otra por liberación de sustancias químicas. Como en el campo es difícil separar la competencia misma del efecto alelopático, se habla más bien de interferencia. En este proceso interactúan factores bióticos y abióticos que definirán la intensidad de la interacción. Los principales factores dependen del cultivo, maleza, medioambiente, a lo que se agrega el sistema de control que se utiliza, que por ser habitualmente una o dos actividades, a mediano y largo plazo funciona seleccionando las especies dominantes.

Es necesario considerar los factores propios del cultivo como especie, variedad, ciclo vegetativo, densidad y distribución espacial de la siembra, época de siembra, sanidad y manejo del cultivo, riegos, período crítico de interferencia. Esto significa que la respuesta de plantas no deseadas será totalmente diferente en un sistema de cultivos anuales y en un sistema de cultivos perennes. Asimismo, entre los cultivos será muy diferente tener aquellos que ocupan gran parte del suelo y crecen en altura, como cereales, versus cultivos que crecen poco y producen poca sombra, como porotos, arvejas, y también muy diferente a hortalizas que además de crecer poco en altura se siembran a cierta distancia, por lo que gran parte del suelo está desprotegido y por ello su habilidad de competencia es escasa. Si se consideran los cultivos perennes, como espárragos o frutales, la mayor parte del suelo está desnuda por lo que no es factible esperar baja población de malezas ya que éstas tendrán mayor espacio para reproducirse, a lo que muchas veces se suma la práctica de no mover el suelo para evitar pérdida de estructura y mineralización de la materia orgánica, entre otros, pero que produce una tendencia al aumento de las malezas del tipo perennes. Por su parte, los factores de la maleza que intervienen en la persistencia de ellas son la especie, densidad, distribución, época de emergencia en relación al cultivo, características biológicas y ecológicas de las especies.

Entre los factores medioambientales está el clima, en especial temperatura y humedad, del suelo y ambiente, tipo y calidad de suelo. Todas son características que también influyen en la interacción maleza-cultivo y mientras mejor sea el manejo para el cultivo o mejor sea el suelo seleccionado, también será un lugar de alta calidad para las malezas, con la diferencia que ante cualquier estrés medioambiental las malezas responderán mejor que los cultivos.

Los factores de manejo ejercen un gran impacto en las malezas. En términos generales, la respuesta a los sistemas de control de corto plazo también ha influido de manera importante en la presencia y dominancia de especies espontáneas, ya que el uso repetitivo de una misma labor, aunque sea inicialmente exitosa, solo sirve de presión de selección sobre las especies que se adaptan mejor a ella. Un ejemplo claro es el abuso del corte de la vegetación entre las hileras de plantación de frutales, que después de algunos años han terminado con las especies anuales de crecimiento erecto, que han sido reemplazadas por especies de crecimiento rastrero, en su mayoría perennes, que son más competitivas y difíciles de manejar que las anuales.

La **capacidad de persistencia** se debe a la elevada producción de semillas y largo período de viabilidad. A esto se agregan las adaptaciones fisiológicas y genéticas, como la facultad de germinar escalonadamente de tal manera que un control exitoso solo afecta un bajo porcentaje de las semillas y la evolución que les ha permitido adaptarse a través de autoselección de poblaciones. Todo esto les permite desenvolverse de manera exitosa en cualquier medioambiente y seguir presentes, bajo condiciones que para los cultivos serían adversas, un ejemplo lo constituye la resistencia a herbicidas.

Por último, dentro de las características biológicas se encuentra **la dispersión**. Si bien muchas malezas tienen estructuras que les permiten autodiseminarse, ya sea a través de animales o aves, gracias al viento y al agua, las mayores distancias de emigración de especies de malezas en la agricultura han sido las causadas por el hombre, que no ve la prevención como algo importante.

Estrategias de prevención

Prevenir consiste en evitar que algo suceda, en este caso incluye evitar la llegada de malezas, sean semillas o propágulos vegetativos, así como evitar que se multipliquen las que ya están presentes y las más competitivas y/o que no aportan algo positivo al sistema de producción. Dependiendo del área de producción, hay recomendaciones generales a seguir para evitar el aumento de plantas indeseables, pero no todas ellas son aplicables en todos los cultivos, sino que es necesario seleccionar las más apropiadas para cada situación, sean cultivos anuales, hortalizas o frutales (Pedreros y Ovalle, 2005). Entre las principales estrategias están:

- Usar semilla certificada.
- Utilizar materiales limpios de semillas de malezas.
- Limpiar maquinarias e implementos de labranza.
- Evitar transporte de suelo desde áreas contaminadas.
- Inspeccionar viveros donde se compran las plantas.
- Controlar malezas en canales de riego y bordes.
- Revisar praderas deterioradas e invadidas por malezas.
- Prevenir reproducción de malezas (semillas, propágulos).
- Restringir movimiento de animales.
- Utilizar alimentos para animales sin semillas de malezas.
- Usar trampas de semilla en canales.
- Monitorear bordes de predio y bajo los cercos.
- Evitar crecimiento de manchones de malezas.
- Educar sobre la importancia del manejo de malezas.

Varias de estas estrategias son realizadas por agricultores/as sin percatarse del importante efecto que ejercen sobre las poblaciones de malezas en el predio, pero también varias no son consideradas a tiempo y se han convertido en significativos sistemas de dispersión de especies, como plantaciones de frutales, donde ciertas malezas muy difíciles de controlar han sido trasladadas desde viveros a zonas de plantación de norte a sur del país. Así, por ejemplo, especies perennes como *Cyperus* spp. y *Epilobium ciliatum*, son fácilmente encontradas en plantaciones de un año de arándano en zonas donde no existían antes (Foto 11.1.).



Foto 11.1. Arándanos a punto de ser plantados o recién plantados; presentan alta población de malezas proveniente desde los viveros.

En cualquier caso, es básico evitar que las malezas lleguen a la etapa de floración, porque además de haber competido con los cultivos, se les permite producir y reponer semillas que germinarán en la próxima temporada. De la misma forma, es aconsejable, cuando los cultivos lo permitan, no dejar crecer malezas perennes más allá de 5 a 6 hojas, ya que desde ese momento se inicia o reinicia el crecimiento de los propágulos vegetativos.

Estrategias de manejo cultural

Corresponden a las prácticas que favorecen el crecimiento y desarrollo de los cultivos y con ello una mejor competencia con las plantas no deseadas. Por sí solas estas prácticas no serán suficientes, pero potencian el efecto de otras estrategias (Pedreros y Ovalle, 2005).

- Diseños que incluyan rotaciones de cultivos durante todo el año.
- Favorecer la competencia del cultivo, mediante la elección de especie, cultivar, fechas de siembra, densidad de siembra.
- Labranza primaria: alternar profundidades.
- Preparación adecuada de la cama de semillas.
- Elección de genotipos de cultivos de rápida emergencia.

- Fertilización con productos de lenta liberación, como las enmiendas orgánicas o productos de baja solubilidad.
- Fertilización localizada, para evitar favorecer su absorción por parte de las malezas.
Riego localizado en la rizósfera de la planta.
Sanidad del cultivo que permita su óptimo crecimiento.

Estrategias de control

El control debe ser una actividad complementaria a la prevención y manejo cultural y no debería ser la forma principal en la cual basar la disminución del efecto malezas, ya que es fundamental tener una mirada de largo plazo para lograr la disminución de la interacción cultivo-maleza.

- Control con flameo o vapor de agua en pre o post-emergencia.
- Establecimiento de cubiertas orgánicas o inorgánicas.
- Establecimiento de precultivos como centeno que tiene un efecto alelopático.
- Uso de cultivadores en post emergencia.
- Solarización.
- Preparación de cama de semillas, en franjas y franjas falsas.
- Control manual en post emergencia.
- Uso de productos naturales como ácido acético, harina de gluten de maíz, aceites saponificados, etc.
- Uso de herbicidas sintéticos, en sitios acotados y en situaciones puntuales.

Los sistemas de control mencionados deben adecuarse a las condiciones de cada cultivo. Es necesario elegir aquellos que tengan mayor efecto inicial sobre las principales malezas que se desea afectar, considerando que por muy exitoso que se vea un resultado siempre existirá alguna especie que se favorecerá con ese sistema, por lo que el monitoreo debe ser permanente para evitar que alguna especie aumente en importancia. La mayoría de los sistemas de control, complementarios a la prevención y el manejo cultural, tienen efectos positivos en un buen número de especies, por ejemplo, flameo y uso de vapor de agua serán muy efectivas en especies de hoja ancha anuales, que tienen sus puntos de crecimiento expuestos, pero las de hoja angosta, en especial gramíneas anuales, no responderán de la misma forma por tener sus puntos de crecimiento a ras de suelo. Asimismo, producirán un efecto poco importante o más bien un leve retraso en especies bienales y perennes. La solarización, es decir usar un plástico transparente sobre la superficie del suelo, mullido y húmedo, para aumentar la temperatura por al menos ocho semanas, solo se justificará en cultivos altamente rentables o bajo invernadero, ya que por su alto costo no es rentable en cultivos anuales o extensivos.

El control manual es fundamental sin importar la superficie, ya que es prioritario evitar que las malezas lleguen a estados de floración y las perennes a más de 5 o 6 hojas verdaderas. No olvidar que el control es una actividad complementaria, por lo que no es esperable realizarlo cuando potreros enteros están invadidos con este tipo de malezas.

El uso de herbicidas en un sistema de producción con base agroecológica está restringido, ya que son productos probablemente tóxicos que pueden contaminar el medio y eventualmente causar muerte a organismos en las cadenas tróficas. A pesar de esto, en situaciones puntuales, en las cuales no es posible manejar las malezas con métodos amigables con el medioambiente y en etapas de transición, es posible su uso muy acotado y debe disminuir a medida que el sistema avanza, asegurándose de que no sea el sistema de control que más aporta a disminuir el efecto perjudicial de estas plantas. Se debe considerar que las malezas nunca estarán distribuidas de manera homogénea en el campo, por lo que es factible utilizar aplicaciones en los manchones con presencia de alguna especie complicada, lo que necesariamente requiere de hacer mapas de distribución de malezas en el predio o en un potrero.

Dos conceptos importantes y necesarios de considerar son el período crítico de interferencia (PCI) y el umbral económico (UE). El primero es la etapa de desarrollo del cultivo que al competir con malezas tiene efectos de pérdida irreversibles y el UE se refiere a la densidad de malezas que produce de manera efectiva una pérdida económica. En otras palabras, hay etapas de todo cultivo en que las malezas no afectan el rendimiento, como también hay poblaciones de malezas que son insuficientes para afectar el rendimiento, por lo tanto en ambas situaciones no se hace necesario el control, salvo para evitar la propagación de las mismas. También es necesario considerar el concepto de ventana de cosecha, que corresponde al período comprendido entre el término del PCI y la cosecha, que particularmente en un sistema con base agroecológica; debería evitarse que ciertas malezas produzcan semillas y así impedir su aumento en el banco de semillas de suelo, para prevenir futuras infestaciones. Asimismo, después de la cosecha es necesario monitorear para determinar el posible crecimiento y desarrollo de especies indeseables, antes de establecer el siguiente cultivo. Mientras más tiempo pase entre cosecha de un cultivo y siembra del siguiente, hay mayor probabilidad de reproducción de malezas, lo que significa un aumento permanente del banco de semillas. Es necesario, por lo tanto, un complemento con control manual o mecánico dependiendo de las especies que aparezcan (Foto 11.2.).



Foto 11.2. Manejo de malezas con malla y desmalezado manual sobre las hileras de arándano; cincel entre hileras para soltar las champas de gramíneas perennes que no se segaron permanentemente; se recomienda sembrar una mezcla de especies sin crecimiento hacia las hileras.

Comentarios finales

Las plantas no cultivadas o malezas estarán siempre presentes en los campos agrícolas, debido a su gran adaptación a los diferentes sistemas que el hombre ha alterado para destinarlos a la producción agrícola. Esto se refleja en que a pesar de un exitoso control reportado por los productos químicos en la producción agrícola convencional, las malezas siguen siendo el problema sanitario principal y menos manejable de la sanidad vegetal. La producción agroecológica más que maximizar la producción, busca una alta producción pero sin alterar el medio, donde es básico no contaminar el suelo ni el medioambiente. Los recursos principales, suelo, agua y medioambiente, deben al menos mantener sus

características productivas. Para esto es necesario que los/as productores/as agrícolas entiendan que cualquier sistema que sea exitoso sobre ciertas especies de maleza, solo será una presión de selección sobre otras especies que se adaptarán rápidamente y aumentarán su importancia.

Referencias

- Altland, J., (2007).** Northern willowherb control in nursery containers en *2007 Proceedings of the California Weed science Society*, 59:54-58. https://www.cwss.org/uploaded/media_pdf/2504-2007_full.pdf#page=62
- Anderson, W. P. (1999).** *Perennial Weeds: Characteristics and Identification of Selected Herbaceous Species*. Iowa State University Press. IA, 228 p.
- Baskin, C.C. and Baskin, J.M. (2001).** *Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego, p. 666.
- CABI. (4 de septiembre de 2020).** Invasive Species Compendium. *Rumex acetosella*, sheep's sorrel. <https://www.cabi.org/isc/datasheet/48056>.
- Cook, R. (1980).** The biology of seeds in the soil in O.T. Solbrig (Ed.). *Demography and evolution in plant populations*. *Botanical Monographs* 15:107-129.
- Heap, I. (4 de septiembre de 2020).** The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.org>
- Hossain, M. and Begum, M. (2015).** Soil weed seed bank: Importance and management for sustainable crop production. A Review. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 13(2),221-228. <https://www.banglajol.info/index.php/JBAU/article/view/28783>
- Jiménez, O. A. (1960).** *Recuento e identificación de semillas de malezas asociadas con suelos y cultivos de la Provincia de Ñuble*. Universidad de Concepción, Chillán. Tesis Ingeniero Agrónomo. 104 p.
- Kurth, H. (1967).** The germination behaviour of weeds. *SYS Reporter*, 3:6-11.
- Ormeño, J. (2005).** *Malezas en Huertos Frutales y Vides: Biología y Control*. Colección Libros INIA N° 17. Santiago, Chile. 112 p. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/3692>
- Parker C. and Fryer, J. (1975).** Weed control problems causing major reduction in world food supplies. *FAO Plant Protection Bulletin* 23, (3/4): 83-95.
- Pedrerros, A. y Ovalle, C. (2005).** Manejo orgánico de malezas en Céspedes, C. (Ed.) *Agricultura Orgánica Principios y Prácticas de Producción*. Boletín INIA N° 131: 65-89. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 131. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7064>

- Pedrerros, A. Vargas, V., Luengo, K., Gutiérrez, B., Lobo, F. y Lenne, P. (2011).** *Control de malezas de plantaciones forestales en Chile y sus consideraciones ambientales.* Santiago, Chile. Editorial INFOR. 112 p. doi: 10.52904/20.500.12220/20150
- Radosevich, S.R., Holt J.S. and Ghersha, C.M. (1997).** *Weed Ecology: Implications for Vegetation Management.* Wiley Interscience.589 p.
- Recasens, J. y Conesa, J. (2009).** *Malas hierbas en plántula Guía de identificación.* Ediciones de la Universidad de Lleida, Lleida 454 p.
- Ross M. A. and Lembi, C. A. (1999).** *Applied Weed Science.* 2° Ed, Prentice-Hall, Upper Saddle River. 452 p.
- Tahmasebi, B. K., Alcántara-de la Cruz, R., Alcántara, E., Torra, J., Domínguez-Valenzuela, J. A., Cruz-Hipólito, H. E., Rojano-Delgado A. M. and De Prado, R. (2018).** Multiple Resistance Evolution in Bipyridylium-Resistant *Epilobium ciliatum* After Recurrent Selection. *Frontiers in Plant Science*, 9(695)1-11. doi:10.3389/fpls.2018.00695
- Tosso, J., Ferreyra, R. y Muñoz. L. (1986).** Semillas de malezas transportadas por el riego. 1. Evaluación cuantitativa y factores que la condicionan. *Agricultura Técnica* 46(2),119-123. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/33773>
- Wilson, R. G. (1988).** Biology of weed seeds in the soil en M. A. Altieri and M. Liebman (Eds.) *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches.* (pp. 25-39). Boca Raton, FL: CRC Press,
- Zimdahl, R.L. (2013).** *Fundamentals of Weed Science.* 4th ed. Elsevier Inc. 664 p.



Campo de avena con amapolas (1890). Claude Monet.

Campo cerca de Giverny, con un cultivo asociado de avena con amapolas rojas, que es una forma de añadir diversidad al sistema productivo y lograr un manejo sostenible del suelo, ya que mejora el aprovechamiento de los recursos, además una de las especies asociadas es avena, que normalmente se utiliza en la rotación de cultivos para cortar los ciclos de los patógenos que causan las enfermedades.



Capítulo 12

Manejo de enfermedades en agricultura agroecológica

Paz Millas O.¹

Andrés France I.²

Para realizar un manejo de enfermedades eficaz es importante conocer las razones por las cuales las plantas se enferman, las formas de manejo preventivo para evitar dichas enfermedades y su control en el caso de que ya estén presentes.

Triángulo de la enfermedad

El desarrollo de enfermedades está representada en un triángulo, donde siempre se deben presentar tres vértices para que una enfermedad se produzca, estos son: una planta susceptible, un patógeno virulento y condiciones ambientales favorables para el desarrollo de huésped y patógeno, cualquiera de los vértices del triángulo que no esté presente impide que se desarrolle la enfermedad (Figura 12.1).

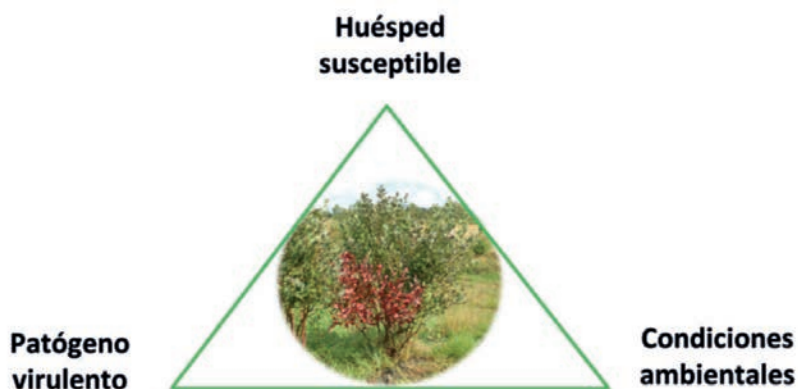


Figura 12.1 Esquema que representa la interacción que debe existir entre huésped susceptible, patógeno virulento y condiciones ambientales, para que una enfermedad vegetal se presente.

¹ Investigadora en Fitopatología. Centro tecnológico de control biológico INIA. pmillas@inia.cl.

² Investigador en Fitopatología. Centro tecnológico de control biológico INIA. afrance@inia.cl.

Planta susceptible

El primer factor, la planta susceptible, se produce cuando fallan los mecanismos de defensa que impiden que los patógenos puedan infectarlas; estos mecanismos se activan cuando la planta detecta una molécula del patógeno denominada elicitor (Dotor-Robayo y Cabezas-Gutiérrez, 2014). Esta detección es sitio específico y está dada por una combinación planta-patógeno, lo que determina que algunas especies de plantas sean susceptibles a algunos patógenos y otras especies pueden ser totalmente inmunes. Los patógenos exitosos no son detectados por la planta, ya que esta no es capaz de detectar el elicitor. En ocasiones, los patógenos a pesar de ser detectados por la planta, consiguen pasar la primera barrera de defensa e ingresar a las células vegetales, sin embargo, la planta puede continuar defendiéndose con una diversa batería de mecanismos que dependerá de la genética que tenga la planta. Esta genética que modula la susceptibilidad de la planta a un patógeno es distinta dependiendo de la especie o variedad vegetal. Por esta razón, existe el mejoramiento genético como una forma de hacer frente a las enfermedades.

Patógeno virulento

El patógeno, al igual que la planta, evoluciona para ser exitoso en el desarrollo de la enfermedad, el cual tiene varias etapas entre las que se encuentran la infección, inoculación, penetración, colonización y reproducción. Las características que permiten a un patógeno ser más eficientes son: la alta producción de propágulos (esporas o células), la facilidad de dispersión de estos propágulos, la capacidad de adaptarse bajo distintas condiciones climáticas, la capacidad de producir enzimas o toxinas, la comunicación entre células (*quorum sensing* en bacterias), la capacidad de detoxificación de las proteínas de resistencia del huésped, la velocidad de multiplicación dentro de la planta, entre otras. Es importante tener conocimiento de algunas de estas características para decidir cuál es el óptimo manejo por aplicar, por ejemplo, en el caso de *Phytophthora* spp. que causa pudrición del cuello en múltiples especies, la forma de dispersión es por el agua, por lo que es extremadamente importante evitar anegamientos. Conocer las especies o familias de huéspedes alternantes es importante para establecer una rotación de cultivos adecuada, definir las especies a incluir en un corredor biológico, o bien, eliminar malezas huéspedes del patógeno.

Condiciones medioambientales

El tercer vértice del triángulo es clave, aunque no siempre se le da la importancia que realmente tiene. Las condiciones ambientales son tan importantes como los otros dos vértices del triángulo, y pueden modificarse, en algún grado, con manejos como: elección de zona de plantación, programa de riego, época de siembra, uso de cubiertas, plantación en camellones, etc.

Las condiciones más importantes para el desarrollo de las enfermedades son, sin duda, la humedad y la temperatura. Sin embargo, condiciones de pH y textura del suelo, luminosidad y radiación solar también influyen en el desarrollo de las enfermedades.

Los patógenos requieren de ciertas temperaturas mínimas para crecer o activarse, en general se encuentran en torno a los 10 °C. Sin embargo, algunos patógenos como *Botrytis cinerea* son capaces de crecer incluso a 0 °C. Por otra parte, la temperatura máxima para la mayoría de los hongos no sobrepasa los 30 °C, con algunas excepciones como el oidio (*Erysiphe* spp., *Leveillula taurica*, *Podosphaera* spp., *Sphaerotheca* spp.) que crece hasta los 35 °C o *Macrophomina phaseolina* que se favorece con temperaturas entre 30 – 35 °C (Millas y France, 2020).

Por su parte, la humedad es fundamental para la activación de bacterias, hongos y nematodos. Es necesaria para la formación, liberación y germinación de esporas. Además, el agua del riego, la lluvia y viento facilitan la dispersión de muchos patógenos. Por esta razón, la ocurrencia de muchas enfermedades está relacionada con la distribución de lluvias en el año, enfermedades como tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en papa (*Solanum tuberosum*), sarna del manzano (*Venturia inaequalis*), mildiú de la vid (*Plasmopora viticola*) son más severas en climas lluviosos o con alta humedad relativa. Las condiciones climáticas no solo determinan la severidad, sino también la ocurrencia y número de ciclos en algunas enfermedades.

Dada la importancia de estas condiciones, es que se han desarrollado sistemas de pronóstico de enfermedades con base en temperatura y humedad u otras condiciones climáticas, este es el caso del modelo predictivo para la sarna del manzano, desarrollado según las tablas de Mills (MacHardy y Gadoury, 1989) y la alerta de tizón temprano en papa (<https://tizon.inia.cl/>).

En busca de reestablecer el equilibrio

Sanidad de la planta

A diferencia de los ambientes naturales, en los sistemas agrícolas los microorganismos fitopatógenos tienen abundancia de huéspedes como fuente alimenticia, producto del monocultivo. Junto a lo anterior, en el manejo convencional, el exceso de fertilización y uso de pesticidas van eliminando los biocontroladores naturales, lo que conlleva a que las poblaciones de patógenos crezcan sin control y se generen las enfermedades.

La sanidad de la planta debe partir desde el inicio, por lo que es muy importante establecer los cultivos con semillas o plántulas libres de patógenos. Posteriormente se deben considerar

manejos culturales y productos de control preventivo amigables con el medioambiente para evitar que se produzcan las enfermedades o para que estas sean menos severas. El control curativo es la última opción a utilizar.

Sanidad del suelo

El suelo que está en contacto con la planta es parte del medioambiente de esta, por lo que la sanidad del suelo se refleja directamente en la salud de las plantas. El suelo, como se señala con más detalle en el capítulo 5, se considera un ente vivo, que tiene una dinámica que está dada principalmente por el contenido de materia orgánica (MO), la biomasa microbiana y la actividad enzimática asociada a ella. Los microorganismos que se alimentan de la materia orgánica del suelo (MOS) son los descomponedores, que participan en la mineralización de compuestos orgánicos y dejan disponibles nutrientes para las plantas a través del tiempo y espacio. Por ello al aplicar materia orgánica se incrementa la biomasa microbiana del suelo (Céspedes y Millas, 2015). Aunque las incorporaciones de MO tienen un importante efecto en la disponibilidad de nutrientes y la estructura de los suelos, también se reconoce una importante relación entre el contenido de MO y la sanidad de los suelos.

Existen suelos en que la incidencia o la severidad de ciertas enfermedades es más baja que en suelos del entorno, se les conoce como suelos supresivos; el mecanismo de la supresión tiene una fuerte base microbiana, la que se pierde cuando son esterilizados o fumigados. Algunos estudios indican que la característica de supresividad de los suelos estaría asociada a una alta actividad microbiana total, a la disponibilidad de fuentes de carbono capaces de sostener altas poblaciones de microorganismos y a la competencia de estos microorganismos por estas fuentes carbonadas (Rotenberg *et al.*, 2007; Darby *et al.*, 2006).

Se han definido dos tipos de supresión: general y específica. La supresión general está relacionada con la comunidad microbiana total y no con una única especie de microorganismo, como responsable de la supresión; esto explica por qué en algunos estudios un antagonista microbiano colectado desde un suelo supresivo falla en inducir supresión en el nuevo sustrato, de la misma forma como el observado en el sustrato original. La competencia por nutrientes entre el patógeno y el resto de la biomasa microbiana se sugiere como el principal mecanismo responsable de la supresión general. Al contrario, se denomina supresión específica cuando solo un microorganismo o un grupo de ellos es responsable de controlar una enfermedad. La supresión específica corresponde a lo conocido como control biológico de enfermedades. Los mecanismos envueltos en la supresión específica son principalmente hiperparasitismo y/o antibiosis. Por ejemplo, el hiperparásito *Trichoderma* spp. es el taxón más importante aislado desde medios o sustratos supresivos que controla a *Rhizoctonia solani*, un hongo que vive en el suelo y que causa enfermedades

como: pudrición de raíz y corona en frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.), sarna negra en papa, caída de plántulas en hortalizas, lesiones radicales necróticas o pudrición de raíces en muchos cultivos, tales como trigo (*Triticum aestivum*), tomate (*Solanum lycopersicum*), remolacha (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*), achicoria (*Cichorium intybus*) y poroto (*Phaseolus vulgaris*). Por su parte, la antibiosis es un mecanismo usado por bacterias del género *Bacillus* y actinobacterias del género *Streptomyces* y *Amycolaptosis*. Actinobacterias aisladas de papas nativas de Chiloé mostraron antibiosis frente *Ralstonia solanacearum*, *Pectobacterium carotovorum* y *Pectobacterium atrosepticum* causantes de la marchitez bacteriana, pudrición negra y pie negro de la papa (Padilla-Gálvez *et al.*, 2017).

Herramientas para el control de enfermedades con criterios agroecológicos

Resistencia varietal

El mejoramiento vegetal enfocado en la resistencia de enfermedades permite seleccionar características asociadas a genes que dan resistencia o tolerancia a una determinada enfermedad. Esta resistencia puede estar determinada por la presencia y acción de muchos genes o conferida básicamente por la presencia de un solo gen (Burbano-Figueroa, 2020). La resistencia vegetal es la forma de menor costo para el/la agricultor/a y mayor efectividad en el control de enfermedades. Una variedad resistente permite que el/la agricultor/a se despreocupe de una enfermedad, evitando incurrir en gastos adicionales para su control. A pesar de su gran efectividad, este sistema de control no está generalizado en todas las especies y enfermedades, debido al alto costo inicial que significa establecer un programa de mejoramiento vegetal. A nivel mundial, estos programas de mejoramiento buscan principalmente rendimiento y calidad, ya que son los factores que consideran los/as agricultores/as convencionales para elegir una determinada variedad, asumiendo que los eventuales problemas de enfermedades se pueden seguir manejando con el uso de pesticidas. Además, las variedades de alta producción tienden a ser más susceptibles a enfermedades, ya que van acompañadas de un paquete de fertilización mayor a lo normal para poder suplir esos altos rendimientos, lo que aumenta la susceptibilidad a los patógenos. Sin embargo, existen grandes excepciones con especies de consumo masivo y enfermedades devastadoras, como por ejemplo las royas de cereales, donde los programas de mejoramiento genético incorporan al mismo tiempo genes de resistencia a enfermedades. En este ámbito hay mucho por desarrollar, incorporando nuevas patologías a los programas de mejoramiento vegetal y que estos incluyan metodologías para obtener variedades con resistencia duradera, ya que los patógenos, frente a la presión de selección que ejerce una variedad resistente que se empieza masificar en una zona, logran finalmente vencer estos genes de resistencia.

Las dos formas tradicionales de mejoramiento vegetal para enfermedades son buscar resistencia monogénica o vertical contra un patógeno, o resistencia poligénica u horizontal. La primera es la más utilizada y fácil de lograr, ya que solo se moviliza uno o dos genes de interés a través de los cruzamientos, pero es la más fácil de vencer por un patógeno, solo tiene que realizar unas pocas modificaciones (mutaciones) para desarrollar nuevos genes de virulencia. La resistencia horizontal es más compleja e involucra cientos de genes a la vez, lo cual no es fácil de lograr; sin embargo, con el desarrollo de la ingeniería genética ha surgido técnicas, como el mejoramiento asistido por marcadores moleculares, que permite hacer este tipo de mejoramiento. Dado que el cambio a nivel genético es complejo se trata de un tipo de resistencia muy difícil de vencer para un patógeno (Niks *et al.*, 2015).

Control cultural

El control cultural es fundamental en el manejo de enfermedades. Estas prácticas apuntan a mejorar la sanidad del suelo, a disminuir las condiciones medioambientales favorables para el desarrollo de las enfermedades, a disminuir el inóculo de los patógenos, etc. Entre ellas se puede mencionar la aplicación de enmiendas, el acamellonado y la poda.

Enmiendas

Las enmiendas normalmente se aplican para mejorar la fertilidad del suelo en sistemas manejados con criterios agroecológicos; sin embargo, las enmiendas orgánicas estabilizadas, como el compost, además favorecen la proliferación de organismos benéficos que actúan como biocontroladores de los patógenos de plantas. Este efecto es fácilmente verificable en sistemas agrícolas que llevan largas datas de incorporación de compost, donde se observan muy pocas enfermedades presentes.

Existen muchos estudios que muestran la relación entre suelos con altos contenidos de materia orgánica de reciente incorporación, como el compost, y los suelos supresivos a ciertas enfermedades (Bonanomi *et al.*, 2007). En un estudio realizado en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), se demostró que plántulas de tomate sembradas en macetas donde el sustrato tenía al menos un 50% de compost, no sufrían *damping-off* causado por *Globisporangium ultimum* (ex. *Pythium ultimum*), a pesar de inocular las macetas con este patógeno (Millas, 2014). Otro estudio demostró que la caída de plantas de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) causado por *Aphanomyces euteiches* disminuyó a valores inferiores al 40% cuando se aplicó una enmienda orgánica compostada (Céspedes-León *et al.*, 2006).

Es importante señalar que la incorporación de residuos vegetales sin tratar puede ser contraproducente para controlar enfermedades, esto se debe a que muchos residuos vegetales conservan y permiten la reproducción de los patógenos que los afectaron anteriormente. Por esta razón, no es bueno incorporar rastrojos o residuos de poda que no hayan sido debidamente compostados. El proceso de elaboración del compost permite eliminar los patógenos presentes en los residuos vegetales, además de destruir las semillas de malezas y favorecer la multiplicación de microorganismos benéficos debido a que contempla la descomposición aeróbica a altas temperaturas (Figura 12.2). Para que un compost puede ser aplicado al suelo y contribuya a la sanidad del suelo debe cumplir con los requisitos de la Norma chilena 2880 Compost - Requisitos de calidad y clasificación (INN, 2015).

Otras enmiendas utilizadas, como alcalinizar el suelo y llevarlo a un pH cercano a 7, normalmente fortalecen el desarrollo de la planta, por lo que la hacen menos susceptibles a enfermedades, pero en algunos casos puede favorecer o disminuir el desarrollo de algunos patógenos. Por ejemplo, la sarna común de la papa causada por *Streptomyces scabies* se favorece con suelos más alcalinos y con pH menor a 5,2 no se desarrolla, por lo que la incorporación de cal agrícola favorecerá la aparición de esta enfermedad. Por otra parte, hay enfermedades que son menos severas a medida que el suelo se hace alcalino, un ejemplo de esto es la hernia de las crucíferas, causada por *Plasmodiophora brassicae* que se inhibe por completo con pH 7,8 o superiores (Agrios, 2005).

Las aplicaciones de carbón al suelo en la forma de *Biochard*, un subproducto de la pirólisis de biomasa para la generación de biocombustible, tiene efectos positivos como inductor de resistencia a enfermedades, contra patógenos como pudrición gris (*Botrytis cinerea*) o el oidio (*Leveillula taurica*) en cultivos hortícolas (Elad *et al.*, 2010).



Foto 12.1. Pila de compost alcanzando altas temperaturas durante el proceso de descomposición de los residuos.

Camellones

El uso de camellones altos es una práctica importante para mantener la planta libre de anegamientos (Foto 12.2). La acumulación de agua que se genera en zonas lluviosas o en suelos con mal drenaje favorece el desarrollo de enfermedades que afectan a las raíces y cuello de las plantas, especialmente por patógenos del género *Phytophthora*. Existen varias especies que causan pudriciones de raíz y decaimiento en muchos cultivos, entre ellas *P. cinnamomi* y *P. cactorum* que causan problemas importantes en la mayoría de los frutales, como muerte de raíces y plantas. El sistema de dispersión de este patógeno es a través de zoosporas, esporas flageladas que pueden nadar en presencia de agua, por esta razón es que no se debe permitir el contacto del agua con el cuello de la planta, lo que evita que las zoosporas lleguen hasta esa zona. El uso de camellones altos impide esta forma de infección, sin embargo, se debe complementar con plantaciones en suelos bien drenados, evitar goteros en contacto con el cuello de las plantas y riegos excesivos que produzcan anegamientos, además de cuidar que, en el caso de riegos por microaspersión en frutales, no se moje el cuello de las plantas.



Foto 12.2. Plantación sobre camellones altos en huerto de arándano en Villarrica.

Poda

La poda además de tener la finalidad de formar la estructura en las plantas, puede usarse como un control cultural para disminuir las enfermedades. El tejido enfermo presente en el cultivo o en el huerto es una fuente de inóculo secundario desde donde se dispersa el inóculo a las plantas sanas, el corte y eliminación de ramas u otros tejidos infectados se denominan podas sanitarias o de limpieza (Foto 12.3). La eliminación de madera enferma en frutales permite retrasar el avance de enfermedades, como el plateado del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) causado por *Chondrostereum purpureum*, la cancrrosis del arándano causado por *Neofusicoccum* sp., *Botryosphaeria* en nogal (*Juglan regia*) que produce marchitez de brazos y el cáncer bacteriano en cerezo (*Prunus subg. Cerasus*) causado por *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. En otras enfermedades, como la muerte regresiva del arándano, donde el patógeno *Phomopsis vaccinii* avanza desde los ápices de las ramas hacia abajo, las podas sanitarias permiten erradicar la enfermedad de la planta. En el caso de enfermedades, como botritis (*Botrytis* sp.), oidio (*Erysiphe* spp., *Leveillula taurica*, *Podosphaera* spp., *Sphaerotheca* spp.) y roya (*Pucciniastrum* spp., *Phragmidium* spp., *Puccinia* spp., *Uromyces* spp.), donde se producen grandes cantidades de esporas en los tejidos infectados, también se recomienda remover el tejido enfermo para disminuir la cantidad de esporas; por ejemplo, en frambuesa (*Rubus idaeus*) para disminuir ataques de roya (*Pucciniastrum americanum*) se recomienda eliminar las hojas del tercio inferior y podar a piso para manejar infecciones severas de cancrrosis de las cañas causado por *Leptosphaeria coniothyrium*. En frutilla la poda de hojas envejecidas disminuye la presión de enfermedades como *Botrytis* sp., viruela (*Ramularia tulasnei*) y Oidio (*Podosphaera macularis* f. sp. *fragariae*).



Foto 12.3. Poda sanitaria en huerto de arándano. Corte de ramas con síntomas de cancrrosis del arándano (*Neofusicoccum* spp.) para sacarlas del huerto y evitar la dispersión del patógeno.

Los restos de poda de limpieza deben ser retirados, eliminados o de preferencia compostados, para eliminar la fuente de inóculo y aprovecharlos en la elaboración de biopreparados. Es un error incorporar restos de poda sin compostar, aunque sean triturados, ya que las esporas, picnidios, peritecios y otras estructuras reproductivas presentes en la madera enferma no se eliminan al cortarla en trozos. El caso de los residuos compostados es distinto, porque las altas temperaturas que se generan durante el compostaje eliminan por completo los patógenos de los residuos vegetales. El producto al final del proceso es materia orgánica estabilizada que puede ser aplicado al suelo mejorando sus características físicas, químicas y biológicas (Céspedes y Millas, 2015).

Control biológico

El control biológico utiliza organismos vivos o sus derivados para controlar plagas y enfermedades, como hongos, bacterias o virus antagonistas, que permiten disminuir o controlar poblaciones de fitopatógenos.

Entre los microorganismos más utilizados se encuentran especies de los géneros *Trichoderma*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Paecilomyces*. En Chile, estas especies se encuentran como productos comerciales para el control de diversas enfermedades y, algunas de ellas como bioplaguicida con registro SAG (ver: <https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/plaguicidas-y-fertilizantes/78/registros>). También existen productos que no tienen registro como plaguicidas, pero que contienen microorganismos biocontroladores como *Trichoderma* o *Bacillus*, estos productos son comercializados como biostimulantes o mejoradores de suelo, dado que no cuentan con el registro SAG para plaguicidas microbianos y, en consecuencia, no cumplen la norma descrita en la Resolución 9074 exenta del año 2018 del SAG (ver: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1127023>).

Existe una variada oferta de productos de biocontrol en base a *Trichoderma* y *Bacillus*, principalmente para el control de una gran cantidad de enfermedades y con registro SAG para diversos cultivos (Cuadro 12.1.).

Las especies de *Trichoderma* actúan principalmente como micoparásitos, ya que tienen la capacidad de producir enzimas que degradan las paredes de otros hongos para luego alimentarse de ellos. Debido a que su ambiente natural más común es el suelo, las especies de *Trichoderma* tienen un buen desempeño sobre enfermedades que viven en el suelo y/o que afectan el cuello y las raíces de las plantas. Normalmente se utilizan con aplicaciones al suelo o al cuello de la planta donde pueden establecerse si las condiciones de humedad y temperatura son favorables.

Cuadro 12.1. Plaguicidas biológicos con registro SAG.

Nombre del producto	Antagonista	Enfermedad	Huésped
BINAB T	<i>Trichoderma</i> spp.	Plateado y enrollamiento clorótico.	Varios frutales mayores.
SERENADE	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , Oidio, Pudrición húmeda.	Vides, varios frutales mayores y menores, varias hortalizas.
FRUIT PLUS	<i>Cryptococcus albidus</i>	Hongos de post-cosecha (<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Penicillium expansum</i>).	Peras, manzanas.
TRICHONATIVA	<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Botrytis cinerea</i> , Corazón mohoso, Sarna del manzano. Pudrición de raíces y cuello, entre otras.	Frutales, vid y berries.
TRICHO-D WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i> .	Vides
3 TAC	<i>Trichoderma</i> spp.	Damping off, <i>Botrytis cinerea</i> . oídio, mildiú, <i>Cercospora</i> , entre otros	Almacigo hortalizas, frutales, vid
3 TAEX	<i>Trichoderma atroviride</i>	Plateado, <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Alternaria alternata</i> , entre otros	Frutales, vides, Pino
TIFI POLVO	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , enfermedades de la madera (<i>Diplodia seriata</i> y <i>Neofusicoccum australe</i>)	Tomate, vid, arándanos, manzanos, carozos
TRICHODERMA PASTA	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Phytophthora cactorum</i> / Sellado de heridas y cortes de poda.	Frutales y vid
TRICHODERAMA SUSPENSION	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , Pudrición de cuello y raíces.	Tomate, vid, carozos, manzano, arándano.
HARZTOP	<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Botrytis cinerea</i> , Damping-off, pudrición de raíces (<i>Phytophthora</i> spp.)	Hortalizas, frutales, vid, trigo, avena.
NACILLUS PRO	<i>Brevibacillus parabrevis</i> , <i>Bacillus</i> spp.	Oídio, sarna del manzano, alternaria, mildiú, pudrición acuosa.	Vid, manzano, tomate industrial, melón, ajo, clavel.
AMYLO-X	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<i>Botrytis cinerea</i> ,	Tomates, cerezo, uva de mesa, arándano.
CORAZA	<i>Bionectria ochroleuca</i> , <i>Hypocrea virens</i> , <i>Bacillus licheniformis</i>	Cancro europeo, plateado, cáncer bacterial, enfermedades de la madera en vid.	Manzano, vides, carozos.
BACIFRUIT SC	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Botrytis cinerea</i> .	Arándano, kiwi
BIOMONGEN	<i>Trichoderma virens</i> , <i>Hypocrea lixii</i>	<i>Fusarium moniliforme</i>	Maíz

Continuación Cuadro 12.1.

Nombre del producto	Antagonista	Enfermedad	Huésped
MAMULL	<i>Bionecria ochroleuca</i> , <i>Trichoderma gamsii</i> , <i>Hypocrea virens</i>	Cancro europeo, plateado, enfermedades de la madera en vid	Manzano, cerezo, vid, arándano.
SERIFEL WP	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , Pudrición ácida de la vid, pudrición morena, oídio alternaria, pudrición blanca.	Vides, arándanos, carozos, tomate, lechuga.
PUELICHE WP	<i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Hypocrea virens</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , Tizón temprano, Tizón tardío.	Vid, berries, carozos, papa, tomate y pimentón.
PUELICHE-VTO MAX	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Brevibacillus brevis</i>	Pudrición ácida.	Vid
OSPO	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , oídio .	Vid, arándano, frutilla.
BACIFORT	<i>Bacillus subtilis</i>	Peca bacteriana (<i>Pseudomonas syringae</i> pv. tomato).	Tomate, nogal.
TRICHOFORTE WP	<i>Trichoderma atroviride</i>	Fusariosis, Pudrición de raíces y cuello.	Tomate, nogal.
TRICHOFRUIT WP	<i>Trichoderma atroviride</i> , <i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Botrytis cinerea</i> .	Arándano, kiwi

Fuente: SAG. Lista de plaguicidas con autorización vigente (febrero 2021).
<https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/plaguicidas-y-fertilizantes/78/registros>.

En el caso de las bacterias del género *Bacillus*, hay varias especies que han sido desarrolladas como biopesticidas comerciales para controlar enfermedades y plagas, entre las que destacan se encuentran: *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. sonorensis*, *B. sphaericus*, *B. subtilis* y *B. thurigiensis* (Bt).

Las especies de *Bacillus* tienen una habilidad única para replicarse rápidamente, lo que es ventajoso al producirlos industrialmente. Además, son muy resistentes a las condiciones ambientales adversas, tales como altas temperaturas y falta de agua, lo que les da una ventaja en la sobrevivencia después de la aplicación en comparación a otros microorganismos. Producen una amplia gama de moléculas con propiedades antibióticas, fungicidas o insecticidas, que son usadas para el control biológico. Asimismo, tienen la capacidad de solubilizar nutrientes y producir hormonas que promueven el crecimiento vegetal.

El Banco de Recursos Genéticos Microbianos de INIA conserva más de 200 aislamientos de *Trichoderma* y al menos 25 aislamientos de distintas especies de *Bacillus* (*B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. subtilis* y *Bacillus* sp.), las que han sido aislados desde distintos sustratos tales como: plantas, compost, té de compost, suelos provenientes de embalses, bosques nativos y reservas naturales. Estos aislamientos han demostrado inhibir el crecimiento de varios patógenos, entre los que se encuentran los causantes de caída de plantas (*Rhizoctonia solani* y *Globisporangium ultimum*), marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*), canchales del arándano (*Neofusicoccum parvum*) y cáncer bacteriano (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*), entre otras (Foto 12.4.) (Millas y Tapia, 2020).

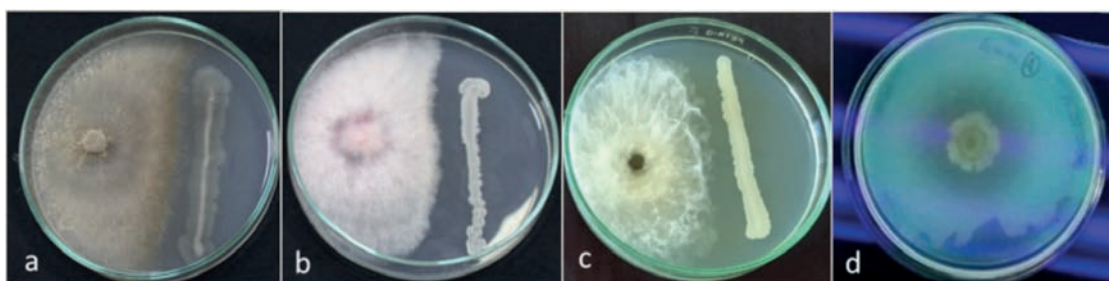


Foto 12.4. Inhibición in vitro del crecimiento de patógenos a) *Rhizoctonia solani*, b) *Fusarium oxysporum*, c) *Neofusicoccum parvum* y d) *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. En a, b y c, *Bacillus* se observa como una línea al lado derecho de la placa y el patógeno al lado izquierdo; en d, se observa un disco al centro de la placa y el crecimiento del patógeno con coloración fluorescente en la superficie de la placa. Fuente: propia.

En la actualidad, en INIA se realizan distintas investigaciones para evaluar las capacidades de estos microorganismos en el control de plagas y enfermedades, además de conocer su capacidad de secretar distintos metabolitos, enzimas o moléculas que pueden ser un aporte a la agricultura sostenible y en condiciones ambientales adversas como el cambio climático.

Inducción de resistencia en plantas (SAR)

La resistencia sistémica adquirida (SAR) es uno de los mecanismos que usan las plantas para defenderse de los patógenos, corresponde a una cascada de reacciones bioquímicas que le permiten eliminar a posibles patógenos. Este mecanismo puede ser inducido por la presencia de productos químicos o microorganismos no patógenos (Kavroulakis *et al.*, 2007), tales como microorganismos utilizados para el control biológico como endófitos y micorrizas (Shoresh *et al.*, 2010). Las reacciones de resistencia conllevan la producción de fitoalexinas o proteínas de resistencia, que pueden eliminar microorganismos patógenos o causar la muerte programada de las células, impidiendo que el patógeno se alimente de ellas.

Los inductores de resistencia pueden actuar externamente o desde el interior de la planta, siendo esta última forma más persistente e independiente de las condiciones ambientales que rodean la planta (Barra-Bucarei *et al.*, 2019). Los microorganismos endófitos cumplen la segunda función y pueden generar una respuesta mayor y más rápida a la presencia de un patógeno, debido a la generación de metabolitos secundarios que actúan como elicitores o por poseer propiedades antimicrobianas (Gao *et al.*, 2010). Para que se desarrolle la resistencia no es necesario que el inductor de este mecanismo esté en el sitio donde se está desarrollando el patógeno, ya que las señales son sistémicas y los genes relacionados a los mecanismos de defensa se activan en toda la planta (Ownley *et al.*, 2004).

Existen dos tipos de resistencia inducida: resistencia sistémica adquirida (SAR) y resistencia sistémica inducida (ISR), las que se diferencian en la naturaleza del elicitador. En el caso del SAR la inducción se debe a la infección de un patógeno o a la presencia de compuestos químicos, generándose ácido salicílico y la acumulación de proteínas de resistencia (PR). En el caso del ISR, la inducción de resistencia se produce por microorganismos no patógenos, incluyendo los endófitos y rizobacterias, que estimulan la producción de jasmonatos y etileno (Pieterse *et al.*, 1998), entre otros, y en algunos casos con producción de proteínas de resistencias (Ryu *et al.*, 2003; Kavroulakis *et al.*, 2007). Estos mecanismos terminan en la producción de fitoalexinas y enzimas como quitinasas y glucanasas, que inhiben el desarrollo de patógenos.

Comentarios finales

En general, el control eficiente de enfermedades debe considerar la mayor cantidad de alternativas posibles, ya que no se puede depender de una sola opción. Debe ser preventivo y no ir detrás de la enfermedad, ya que el patógeno se reproducirá más rápido que los resultados que se puedan lograr con las medidas que se vayan implementando. Será el conjunto de medidas y su aplicación temprana, la que finalmente evitará los indeseables efectos que producen las enfermedades de las plantas.

Referencias

- Agrios, G .N. (2005).** Fitopatología, 2° edición. Limusa.
- Barra-Bucarei, L., France, A., and Millas, P. (2019).** Crossing frontiers: Endophytic entomopathogenic fungi for biological control of plant diseases en T. R. Hodkinson; F. M. Doohan; M.J. Saunders and B. R. Murphy; (Eds.) Endophytes for a Growing World; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 67.
- Bonanomi, G., V. Antignani, C. Pane, and F. Scala F. (2007).** Supresion of soilborne fungal diseases with organic amendmets. *Journal of Plant Pathology*, 89(3), 311-324. <http://www.jstor.org/stable/41998409>
- Burbano-Figueroa O. (2020).** Resistencia de plantas a patógenos: una revisión sobre los conceptos de resistencia vertical y horizontal. *Revista Argentina de Microbiología*, 52, 245-255. doi:10.1016/j.ram.2020.04.006
- Céspedes-Leon, M. C., Stone, A., and Dick, R. P. (2006).** Organic soil amendmets: Impacts on snap bean common root rot (*Aphanomyces euteiches*) and soil quality. *Applied Soil Ecology*, 31(3), 199–210. doi:10.1016/j.apsoil.2005.05.008
- Céspedes, C. y Millas, P. (2015).** Relevancia de la materia orgánica del suelo en C. Ruiz (Ed). *Rastrojos de cultivos y residuos forestales Programa de transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego en la Región del Bio-Bio* (Boletín 308 pp. 31-48). INIA-Quilamapu, Ministerio de Agricultura. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7856>
- Darby, H. M., Stone, A. G., and Dick, R. P. (2006).** Compost and manure mediated Impacts on soilborne pathogens and soil quality. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 347–358. doi:10.2136/sssaj2004.0265
- Elad, Y.; David, D.; Harel, Y.; Borenshtein, M.; Kalifa, H.; Silber, A.; Graber, E. (2010).** Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent. *Phytopathology* 100(9):913-21. doi:10.1094/phyto-100-9-0913
- Gao, F. K., Dai, C. C., and Liu, X. Z. (2010).** Mechanisms of fungal endophytes in plant protection against pathogens. *African Journal of Microbiology Research*, 4(13), 1346-1351. https://academicjournals.org/article/article1380280021_Gao%20et%20al.pdf

- INN. (2015).** Norma chilena Oficial NCh 2880. Of 2015. *Compost - Requisitos de calidad y clasificación.*(16p). Instituto Nacional de Normalización, (INN), Chile.
- Kavroulakis, N., Ntougias, S., Zervakis, G. I., Ehaliotis, C., Haralampidis, K., and Papadopoulou, K. K. (2007).** Role of ethylene in the protection of tomato plants against soil-borne fungal pathogens conferred by an endophytic *Fusarium solani* strain. *Journal of Experimental Botany*, 58(14), 3853-3864. doi:10.1093/jxb/erm230
- MacHardy, W. E. and Gadoury, D. M. (1989).** A revision of Mills' s criteria for predicting apple scab infection periods. *Phytopathology*, 79(3), 304-310. doi:10.1094/Phyto-79-304.
- Millas, P. (2014).** Capacity of compost with high content of particulate organic matter to suppress root rot disease of tomato plants. *2012 Annual Meeting of the American Phytopathological Society*. 9-13 agosto, 2014, Minneapolis, MN, EEUU.
- Millas P. y Tapia, E. (2020).** *Bacillus*: bacterias clave para el futuro de la sanidad vegetal en contexto de cambio climático. *Tierra Adentro*, 113, (12-16). <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/67190>
- Millas P. y France, A. (2020).** *Consideraciones y manejo de la podredumbre carbonosa del arándano*. Ficha Técnica INIA N°80. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/67049>
- Niks, R.; Qi, X. and Marce, T. (2015).** Quantitative resistance to biotrophic filamentous plant pathogens: Concepts, misconceptions, and mechanisms. *Annual Review of Phytopathology*, 53(1), 445–470. doi:10.1146/annurev-phyto-080614-115928
- Ownley, B. H., Pereira, R. M., Klingeman, W. E., Quigley, N. B., and Leckie, B. M. (2004).** *Beauveria bassiana*, a dual purpose biocontrol organism, with activity against insect pests and plant pathogens. *Emerging concepts in plant health management 2004*, 255-269.
- Padilla-Gálvez, N., Luengo, P., Silva, R., Araya, M., Mancilla, S., Luengo, V., Acuña, I.; France, A. and Urrutia, H. (2017).** Actinobacterias endófitas de papa nativa chilena (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) capaces de colonizar la endósfera de Papa Pukará-INIA (*S. tuberosum* L.) antagonistas de *Ralstonia solanacearum*, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* y *Pectobacterium atrosepticum*. pp. 95 in XXV Congreso de la Sociedad Chilena de Fitopatología, 2 al 5 de octubre de 2017, Termas de Chillán, Chile.
- Pieterse, C.M., van Wees, S.C., van Pelt, J.A., Knoester, M., Laan, R., Gerrits, H., Weisbeek, P.J., van Loon, L.C. (1998).** A novel signaling pathway controlling induced systemic resistance in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 10(9):1571-1580. doi: 10.1105/tpc.10.9.1571.
- Dotor-Robayo, M. y Cabezas-Gutiérrez, M. (2014).** Mecanismos de resistencia sistémica en plantas. *Acta Iguazu*, 3(2), 1-19. doi:10.48075/actaiguaz.v3i2.10277.
- Ryu, C. M., Hu, C. H., Reddy, M. S., and Kloepper, J. W. (2003).** Different signaling pathways of induced resistance by rhizobacteria in *Arabidopsis thaliana* against two pathovars of *Pseudomonas syringae*. *New Phytologist*, 160(2), 413-420. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00883.x

- Rotenberg, D., Wells, A. J., Chapman, E. J., Whitfield, A. E., Goodman, R. M., and Cooperband, L. R. (2007).** Soil properties associated with organic matter-mediated suppression of bean root rot in field soil amended with fresh and composted paper mill residuals. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(11), 2936–2948. doi:10.1016/j.soilbio.2007.06.011
- Shoresh, M., Harman, G. E., and Mastouri, F. (2010).** Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual review of phytopathology*, 48(1), 21–43. doi:10.1146/annurev-phyto-073009-114450





III. Agroecología en la Región de Los Ríos



Mujer cosechando verduras (1892). Henri-Edmond Cross.

En la Región de los Ríos la producción hortofrutícola en huertos caseros corresponde a más de la décima parte de su equivalente nacional y el componente femenino mayoritariamente se hace cargo de la producción hortícola y de frutales para la alimentación del hogar. El rol de la mujer resulta relevante en la conservación y trasmisión de la cultura local y el conocimiento, sosteniendo con su trabajo el autoconsumo familiar. La escena representa esta realidad, se puede ver una mujer cosechando hortalizas junto a su hija.



Capítulo 13

La agricultura en la Región de Los Ríos: Desafíos, oportunidades e impactos del programa de transferencia

Sigrid Vargas Sch.¹

Cecilia Céspedes L.²

Alejandro Yacuzzi C.³

La Región de Los Ríos ha sido reconocida por su gran potencial productivo basado principalmente en las actividades agropecuarias y forestales, las que contribuyen a la oferta de puestos de trabajo e incrementan el producto interno bruto (PIB), transformándose en uno de los sectores más relevantes de la economía regional (Gobierno Regional de Los Ríos, 2014). La vocación y aptitud productiva histórica de estas actividades están representadas en el desglose que se presenta en la Figura 13.1.

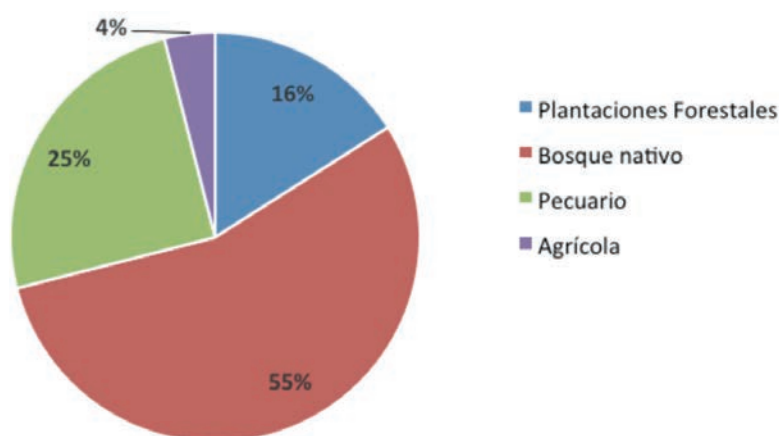


Figura 13.1. Uso del suelo por el sector silvoagropecuario en la Región de Los Ríos. Fuente: Gobierno Regional de Los Ríos, 2014.

¹ Investigadora extensionista. Horticultura y agroecología. INIA Quilamapu. svargas@inia.cl

² Investigadora. Agroecología. INIA Quilamapu. cecilia.cespedes@inia.cl

³ Técnico Universitario. Diplomado en Agroecología. agroecologia.losrios@inia.cl.

Respecto de la distribución del tamaño de la propiedad, el 90,7% de las 26.529 explotaciones forestales, pecuarias y agrícolas de la región, tiene menos de 100 ha, esto representa un 15,3% de la superficie y da cuenta de la importancia de la pequeña y mediana propiedad, al mismo tiempo evidencia la concentración de la superficie productiva en pocas explotaciones de gran tamaño (Figura 13.2.).

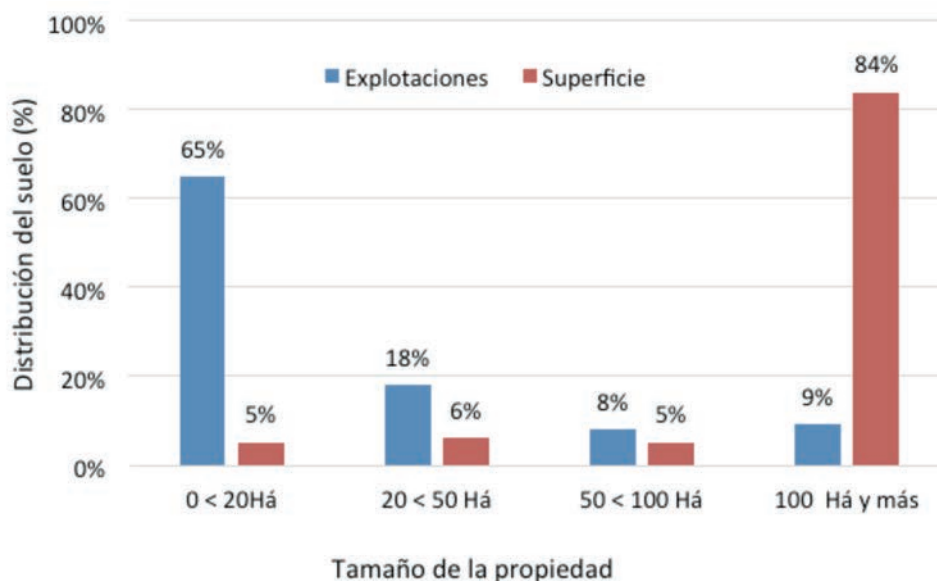


Figura 13.2. Perfil de productores y distribución del suelo en la Región de Los Ríos. Fuente: Odepa, 2019.

De acuerdo a parámetros OCDE, un 57% de la población de la Región de Los Ríos vive en la ruralidad y un 95% de la superficie es rural, es decir 11 de las 12 comunas que la conforman (Odepa, 2019) y presenta un gran número de explotaciones agrícolas que en su mayoría pertenecen a la agricultura familiar campesina (AFC) con manejo tradicional a pequeña escala.

Los rubros agrícolas ocupan una superficie de 33.645 ha, desglosándose en 83,1% con cultivos, 9,8% frutales, 5,25% hortalizas y 1,9% otros. Las hortalizas, en particular, son destinadas al autoconsumo y venta de excedentes, con una superficie de 1.700 ha, esto representa el 1,8% del total nacional, con explotaciones de 0,1 a 49,9 ha (Odepa, 2019). Lo anterior muestra que la producción hortícola regional está principalmente en manos de la AFC y su producción está destinada en un 15% a autoconsumo, 11% venta en el predio, 48% venta en ferias locales y 26% venta en mercados establecidos (Gobierno Regional de Los Ríos, 2014).

Si bien la superficie hortícola regional es de poco menos del 2% de la superficie nacional, la destinada a huertas caseras corresponde a un 11% de su equivalente nacional (Cuadro 13.1.), donde el rol del trabajo de la mujer resulta relevante. Existen, entonces, agricultores/

as que traen consigo un conocimiento del trabajo intensivo de la tierra para el autoconsumo, superficie equivalente a la destinada a un propósito comercial (Cuadro 13.1.), lo que sugiere un importante potencial de expansión del rubro hortícola.

Cuadro 13.1. Superficie regional del rubro hortícola.

Producción de hortalizas	Superficie			
	Región		País	
	ha	%	ha	%
Autoconsumo	1.770,0	0,5	16.138,2	11
Comercial	1.750,2	0,5	95.953,7	1,8

Fuente: Yáñez, 2018.

A través del trabajo de extensión desarrollado durante los 6 años del programa y gracias a la interacción con los/as agricultores/as de la región, se pudo vivenciar que la cultura y el saber ancestral están vigentes en el campesinado y en los pueblos originarios de la zona, y han sido enriquecidos con recursos genéticos vegetales diversos y con el conocimiento que traían consigo los colonos europeos que se asentaron en la región. Esta amalgama generó una diversidad y carácter único a partir de la cual surgieron prácticas y conocimientos amigables con el medioambiente.

En la actualidad, con el nuevo escenario causado por el cambio climático (CC), se presentan positivas las proyecciones de sus efectos para la Región de Los Ríos (Cepal, 2009), ya que la disminución de un 50% en las pluviometrías estivales y el aumento de 2,1 a 2,7°C en las temperaturas medias, desplaza la frontera productiva de algunos cultivos hacia el sur, promoviendo en la región el desarrollo de rubros emergentes, como los frutales y las hortalizas. Esta situación ha generado grandes oportunidades y desafíos, tal como establece en su misión la Política Regional de Desarrollo Silvoagropecuario (PRDSAP) impulsada por el Gobierno Regional de Los Ríos (2014: 60) *“Mejorar la competitividad y desarrollo sustentable del sector agroalimentario de manera innovadora y asociativa, mediante la articulación, coordinación, seguimiento y evaluación de acciones público y privadas, potenciando capacidades y orientando la gestión e inversión con un enfoque territorial”*.

Para que se hagan realidad las nuevas oportunidades productivas que ofrece el CC en el sector hortícola regional es fundamental incorporar el conocimiento, tecnología y prácticas que permitan la producción sostenible. La agroecología es una vía real y concreta para lograr este enfoque y desarrollar una horticultura exitosa. Ya en capítulos anteriores se plantea la agroecología como una vía para desarrollar sistemas agrícolas armónicos, respetuosos con el medioambiente y resilientes frente a eventos extremos, que además de incluir la conservación de los recursos naturales considere los aspectos socioculturales locales y económicos pertinentes.

Debido a la falta de instancias de capacitación y encuentro de agricultores/as locales en torno a la producción con criterios agroecológicos y con un manejo amigable con el medioambiente, en 2013 las organizaciones de productores/as orgánicos/as regionales solicitaron al Gobierno Regional de Los Ríos el apoyo para obtener mayor conocimiento técnico en el manejo de sistemas agrícolas con base agroecológica. Esto llevó a la implementación de un programa de transferencia tecnológica financiado por el Fondo nacional de desarrollo regional (FNDR), enfocado en dar respuesta a estas demandas y que lleva por título Producción agroecológica y orgánica para pequeños y medianos productores de la Región de Los Ríos, cuya implementación se produjo a fines del año 2014 con fecha de término el 31 de diciembre del 2021. Este programa ha sido ejecutado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) desde el Centro Regional de Investigación Remehue, en Osorno, y la Oficina Técnica, en Valdivia.

Programa Producción agroecológica y orgánica para pequeños y medianos productores de la Región de Los Ríos

El programa tuvo como objetivo contribuir al dinamismo económico de las actividades silvoagropecuarias, al desarrollo territorial rural, particularmente en el ámbito de los pequeños y medianos productores. Se espera generar capacidades técnico-productivas en los/as pequeños/as y medianos/as productores/as y asesores/as de la Región de Los Ríos en el ámbito del manejo agroecológico y orgánico del rubro hortofrutícola.

El primer desafío del programa fue determinar las brechas productivas de las comunas en las que se trabajaría. Sin embargo, un trabajo previo indicaba que entre las principales brechas regionales identificadas en la Política de Desarrollo Silvoagropecuario (PRDSAP) (2014-2018), se encontraba la baja productividad asociada al uso inapropiado e insuficiente de tecnologías específicas de producción y de apoyo, la estacionalidad productiva, la baja diversidad de especies y variedades y el bajo valor agregado a la producción, lo que se podía visualizar claramente en la producción de hortalizas y berries en la región. En particular, existían grandes brechas relacionadas con el manejo por la falta de conocimientos, las que pueden resolverse utilizando criterios agroecológicos, para adaptar la producción agrícola con una mirada de sistema y a largo plazo.

Con ese fin es necesario sustituir el uso de agrotóxicos por biopreparados elaborados con recursos locales mediante el reciclaje, mejorar el contenido de materia orgánica en el suelo, aumentar la diversidad de especies, conservar semillas, agua, suelo y la cultura local (Gliessman, 2002). A lo anterior se debe agregar la importancia de la asociatividad para el éxito de estos sistemas, a través de la vinculación y articulación de los actores de la cadena regional de producción con criterios agroecológicos, fortaleciendo las organizaciones de agricultores/as, optimizando el uso de los recursos productivos y el acceso a la información,

mediante la transferencia tecnológica e innovación, para promover un mayor desarrollo local, particularmente de la AFC (Peralta, 2021).

En la producción hortofrutícola, las actividades realizadas con los/as agricultores/as y asesores/as beneficiarios/as, mostraron que las brechas se relacionaban con el desconocimiento del correcto manejo agronómico de las diferentes especies y con el manejo agroecológico y orgánico para obtener un óptimo rendimiento y calidad de producto, junto con la sostenibilidad del sistema productivo. Así por ejemplo, desde una perspectiva agroecológica, los berries, frutales mayores y la producción pecuaria se deben integrar en el diseño predial, contribuyendo a incrementar la biodiversidad, diversificar la dieta familiar, proporcionar residuos orgánicos para la elaboración de bioinsumos y generar ingresos por venta de productos frescos y elaborados (Infante, 2015).

Sin embargo, la fruticultura y la horticultura son rubros emergentes en la Región de Los Ríos. Su desarrollo presenta oportunidades y desafíos público-privados para implementar sistemas productivos sostenibles, que incorporen cadenas agroalimentarias que cumplan con las normativas y generen productos y servicios de la mejor calidad, para el abastecimiento regional y nacional. La agroecología, por su parte ofrece la oportunidad de obtener productos de excelente calidad, junto con promover vínculos respetuosos entre las personas y utilizar el conocimiento científico innovador, para resolver las necesidades de los/as productores/as, industria y consumidores/as.

Todo lo señalado cobra mayor relevancia en el contexto del cambio climático y sus efectos en la agricultura, debido a que los sistemas manejados con criterios agroecológicos han demostrado ser más resilientes, ya que estimulan la biodiversidad, el reciclaje, la conservación y restauración de los suelos, permiten generar sistemas productivos diversos y con potenciales productivos más estables (Altieri y Nicholls, 2013).

La línea base que el programa realizó con los/as agricultores/as beneficiarios/as directos/as, permitió demostrar que los/as pequeños/as y medianos/as productores/as de la Región de los Ríos han incorporado manejos ancestrales amigables con el medioambiente, permeando ese conocimiento a la producción hortofrutícola que hoy es necesario potenciar para responder a los mercados locales, nacionales e internacionales.

Luego de conocer los resultados de la línea base, se inició la transferencia de principios y técnicas de producción agroecológica. La metodología de transferencia utilizada se basó en la conformación de grupos de agricultores y asesores de las seis comunas participantes, con los cuales se realizaron actividades mensuales de capacitación teórico prácticas. Se sociabilizó el programa y se realizó una consulta para determinar el interés de los/as agricultores/as y técnicos/as en participar. Así se conformaron los seis grupos de agricultores/as de las comunas de San José de la Mariquina, Máfil, Futrono, Paillaco, Río Bueno y

Lago Ranco (Figura 13.3.). Además, se conformó un grupo de asesores/as de estas seis comunas, totalizando así 180 agricultores/as y 31 asesores/as beneficiarios/as. La inclusión de los/as asesores/as fue fundamental para dar sostenibilidad a la adopción de las nuevas prácticas y tecnologías transferidas e implementadas por parte de los/as agricultores/as. Para fortalecer lo anterior, se realizó un curso de formación continua en agroecología para profesionales y técnicos de las seis comunas participantes. En este curso se entregaron los argumentos teóricos y las herramientas técnicas para promover y fortalecer el desarrollo de la agroecología y agricultura orgánica en la región, mediante capacitaciones presenciales y virtuales.



Figura 13.3. Mapa de la Región de Los Ríos. Las estrellas indican las comunas participantes del programa. Fuente: Gobierno Regional de Los Ríos. (Mapa no considera límite internacional).

A través del programa se instalaron tres módulos de validación técnica y difusión en las comunas de Río Bueno, Paillaco y Máfil, con el fin de contar con sitios para hacer investigación y tener vitrinas tecnológicas que permitieran difundir las distintas prácticas y técnicas agroecológicas, tanto en los talleres, días de campo y cualquier otra actividad de difusión organizada con este fin. En estas unidades denominadas faros agroecológicos (FA) se instalaron invernaderos, patios de biopreparados, mesones para la elaboración de almácigos y sistemas de riego. Además permanentemente se establecieron y mantuvieron cultivos hortícolas y berries, de acuerdo a los principios y técnicas con criterios agroecológicos. Adicionalmente, en las comunas de Futrono, Mariquina y Lago Ranco se realizaron talleres prácticos en campos de los/as agricultores/as (Fotos 13.1.).



Fotos 13.1. Actividades de capacitación con agricultores/as y asesores/as en predios de agricultores/as.

En los tres FA se generó material audiovisual, para difundir mediante redes sociales y alcanzar a los beneficiarios/as y otros/as interesados/as. El FA de Río Bueno se ubicó en el predio de la señora Nelly Ríos Ojeda, una agricultora beneficiaria de INDAP y referente en su localidad, quien transformó completamente su sistema de manejo productivo, desde el manejo convencional a la implementación de prácticas y tecnologías agroecológicas, con el apoyo del equipo técnico del programa, logrando autonomía en el uso de insumos y óptimos resultados en la producción y venta de sus productos (Fotos 13.2.).



Fotos 13.2. Faro agroecológico de Río Bueno, a cargo de la señora Nelly Ríos.

El FA de Paillaco se ubicó en la Escuela Agroecológica de Lumaco, lugar que pertenece a la Ilustre Municipalidad de Paillaco y que tiene una historia previa de trabajo colaborativo en la promoción y desarrollo de la agroecología. En ella existe un equipo de profesionales y técnicos con los cuales se realizó el diseño predial que se implementó en forma conjunta. El equipo de la Escuela Agroecológica de Lumaco se hace cargo de la mantención de la unidad y le ha dado sostenibilidad al sistema productivo. Su ubicación es estratégica dentro de la región, ya que se encuentra justo en el centro de ella, facilitando la movilidad de los/as agricultores/as y equipos técnicos que la visitan, además cuenta con instalaciones que permiten la realización de capacitaciones, por esto ahí se llevó a cabo el Curso de formación continua de agroecología para equipos técnicos y extensionistas 2019-2021, ofrecido por el programa (Fotos 13.3.).



Fotos 13.3. Faro agroecológico de Paillaco, a cargo del municipio de Paillaco.

El FA de Máfil se implementó en el Centro de Innovación Colaborativa Silvoagropecuaria de Máfil, el que se encuentra en las dependencias del ex Liceo Agrícola de la comuna y que hoy pertenece al Gobierno Regional de Los Ríos. En este predio y con una estructura innovadora de trabajo se instalaron en 2019 actores públicos y privados, bajo el alero de iniciativas financiadas por fuentes de financiamiento regional y nacional, con el propósito de fomentar la innovación regional. El FA de Máfil se estableció sobre un terreno de 2.000 m²,

sin actividad agrícola por dos décadas. Fue necesario habilitar y nivelar el terreno antes de preparar el suelo para permitir el adecuado desarrollo de los cultivos hortícolas y frutales menores que luego se establecerían. El diseño de la unidad se realizó para ser replicado en cualquier predio agrícola de la región. Se establecieron diversos ensayos, con el fin de evaluar prácticas agroecológicas innovadoras, aplicando los principios de la economía circular (Fotos 13.4.); además se realizaron diversas actividades de difusión presenciales, antes de la pandemia por COVID-19. Se generó material de difusión, como videos y fichas técnicas, se realizaron talleres y un día de campo virtual (Fotos 13.5.).



Fotos 13.4. Faro agroecológico de Máfil.



INIA FICHA TÉCNICA **116** 2020

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS INIA REMEHUE

Manejo agroecológico y control de Oídio (*Erysiphe cichoracearum* L.) en Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

Sigrid Vargas, Ing. Agrónoma / Oficina Técnica - INIA Los Ríos, Rosa Perdomo, Ing. Agrónoma, Dr. / INIA Remehue

Nombre común de plaga: Oídio, polvillo o cenicilla de la lechuga.

Daño: El oídio es muy común en hortalizas especialmente dentro de invernaderos. Este hongo necesita alta humedad y temperaturas medias para desarrollarse. El micelio cubre las hojas y dificulta la fotosíntesis y respiración del tejido vegetal, pudiendo luego producir una necrosis puntiforme del tejido. Habitualmente se puede observar en otoño en etapas tardías de los cultivos de verano y en producción otoñal de hortalizas de hoja. Los daños en lechuga se muestran en las fotos 1, 2 y 3.

Medidas de control:

- Establecer una densidad de población de plantas que permitan la circulación del aire entre ellas. En el caso de la lechuga en el otoño se sugiere aumentar distancias entre y sobre hilera a 30 cm.
- La ventilación del invernadero debe ser diaria, abriendo antes de las 10 am para reducir la humedad ambiental y cerrando a partir de las 17:00 para guardar temperatura.
- Manejar en forma adecuada la humedad del suelo procurando no regar de manera excesiva.

Foto 1. Etapa inicial de infección de oído, Mafil.

Lechugas

Ministerio de Agricultura

INIA FICHA TÉCNICA **89** 2020

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS INIA REMEHUE

Manejo y control agroecológico de babosas y caracoles en huertos hortícolas

Enrique Felipe Valdeben L., Ing. Agr. M.Sc.; Sigrid Vargas S., Investigadora / INIA Remehue

Caracol de tierra (Helix aspersa Muller) (Gastropoda Helicidae):

Babosa gris cilíndrica (Deroceras reticulatum Muller) (Gastropoda Liracidae):

Babosa bicolor del campo (Deroceras laeve Muller) (Gastropoda Liracidae):

Babosa grande de jardín (Limax maximus L.) (Gastropoda Liracidae):

Los baboscos y caracoles son moluscos terrestres de la Clase Gastropoda (que significa que se arrastran sobre su vientral, siendo la Clase que posee la mayor diversidad de especies dentro del filo Mollusca (moluscos)), encontrándose especies tanto en la superficie terrestre como en el mar y un agua dulce (Chanat et al., 2007).

En Chile, estos moluscos terrestres son considerados plagas, debido a los daños que causan en jardines, hortalizas y frutas producto de su alimentación, con un hábito alimenticio del tipo "hojivora".

Cuadro 1. Identificación de las principales especies de Moluscos Gastropodos que afectan los huertos hortícolas de la XIV y XV Región por su tamaño y color.

Nombre Común	Nombre Científico	Tamaño	Color	Foto
Caracol de tierra	Helix aspersa Muller	80 mm	rojo y gris pálido	
Babosa gris cilíndrica	Deroceras reticulatum Muller	35 mm	gris claro, crema	
Babosa bicolor del campo	Deroceras laeve Muller	25 mm	rojo y negro	
Babosa grande de jardín	Limax maximus L.	70 a 100 mm	gris claro con manchas negras	

Estos moluscos viven predominantemente en zonas templadas húmedas y de temperaturas entre los 10°C a 18°C, de hábitos nocturnos y tienden a activarse después de una lluvia. Son especies hermofroditas (posee los 2 sexos en el mismo individuo) por lo cual pueden auto-fecundarse, pero si más común el apareamiento entre 2 individuos (copula recíproca) depositando los huevos fecundados entre 150 a 500 en lugares protegidos que las proporcionan la humedad necesaria para su desarrollo (Aguilera, 2001; Chanat et al., 2007).

En el Cuadro 1 se detallan características para la identificación de 4 especies de moluscos gastropodos encontrados comúnmente en los jardines y en los huertos agrícolas.

Plaga de las lechugas

Ministerio de Agricultura

Foto 13.5. Talleres y día de campo (arriba). Dos fichas técnicas (abajo).

El programa también generó redes de vinculación entre los diferentes actores de la cadena de producción agroecológica, mediante la ejecución de un estudio que contribuirá al fortalecimiento de la cadena de valor y comercialización de los productos hortofrutícolas orgánicos y de base agroecológica, en las comunas de Mariquina, Mafil, Futrono, Paillaco, Río Bueno y Lago Ranco. Este estudio determinó la oferta y demanda de la producción hortofrutícola orgánica y de base agroecológica en estas comunas, definiendo una estrategia de articulación de los actores de la cadena productiva hortofrutícola orgánica y de base agroecológica, que promueve un modelo de negocio para la comercialización de estos productos en la Región de Los Ríos, en coordinación con los actores involucrados a través de un espacio de comercialización (ver Capítulo 15).

La evaluación de la adquisición y adopción de tecnologías y prácticas con criterios agroecológicos por parte de los/as beneficiarios/as, se realizó mediante dos acciones. Primero, con los/as asesores/as y equipos técnicos, se evaluó la formulación de proyectos con enfoque agroecológico que respondieran a problemáticas locales donde se aplicaran los conocimientos adquiridos durante el programa y el curso de formación continua, además de evaluar los conocimientos adquiridos en dicho curso. La segunda acción de evaluación fue orientada a los/as agricultores/as y consistió en la aplicación de una encuesta, cuya metodología y resultados se presentan a continuación.

Primero se desarrolló un cuestionario estructurado que permitiera recolectar la información necesaria para determinar el aporte de los talleres al conocimiento de los/as participantes (Figura 13.4.). La encuesta fue aplicada entre los días 16 de abril y el 1 julio del 2020, en modalidad telefónica, debido a la situación sanitaria por COVID-19, con el fin de resguardar la salud de los/as agricultores/as participantes y el equipo técnico del programa. La totalidad

PROGRAMA DE PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA Y ORGÁNICA PARA PEQUEÑOS Y MEDIANOS PRODUCTORES DE LA REGIÓN DE LOS RÍOS

Código INIA: 502149-20
Código BIP 30284073-0

Fecha : [] [] [] [] [] []

IDENTIFICACIÓN DEL ENCUESTADO

Nombre encuestado:
 Correo electrónico:
 Telefono:
 Utiliza WhatsApp: Si No
 Es el responsable de la explotación: Si No
 Nombre del responsable:
 Pertenece a alguna comunidad indígena? Cual?

IDENTIFICACIÓN DEL PREDIO

Nombre del predio:
 Ubicación: ...gps.....
 Comuna:Sector

Superficie total del predio(hectáreas):
 Superficie con manejo agroecológico (metros)

	Al aire libre	Bajo plástico
Antes del programa	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Actualmente	<input type="text"/>	<input type="text"/>

A. CONOCIMIENTO ANTES Y DESPUES DE INGRESAR AL PROGRAMA AGROECOLOGICO DE INIA

A1 Señale las tecnologías de manejo agroecológico que conocía (C), las que practicaba (P) antes y las que conoce(C) y practica(P) ahora

	ANTES		AHORA		ANTES		AHORA	
	C	P	C	P	C	P	C	P
Polisulfuro de Calcio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Caldo bordelés	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Compost	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bokashi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 13.4. Primera página de la encuesta aplicada a los/as participantes de los talleres del programa. Fuente: propia.

de los/as agricultores/as beneficiarios/as directos/as alcanzaba 180 personas, de las cuales se encuestó a 100 agricultores/as que asistieron a los diferentes talleres del programa. El promedio de duración de cada llamada telefónica fue de 30 minutos aproximadamente.

Resultado evaluación de agricultores/as participantes del proyecto

Las comunas participantes en el programa fueron Máfil, Mariquina, Futrono, Paillaco, Lago Ranco y Río Bueno, y la distribución de los/as participantes encuestados/as se presentan en la Figura 13.5.

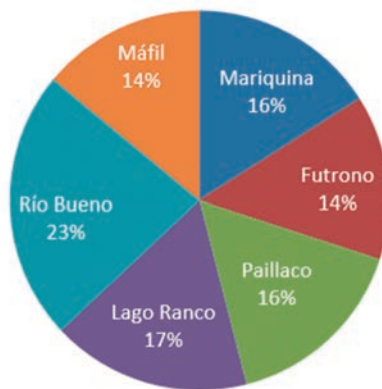


Figura 13.5. Distribución de los/as participantes encuestados/as de acuerdo a la comuna a la que pertenecen.

Con el objetivo de caracterizar los/as agricultores/as encuestadas/as, en la Figura 13.6. se presenta su género y rango etario.

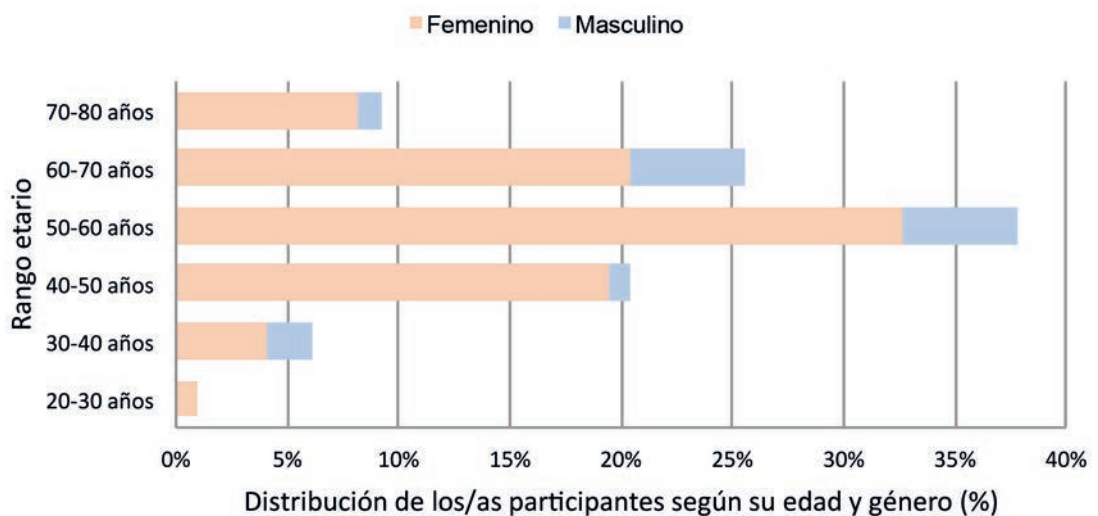


Figura 13.6. Género y rango etario de los/as participantes encuestados/as.

Como se observa en la Figura 13.6., un 86% de los/as participantes son mujeres y un 14% son hombres, lo que confirma que en la familia el componente femenino mayoritariamente se hace cargo de la producción hortícola y frutales para la alimentación del hogar. En cuanto a la edad de los/las participantes, la mayoría se encuentra entre los 40 y 70 años (83%).

Del total de los/as entrevistados/as un 51% forma parte de un Prodesal⁴, 28% PDTI⁵, 6% SAT⁶, 1% PRODAC⁷, 1% participa en dos programas, un 11% no participa en ninguno, y el 2% restante no conoce la respuesta. Es importante señalar que un 48% de los/as participantes pertenece a comunidades indígenas.

El objetivo principal de la encuesta fue determinar si los conocimientos tratados en los talleres de capacitación fueron adquiridos por parte de los/as beneficiarios/as del programa y qué tecnologías fueron adoptadas, por ello los resultados obtenidos se presentan como comparación entre la situación antes y después de asistir a las capacitaciones (Figuras 13.7. a 13.16.). Los colores se asignaron para indicar el grado de conocimiento y adopción de las prácticas o tecnologías que fueron tratadas en los talleres de capacitación. El color rojo representa el desconocimiento, el amarillo el conocimiento del tema pero sin llevarlo a la práctica, y el verde representa conocer la tecnología y practicarla, todo lo anterior expresado en porcentaje del total de entrevistados/as.

En la Figura 13.7. se presentan los resultados de desconocimiento antes de la ejecución de los talleres y adopción de las tecnologías después de ellos, con el propósito de elaborar las enmiendas orgánicas que se utilizan ampliamente para mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo en la producción con criterios agroecológicos.

⁴ Prodesal: Programa de Desarrollo Local, ejecutado por municipalidades o excepcionalmente entidades privadas a las que el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) transfiere recursos mediante asesorías técnicas y/o inversión.

⁵ PDTI: Programa de Desarrollo Territorial Indígena, ejecutado por municipalidades o excepcionalmente entidades privadas a las que el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) transfiere recursos para fortalecer las distintas estrategias de la economía de los pueblos originarios.

⁶ SAT: Servicio de Asesoría Técnica de INDAP, que busca mejorar de forma sostenible el nivel de competitividad de los negocios de la AFC.

⁷ PRODAC: Programa de Desarrollo Agropecuario Comunal, perteneciente a la Unidad de Desarrollo Económico Local de la comuna.

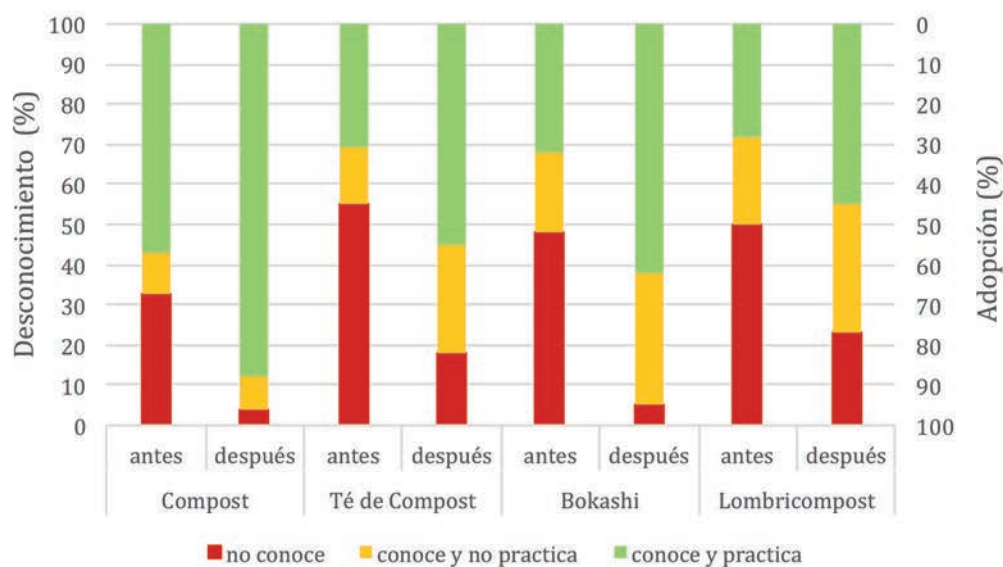


Figura 13.7. Desconocimiento previo de los/as participantes y adopción de la elaboración y uso de distintas enmiendas para mejorar la calidad integral del suelo.

Se observa que al comparar antes y después en las cuatro tecnologías, el desconocimiento (rojo) disminuyó y aumentó la adopción de tecnologías (verde). El compostaje era la técnica que más se practicaba antes de asistir a los talleres (57%), aun así aumentó su adopción a un 88%. En cambio la elaboración y uso de bokashi era desconocida por un 48% de los/as participantes, valor que se redujo a un 5% gracias a las capacitaciones y la adopción pasó de 32% a 62%.

Al analizar otras prácticas que contribuyen al manejo de la fertilidad química del suelo, como la aplicación de insumos de baja solubilidad para corregir la deficiencia de nutrientes (harina de huesos, guano rojo o roca fosfórica) o para regular la acidez (cal agrícola), se verifica que en todos los casos disminuyó la falta de conocimiento y aumentó el uso de dichos insumos después de haber asistido a los talleres (Figura 13.8.). En estos casos la adopción es menor que en la Figura 13.7., debido probablemente a que existe un costo involucrado en la adquisición del producto para su uso. No pasa lo mismo con el uso de cal agrícola, porque los suelos de la región son ácidos con un pH entre 5,1 y 6,4 (Valle y Carrasco, 2018), por lo tanto requieren necesariamente del encalado para lograr buenos resultados productivos.

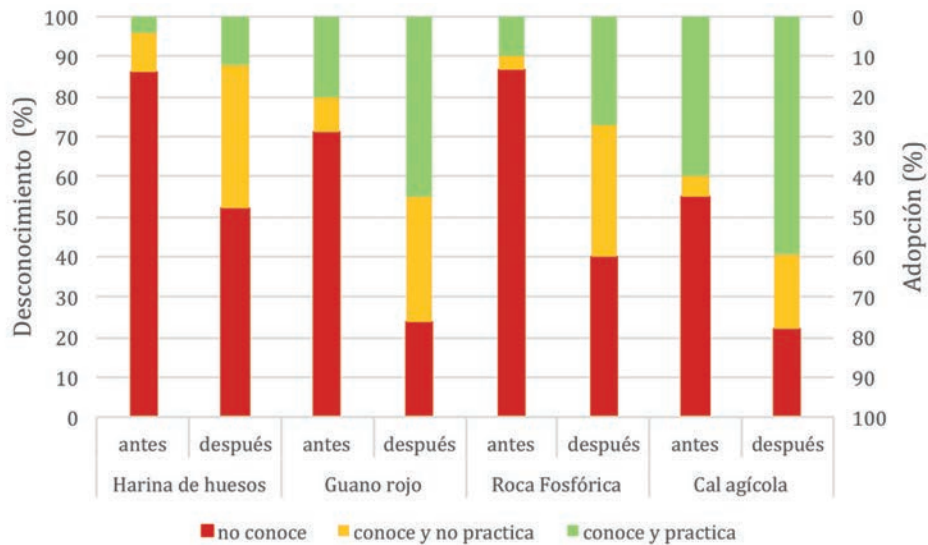


Figura 13.8. Desconocimiento previo de los/as participantes y adopción del uso de insumos de baja solubilidad para la corrección de la fertilidad química del suelo.

Al igual que en los resultados anteriores, se observa que los/as asistentes a los talleres adoptaron las prácticas de manejo predial, como el reciclaje de residuos orgánicos, el diseño u ordenamiento predial, la utilización de calendarios de siembra, el acolchado de suelo (mulch) orgánico y la inclusión de leguminosas (Figura 13.9.). Particularmente, aumentó la adopción del reciclaje de residuos desde un 75% a un 91%, lo que está muy relacionado con los resultados de la Figura 13.7., debido a la reutilización de residuos que antes se quemaban en la elaboración de enmiendas orgánicas. Llama la atención que antes de la realización de los talleres el 83% de los/as participantes desconocía los beneficios del mulch orgánico y un 71% ignoraba la importancia de incorporar leguminosas en los sistemas productivos, valores que después de las capacitaciones en estos temas disminuyeron a un 58 y 42%, respectivamente.

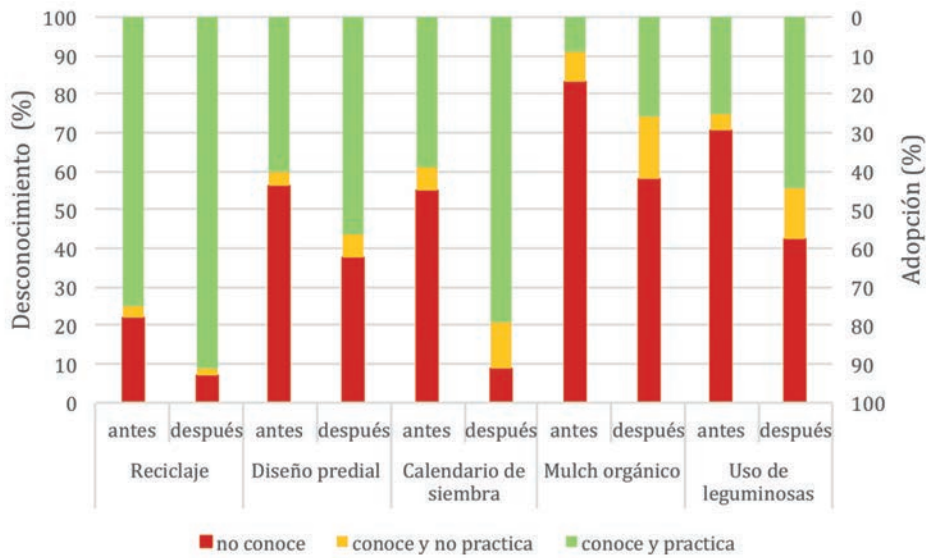


Figura 13.9. Desconocimiento previo de los/as participantes y adopción de prácticas de manejo con criterios agroecológicos.

Respecto de las prácticas que permiten aumentar la biodiversidad de los sistemas productivos (Figura 13.10.), si bien disminuyó el desconocimiento en todas ellas (rotaciones de cultivos, cercos vivos, corredores biológicos, cultivos asociados e intercalados) llama la atención el aumento de la implementación de prácticas que permiten aumentar la producción por área de superficie, tales como la rotación de cultivos (de 54% a 84%), que es uno de los pilares de la reducción de problemas sanitarios y nutricionales del sistema productivo, y el establecimiento de cultivos asociados (de 30% a 58%) e intercalados (de 29% a 57%).

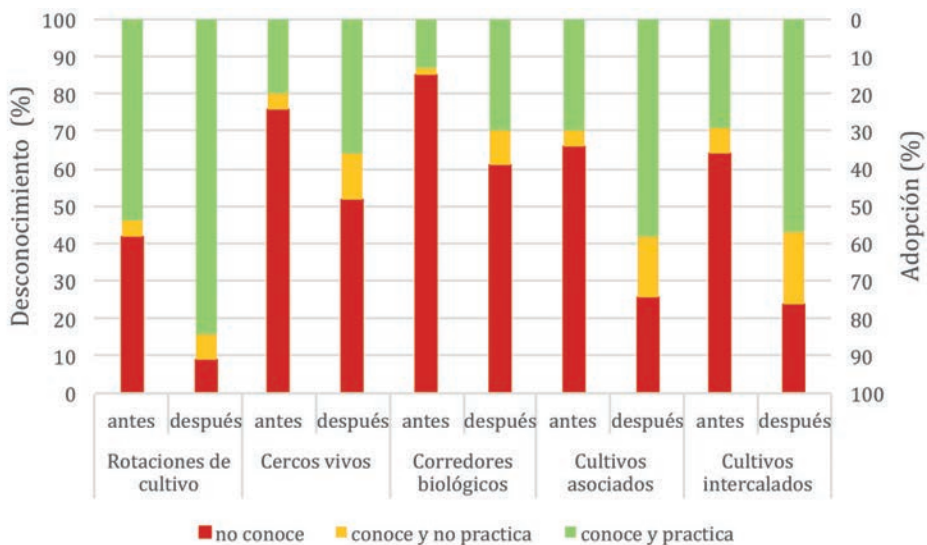


Figura 13.10. Desconocimiento previo de los/as participantes y adopción de prácticas de manejo para aumentar la biodiversidad del sistema productivo.

Sin lugar a dudas, las enfermedades y plagas causan los principales problemas que afectan los sistemas productivos que se convierten desde un manejo convencional a uno con criterios agroecológicos. Es necesario usar múltiples estrategias para detectarlas a tiempo, repelerlas y combatirlas con éxito. Existen muchas prácticas de manejo preventivo, entre ellas el monitoreo de plagas y enfermedades, su identificación, uso de enemigos naturales y biopesticidas, entre otros. Como se presenta en la Figura 13.11., antes de los talleres de capacitación entre el 59 y 95% de los/as asistentes desconocía estas prácticas, después alrededor de un 80% declaró conocerlas y un 70% dijo adoptar el monitoreo y reconocimiento de plagas y enfermedades. Es relevante que el uso de enemigos naturales fue adoptado por un 45% de los/as beneficiarios/as, lo que significa dejar de considerar cualquier insecto como plaga y conocer la importancia de los enemigos naturales, promoción y resguardo de su presencia.

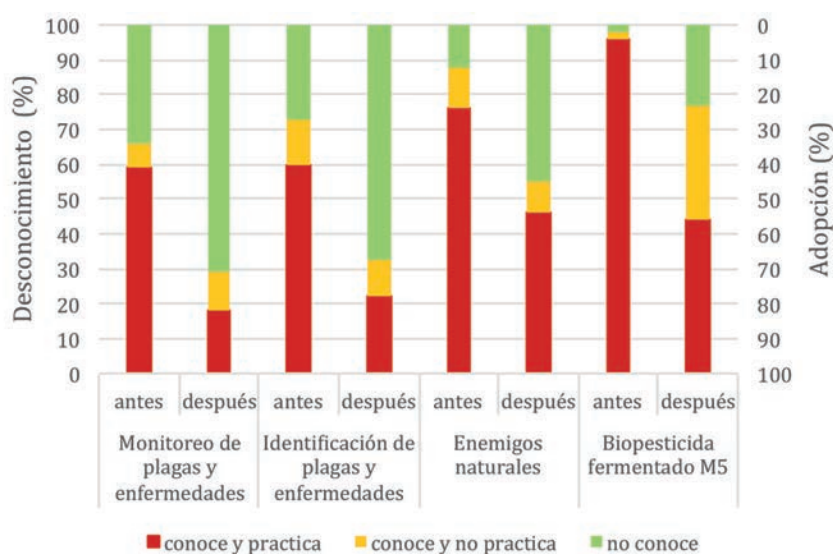


Figura 13.11. Desconocimiento previo de los/as participantes y adopción de prácticas de manejo sanitario preventivo con criterios agroecológicos.

Además de las prácticas preventivas para el manejo sanitario, existe una serie de insumos que pueden ser elaborados por los/as agricultores/as y pueden ser utilizadas en forma preventiva y curativa. Entre ellos están el jabón potásico, poli-sulfuro de calcio, caldo bordelés y varios biopreparados a base hojas, bulbos, flores y frutos de diferentes plantas aromáticas, ornamentales, hierbas y hortalizas. El desconocimiento de la elaboración y uso de estos productos antes de la ejecución de los talleres, el conocimiento y adopción después de su realización, se presentan en la Figura 13.12. Es claro que los biopreparados vegetales han sido transmitidos de generación en generación, por lo que eran más conocidos que los insumos de autoelaboración y practicados antes de los talleres. De todas formas su adopción aumentó de 37% a 81%. También aumentó levemente la adopción de los otros insumos, debido probablemente a que su elaboración tiene un grado de complejidad mayor y es necesario contar con materias primas que no están fácilmente disponibles.

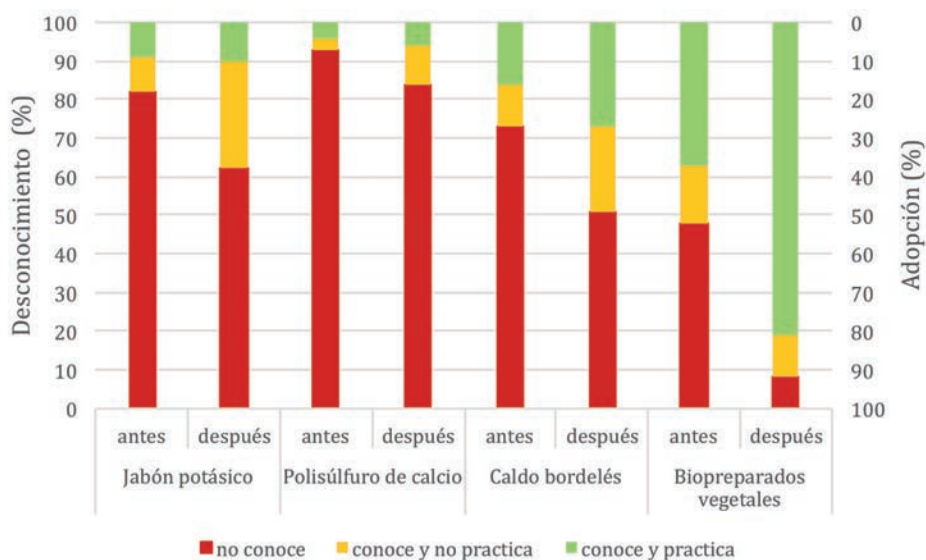


Figura 13.12. Desconocimiento previo de los/as participantes y adopción de insumos de autoelaboración para el control de plagas y enfermedades.

Las principales prácticas de manejo hortícola consultadas eran de conocimiento bastante generalizado antes de la ejecución de los talleres. Así, un 39% de los/as participantes conocía y practicaba la elaboración y diseño de la cama alta, la elaboración de almacigueras y la poda y conducción de hortalizas, valores que después de la realización de los talleres aumentaron a 80%, 80% y 65%, respectivamente. En relación al manejo de hortalizas bajo plástico, la adopción aumentó desde 39 a 79%, lo que indica que el uso de microtúneles y/o invernaderos se duplicó. (Figura 13.13.).

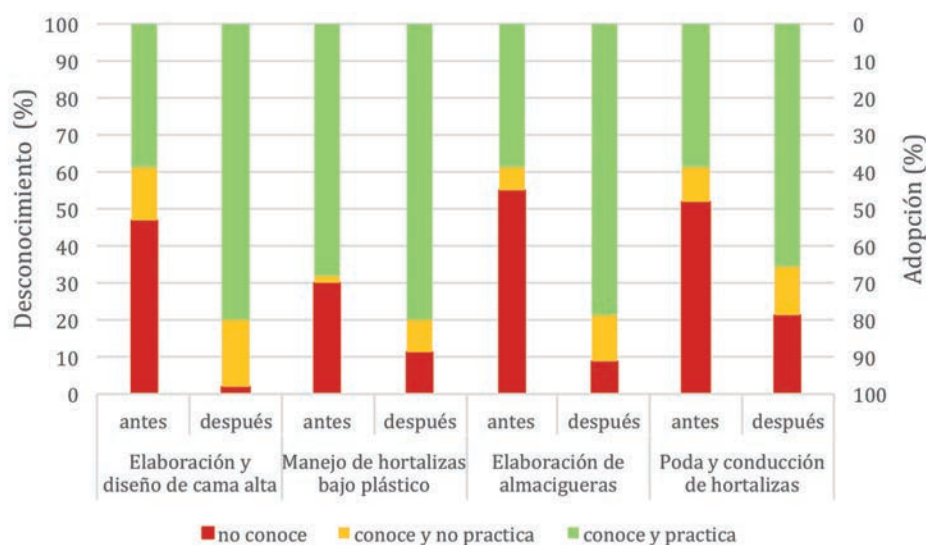


Figura 13.13. Desconocimiento previo de los/as participantes y adopción de prácticas de manejo hortícola con criterios agroecológicos.

Por otra parte, el número de especies o variedades de hortalizas incorporadas al sistema productivo también tuvo un incremento después de la participación en los talleres. Lo anterior, tanto en especies establecidas en primavera como en otoño, así como bajo plástico y al exterior. Las especies y o variedades cultivadas al exterior en primavera verano aumentaron desde 8,4 en promedio hasta 11 (Figura 13.14.).

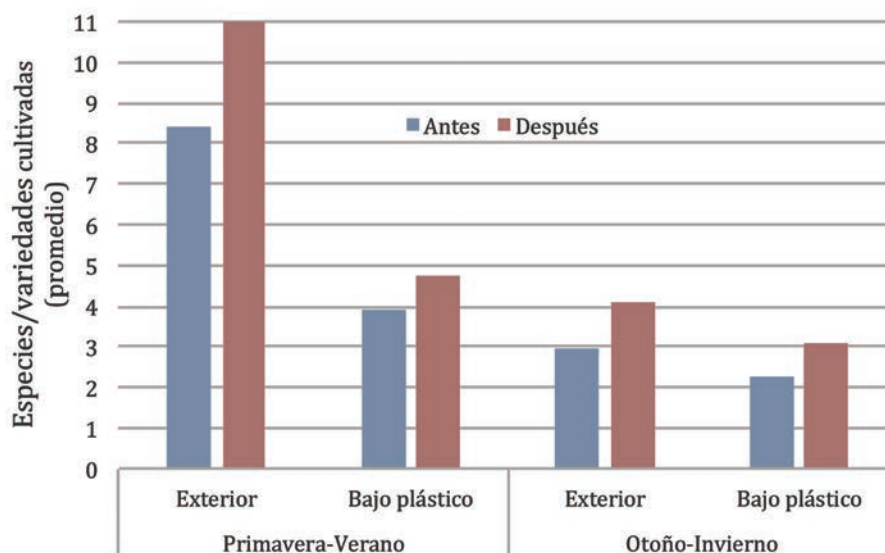


Figura 13.14. Incremento del promedio de especies y/o variedades de hortalizas cultivadas antes y después de asistir a los talleres, clasificadas de acuerdo a época del año y bajo plástico o al exterior.

De la misma forma, aumentó la cantidad de bioinsumos de autoelaboración que son utilizados por los/as agricultores/as, tanto para el manejo sanitario como para incrementar la fertilidad integral de los suelos. Como se puede ver en la Figura 13.15., a modo de ejemplo, un 35% de los/as participantes adoptó 2 nuevos productos para el manejo de la fertilidad de suelos, o un 8% de los/as participantes indicó que había adoptado 4 nuevos productos para el manejo sanitario de sus cultivos.

Al consultar si hubo un aumento o reducción de los ingresos y/o costos de producción (Figura 13.16.) se constató que el 20% de los/as participantes aumentó sus ingresos entre un 1 y un 25%, el 21% incrementó entre 26 y 50%, el 5% lo hizo entre un 51 y 75% y el 13% entre un 76 y un 100%. Además, gracias a la reducción de la dependencia de insumos externos, por el uso de aquellos de autoelaboración y el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos, los costos también disminuyen. Así, un 28% de los/as participantes declaró que sus costos disminuyeron entre un 1 y un 25%, un 35% entre un 26 y un 50%, un 1% entre un 51 y un 75% y un 13% entre un 76 y un 100%. Lo señalado es de real importancia para la economía familiar ya que al aumentar los ingresos y reducir los costos, se dispone de recursos para destinarlos a otras necesidades del núcleo familiar o extender la superficie de cultivo, entre otras opciones.

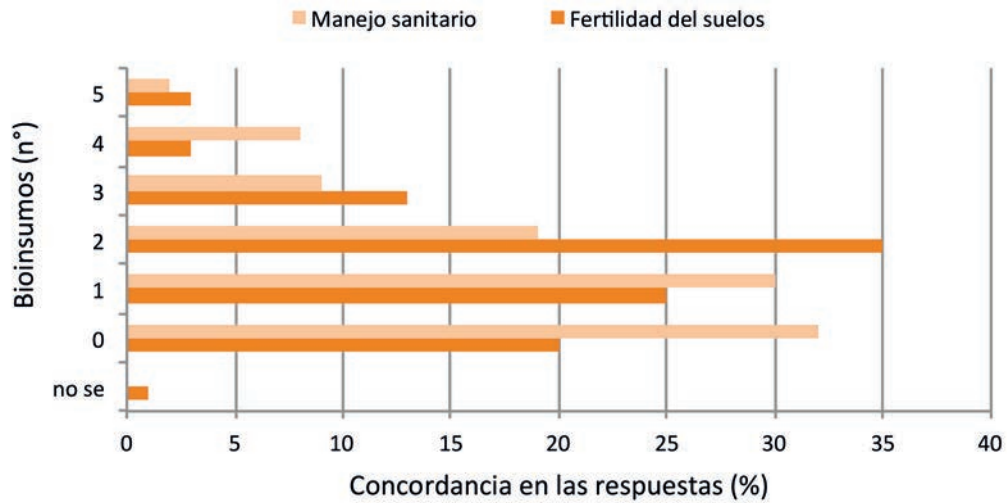


Figura 13.15. Nuevos bioinsumos de autoelaboración adoptados en el manejo de los/as agricultores/as participantes a los talleres.

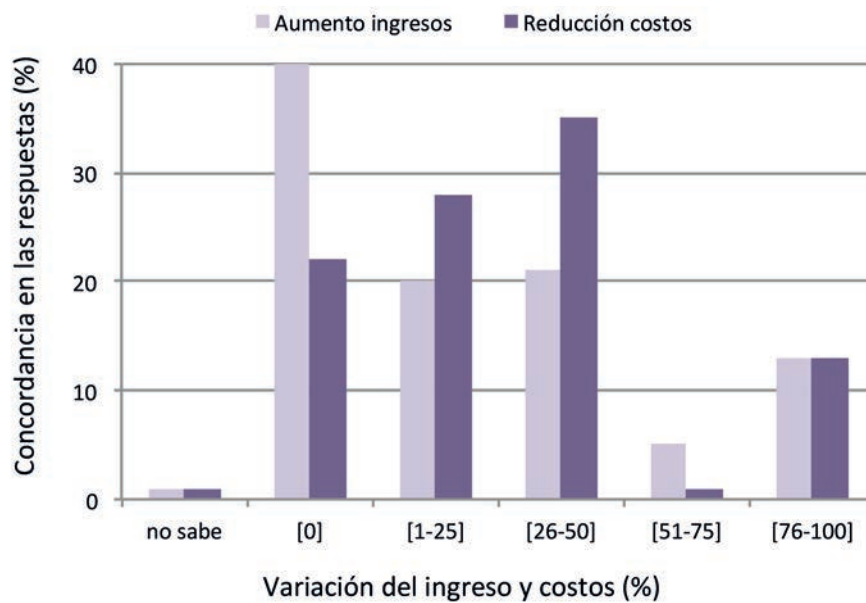


Figura 13.16. Incremento de los ingresos y reducción de los costos gracias a la implementación de las nuevas prácticas y tecnologías aplicadas.

Fue importante indagar la percepción de los/as agricultores/as en un ámbito más personal, por ejemplo, si percibían cambios en la autoestima y la valoración que otorgan al trabajo del campo, después de haber participado de los talleres de capacitación. Un 1% de los/as entrevistados/as indicó no sentir cambios, un 2% señaló que había pocos cambios, mientras que el 97% restante indicó que se sentía bastante más contento con su trabajo en el campo.

Una agricultora de 45 años de edad, de la comuna de Paillaco, resaltó lo siguiente tras su participación: *“Me siento más contenta porque ahora uno tiene más herramientas para trabajar y utilizo mejor los recursos”*. Afirmación que se ve reflejada en la Foto 13.6.



Foto 13.6. Grupo de agricultores/as compartiendo y elaborando una pila de compost.

Comentarios finales

Los datos expuestos demuestran que el Programa FNDR *Producción agroecológica y orgánica para pequeños y medianos agricultores* tuvo un impacto positivo, alcanzando el resultado esperado: la generación de capacidades técnico-productivas de los/as pequeños/as y medianos/as productores/as y asesores/as de la Región de Los Ríos en el ámbito del manejo agroecológico y orgánico del rubro hortofrutícola.

Durante los 6 años de ejecución se realizaron casi 200 talleres presenciales para agricultores/as, actividades en las que participaron habitualmente los equipos técnicos comunales PRODESAL, PDTI y de áreas de INDAP. El contexto de pandemia COVID-19 obligó a posponer o adaptar las actividades a modalidad virtual, situación que permitió desarrollar estrategias y nuevas metodologías de apoyo para los/as beneficiarios/as, como el servicio de asistencia técnica a distancia (SAT-D), a través del cual se resolvieron en forma rápida y precisa inquietudes y problemáticas locales de agricultores/as y asesores/as, que eran canalizadas por medio de grupos de mensajería de la aplicación telefónica WhatsApp y respondidas a través de fichas técnicas desarrolladas por el equipo técnico del programa con el aporte de los profesionales de INIA.

La mantención de tres faros agroecológicos, unidades demostrativas y de validación, durante todo el programa, permitió aplicar los conocimientos y prácticas adquiridas a través de las actividades presenciales y virtuales. Adicionalmente, se ofreció a los/as asesores/as y equipos técnicos regionales el curso de Formación continua de agroecología para equipos técnicos y extensionistas, que se ejecutó en forma presencial entre julio del 2019 y enero del 2020, y de manera virtual entre octubre del 2020 y enero del 2021. Esta generación de competencias por parte de los/as asesores/as, se consolidó a través de la formulación de proyectos agroecológicos para ser presentados en el futuro a fuentes de financiamiento, con el propósito de resolver problemáticas locales en cada comuna involucrada en el programa y dar mayor sostenibilidad al desarrollo de la producción agroecológica regional.

La alta adopción de las distintas prácticas, tecnologías y criterios agroecológicos por parte de los/as productores/as beneficiarios/as del programa indica que este tuvo un resultado exitoso gracias a varios factores: el compromiso conjunto de las autoridades regionales que lo financiaron, visibilizando el potencial de este sistema de producción para cubrir parte de las demandas locales; la ejecución de INIA, como institución líder en investigación y extensión en agroecología y agricultura orgánica, utilizando un modelo de extensión y transferencia tecnológica validado en la región y el país; la participación de equipos técnico-profesionales de apoyo a la agricultura regional de cada comuna participante; la participación de los/as agricultores/as que día a día cultivan sus campos generando alimentos saludables para el autoconsumo y comercialización, amigables con el agroecosistema; por último, las redes de

vinculación entre los diferentes actores de la cadena de producción agroecológica, para la comercialización de los productos generados.

El programa visibilizó el potencial y las necesidades de los/as productores/as agroecológicos/as y orgánicos/as de la Región de Los Ríos. Particularmente importante resulta el fomento a través de algunos instrumentos, como el SIRSD y otros relacionados con la instalación de tecnologías de riego y sistemas de energías renovables no convencionales (ERNC). Hay todavía mucho por avanzar en la agroecología de la Región de Los Ríos en cuanto a disponibilidad de recursos e insumos productivos, asociatividad de productores/as, generación y transferencia de conocimiento tecnológico que permita la llegada a los mercados con volumen y calidad de productos, como también desarrollar modelos de negocios para diferentes objetivos de mercado. Al concluir este programa se visualizaron futuras líneas de trabajo:

- La oferta, demanda y producción regional de semillas agroecológicas y con certificación orgánica.
- La consolidación de canales y espacios de comercialización para los productos agroecológicos y orgánicos en la región.
- El fomento de la asociatividad y emprendimientos que permitan consolidar la cadena de producción agroecológica y orgánica, desde los/as productores/as hasta los/as consumidores/as.

Referencias

- Altieri, M. A., and Nicholls, C. I. (2013).** Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7–20. Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>
- Cepal. (2009).** *La economía del cambio climático en Chile. Síntesis*. CEPAL – Colección Documentos de proyectos Naciones Unidas, Santiago de Chile. 88p. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/32827/1/S2009772_es.pdf
- Gliessman, S.R. (2002).** *Agroecología. Procesos ecológicos en Agricultura Sostenible* (ed español, 359 p). LITOCAT, Turrialba, Costa Rica.
- Gobierno Regional de Los Ríos. (2014).** *Política Regional de Desarrollo Silvoagropecuario de la Región de Los Ríos (PRDSAP) 2014-2019*. División de Planificación y Desarrollo Regional del Gobierno Regional de Los Ríos Secretaría Regional Ministerial de Agricultura de la Región de Los Ríos. 109p. <https://www.goredelosrios.cl/silvoagropecuario/wp-content/uploads/2015/06/PRDSAP-2014-2018-Regi%C3%B3n-de-Los-R%C3%ADos.pdf>
- Infante, A. (2015).** *Faros Agroecológicos definición y descripción de experiencia CET para sistemas agrarios sostenibles*. Tesis doctoral Universidad de Antioquia, Colombia.

Odepa. (2019). Región de Los Ríos. Informativo regional 2019. Oficina de planificación. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/04/Region-Los-Rios.pdf>

Peralta, G. (2021). Plan Nacional de asociatividad “Mas unidos”: Avances 2019-2021. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – Odepa. Ministerio de Agricultura. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/plan-nacional-de-asociatividad-mas-unidos-avances-2019-2021>.

Valle, S. y Carrasco, J. 2018. Soil quality indicator selection in Chilean volcanic soils formed under temperate and humid conditions. *Catena*, 162(2018),386-395. doi:org/10.1016/j.catena.2017.10.024

Yáñez, L. (2018). *Región de Los Ríos. Información regional 2018*. Publicación de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa) del Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. 15p. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Los-Rios.pdf>.



Mujeres vendiendo pescado en el mercado de pescado Colombo (2011). Raja Segar.

La producción y comercialización de productos agroecológicos en la Región de Los Ríos ha estado muy vinculada al trabajo de las mujeres rurales, quienes han mantenido prácticas ancestrales, guardando e intercambiado semillas, reproduciendo y transmitiendo su conocimiento de generación en generación. El cuadro muestra a mujeres comercializando directamente sus productos, práctica cultural que se mantiene y evoluciona en diferentes formas de circuitos cortos y cadenas de valor.



Capítulo 14

Producción y comercialización de productos obtenidos con manejo agroecológico y orgánico en la Región de Los Ríos

Alejandra Vásquez S.¹

Macarena Arriagada C.²

El sistema productivo predominante, basado en la utilización y extracción de los recursos naturales, ha desarrollado una agricultura centrada en monocultivos y en el uso de productos de síntesis química que remedien los problemas nutricionales y sanitarios derivados de un mal manejo; sin embargo, no solucionan su causa y promueven un modelo impulsado desde la Revolución verde, que apunta a una dimensión industrializada de la alimentación. Este modelo presenta diversos impactos negativos, como los ambientales, entre ellos el cambio de uso de suelo, la pérdida de biodiversidad, la degradación y contaminación del suelo y del agua, entre otros. En el caso de los impactos económicos y sociales, se observa una dependencia por parte de los/as agricultores/as hacia insumos externos, esto se traduce en una dependencia de políticas públicas asistencialistas, pérdida de autonomía, conflictos por la propiedad de la semilla, dificultad de insertarse en el mercado liderado por los *commodities* y el *retail*; esto además impacta a los/as consumidores/as que desconocen el origen y forma de producción de los alimentos que consumen. Sumando a lo anterior, se afecta la salud de los/as agricultores/as y consumidores/as, tanto por la aplicación de agrotóxicos en el campo como por el consumo de alimentos contaminados con ellos.

Una alternativa a este escenario que ha ido tomando fuerza en los últimos años es la producción con criterios agroecológicos, que es un enfoque productivo basado en el estudio holístico de los agroecosistemas, incluidos todos los elementos bióticos, abióticos, incluyendo a los humanos con sus relaciones entre productores/as rurales y consumidores/as urbanos/as. Centra su atención sobre la forma, la dinámica y función de sus interrelaciones y los procesos en los cuales están envueltas (Altieri, 2001).

¹ Consultora internacional en Desarrollo Rural. Cooperativa La Manzana. alevasquez@gmail.com

² Encargada de comercialización. Departamento de Fomento Dirección Regional de los Ríos, INDAP. marriagadac@indap.cl

La producción con base agroecológica considera la comercialización de los productos, para generar transacciones económicas y relaciones sociales dinámicas que fortalezcan los territorios. La principal estrategia que ha impulsado la agroecología corresponde a los circuitos cortos de comercialización, referidos a aquellos en que se realiza una venta directa, desde el/la productor/a hasta el/la consumidor/a, considerando como máximo la participación de un intermediario, generalmente una cooperativa o agrupación de productores/as o consumidores/as.

Los circuitos cortos permiten generar relaciones humanas en torno a la alimentación donde, por una parte, los/as consumidores/as pueden conocer quién, cómo, dónde y de qué forma se produce su alimento, a su vez los/as productores/as conocen y reciben retroalimentación por parte de quienes consumirán sus productos, permitiendo enfocar su oferta directamente a la demanda y así planificar e invertir de mejor forma sus recursos. Por otra parte, la venta directa implica disminuir las distancias geográficas entre la producción y el consumo, reduciendo los costos de transporte y la huella ecológica de la comercialización. También mejora el precio de transacción, tanto para los/as productores/as como para los/as consumidores/as. La compra local dinamiza y levanta la economía, fortalece el desarrollo endógeno y la autonomía de territorios más resilientes.

Antecedentes regionales

La Región de Los Ríos tiene una fuerte vocación silvoagropecuaria, sector con una gran importancia económica que alcanza el 10,7% del PIB regional y el 15,5% de los empleos. La región tiene una población rural de 28,3%, con un 64,9% de las explotaciones con superficies inferiores a 20 hectáreas, es decir, en su gran mayoría corresponden a productores/as de la agricultura familiar campesina (AFC) (Yañez, 2018).

De acuerdo a lo señalado por el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), en el año 2019 existían 14.875 explotaciones de la AFC en la región. A través de sus diferentes programas INDAP alcanzaba una cobertura del 76% de estas explotaciones, esto se traduce en 11.369 usuarios en todas las comunas de la región, de los cuales el 53% pertenece a pueblos originarios, el 54% corresponde a mujeres y el 8% a jóvenes. Los programas con mayor cobertura corresponden al Programa de Desarrollo Local (PRODESAL) y Programa de Desarrollo Territorial Indígena (PDTI), los cuales en su mayoría se dedican a la producción multirrubro y hortalizas (INDAP, 2019).

Los/as productores/as de la AFC tienen un rol relevante en la economía regional, siendo la agricultura el sustento de miles de familias. De acuerdo a la Política Regional de Desarrollo Silvoagropecuario, uno de los principales problemas que enfrentan estos/as agricultores/as es

la comercialización de sus productos, sobre todo en cuanto al acceso y gestión de mercados, con un enfoque productivo basado en la oferta y baja asociatividad (GORE Los Ríos, 2015).

El enfoque basado en la oferta también representa una dificultad para la comercialización, puesto que una de las barreras de entrada a mercados, como tiendas o restaurantes y hoteles (canal HORECA), se relaciona con una oferta inestable en calidad, volumen y variedad, con una marcada estacionalidad y falta de planificación que se traduce en dificultades para abastecer los canales de comercialización.

La agroecología y los circuitos cortos representan una tremenda oportunidad para los/as agricultores/as de la región, porque les permiten resolver varios de los obstáculos de la comercialización. Los principales desafíos para los/as agricultores/as dicen relación con la planificación de la producción y estabilidad de la oferta, pero sobre todo la asociatividad y capacidad de autoorganización para el acceso y gestión de mercados, que permitan construir los espacios de encuentro con los/as consumidores/as que buscan abastecerse localmente.



Foto 14.1. Cierre del ciclo de talleres realizados en la Escuela Agroecológica de Lumaco para el diagnóstico de la cadena de valor agroecológica de la Región de Los Ríos, proyecto ejecutado por la Cooperativa La Manzana en asociación con ACOVAL, AG Los Ríos Orgánicos, el Comité de productores orgánicos de Paillaco y la Municipalidad de Paillaco, financiado por el Fondo de Innovación para la competitividad del GORE Los Ríos a través de la Fundación para la Innovación Agraria, FIA. Fuente: Cooperativa La Manzana, 2016.

Organizaciones de agricultores y agricultoras

La asociatividad es clave en el desarrollo de iniciativas de producción con criterios agroecológicos, puesto que al tratarse en su mayoría de agricultores/as de la AFC, sus capacidades de gestión y logística son limitadas. Esta asociatividad no solo se genera entre pares, sino que también entre productores/as con consumidores/as. En la región existen varias organizaciones de productores/as, entre las que destacan dos que fueron precursoras del desarrollo de la agroecología en la Región de Los Ríos:

Asociación Gremial de Productores Orgánicos de Los Ríos (AG Los Ríos Orgánicos)

Varios productores de la antigua Región de Los Lagos que participaban en la asociación gremial de productores orgánicos pertenecían al territorio que conformó la nueva Región de Los Ríos. Con el apoyo del programa Creando Redes deciden formalizarse a través de una asociación gremial que les permita acceder al sistema de certificación orgánica participativa del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Esta organización conformada el 27 de noviembre del 2009 tiene como finalidad impulsar la agricultura orgánica en la Región de Los Ríos, generar mercados estables y promover la innovación y los emprendimientos. Se estructura con sus socios/as, un directorio y comités de producción comunal.

La entidad se ha vinculado con diversas organizaciones de consumidores/as, como la Asociación de Consumidores de Valdivia (ACOVAL) y la Cooperativa de Consumo Responsable de Valdivia, La Manzana. También ha trabajado con instancias públicas como INDAP, con quienes han fortalecido los circuitos cortos de comercialización a través de mercados campesinos y puntos de venta.

Comité de Productores Orgánicos de Paillaco

Es una organización funcional territorial compuesta por 44 socios/as, de los cuales 37 son mujeres. Son productoras/es de la AFC de hortalizas frescas y de temporada, mayoritariamente cultivadas bajo invernadero. Han ejecutado proyectos de asociatividad con INDAP y el municipio, proyectos financiados por el Fondo de Protección Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y se han asociado con la Cooperativa La Manzana en proyectos con manejo agroecológico. Este comité fue uno de los precursores de la Escuela Agroecológica de Lumaco, que corresponde a una antigua escuela rural que se encontraba en desuso y que fue acondicionada por el municipio como espacio de aprendizaje en temas relacionados con la agroecología, recibiendo el apoyo de diversas instituciones públicas y privadas.

Muchas de sus integrantes pertenecen además a Paimuri, Agrupación de Mujeres Rurales e Indígenas de Paillaco, que forma parte de la Red Anamuri (Asociación Nacional de Mujeres Rurales e Indígenas). Ellas son las cultoras de *Paimuri Cocina*, un reconocido libro que recopila sus recetas y saberes ancestrales vinculados a la producción con base agroecológica y cultura gastronómica, y que ya cuenta con su segunda edición.

Cooperativas y agrupaciones de consumidores

El eslabón del consumo y su vinculación con los productores y productoras ha tenido un rol fundamental en la comercialización de productos obtenidos con criterios agroecológicos en la región. Dos organizaciones han liderado la relación y trabajo mancomunado con los/as agricultores/as que trabajan en la producción agroecológica local:

Asociación de Consumidores y Usuarios de la Provincia de Valdivia (ACOVAL)

Se constituye legalmente en Valdivia en el año 2007. ACOVAL es una organización social, sin fines de lucro, cuyo principal objetivo es difundir los derechos de los/as consumidores/as. Además, busca promover hábitos de consumo responsable y el cuidado del medioambiente.

Desde su constitución la asociación orienta, capacita, ofrece charlas y campañas educativas con diversos grupos y organizaciones sociales que funcionan en las diferentes comunas de la Región de Los Ríos.

ACOVAL ha trabajado con organizaciones de productores/as de toda la región, a través del desarrollo en diferentes comunas de Mercados de la Tierra, actividad que consistió en realización de ferias periódicas de circuitos cortos, que marcaron un hito en las ferias de productores/as agroecológicos/as locales. También ha desarrollado proyectos de investigación y capacitación en agroecología, y se ha asociado con La Manzana en el desarrollo de encuentros y seminarios para la promoción del consumo de productos obtenidos con criterios agroecológicos.

Cooperativa de Consumo Responsable de Valdivia, La Manzana

Es una cooperativa de consumidores/as, sin fines de lucro, conformada por más de 200 familias socias unidas desde el año 2009 para consumir responsablemente, respondiendo a criterios, principios y valores de sustentabilidad social, económica y ambiental. Tienen una tienda abastecida por alrededor de 100 productores/as donde se comercializan alimentos que apuntan a una dieta saludable, provenientes del comercio justo, la agroecología, la producción sustentable y los circuitos cortos de alimentación.

La principal forma de comercialización de productos frescos es a través de la Canasta Agroecológica, que funciona como un sistema de prepago por parte de los/as consumidores/as, donde compran por adelantado 12 semanas de entregas, correspondientes a una temporada (primavera, verano, otoño e invierno). De esta forma, los/as agricultores/as pueden planificar su producción en base a la demanda, esto les ha permitido invertir en infraestructura de riego e invernaderos así aumentar su volumen de producción y disminuir su estacionalidad, junto con diversificar su producción al incorporar nuevas especies. El sistema de canastas existente desde el año 2014 ha generado una cadena de valor para la producción con base agroecológica, a través de un circuito corto en que la cooperativa se encarga del transporte, comercialización y distribución de los productos. La canasta se vende a un precio justo, donde alrededor del 70% de su valor bruto es pagado a los/as productores/as de la AFC, cifra que además está por sobre los costos de producción previamente calculados (considerando insumos, uso de la tierra y mano de obra) y el otro 30% corresponde a los costos de logística de la cooperativa. Las entregas se realizan tanto a domicilio como en la tienda y se venden de forma *online* o en forma presencial.

La Cooperativa La Manzana ha desarrollado diversos proyectos con los/as productores/as de la región, que trabajan cuidando de hacer un manejo agroecológico, construyendo comunidades de aprendizaje, espacios de comercialización y promoción de la agroecología, asesoría y acompañamiento técnico e inversión, pero principalmente desarrollando relaciones afectivas y vínculos de confianza entre los/as consumidores/as y los/as agricultores/as.



Foto 14.2. Canasta de productos obtenidos con criterios agroecológicos de La Manzana. (Fuente: Cooperativa La Manzana, 2019).

Otras instancias de comercialización

En la región se han ido posicionando las ferias de productores/as de la AFC, principalmente vinculadas al turismo, donde los productos obtenidos con base agroecológica han encontrado un espacio de comercialización. Ferias como Sabores del Ranco, Sur Mujer y Ñam Valdivia han destinado un importante espacio a la comercialización de estos productos. También los municipios han impulsado el desarrollo de ferias locales y encuentros costumbristas, sobre todo en la temporada estival.

Al mismo tiempo, se han posicionado algunas tiendas que comercializan productos locales obtenidos con criterios agroecológicos, tanto en la comuna de Valdivia como en otras comunas de la región. Si bien estas iniciativas son en su mayoría recientes (menos de 3 años), se han ido estableciendo y ofrecen cada vez más espacio a este tipo de producción, en especial cuando es de origen local.

Rol del INDAP

Entre los años 2014 – 2018 el Instituto de Desarrollo Agropecuario estableció nuevos énfasis estratégicos institucionales, dando paso a la creación del Programa Nacional de Comercialización, el cual abarca los siguientes programas e iniciativas que a la fecha están vigentes:

- Ferias de circuito corto, bajo la marca de INDAP de Mercados Campesinos.
- Programa de Red de Tiendas, bajo la marca de INDAP Mundo Rural.
- Convenios con cadenas de Supermercados UNIMARC y Teja Market en la Región de Los Ríos.
- Programa de Compras Públicas (Convenio Nacional con JUNAEB).
- Sello Manos Campesinas (distintivo de productos de origen agropecuario de agricultores/as usuarios de INDAP).

Las Ferias de circuito corto de la Región de Los Ríos son parte de una política pública implementada por INDAP desde 2014, en el marco de las nuevas prioridades y énfasis estratégicos institucionales. A partir de entonces INDAP tiene un programa y aportes exclusivos para el fomento de las ferias de circuito corto, con el propósito de que estos espacios se conviertan en una verdadera oportunidad para los/as productores/as familiares y campesinos/as.

Específicamente estas ferias se encuentran entre las acciones del Programa de comercialización, en el marco del eje estratégico sobre el fomento del mercado interno, que tiene entre sus objetivos potenciar la articulación entre los/as agricultores/as familiares y el mercado doméstico, privilegiando los circuitos cortos. La propuesta surge para darle respuesta a uno de los problemas que enfrentan los/as agricultores/as en este segmento, que es la comercialización de sus productos. En general, los/as agricultores/as familiares de la región no contaban con la infraestructura adecuada para la comercialización de los excedentes de su producción, ni con los recursos financieros para montar esas estructuras, de manera que la venta de sus productos se realizaba en sus propios predios o en los centros poblados más cercanos. Para ello, la primera acción desarrollada en relación con el fomento de las ferias fue la apertura de un concurso especial del Programa de Desarrollo de Inversiones de INDAP, con el objetivo de diseñar un espacio con identidad local y puntos estratégicos de venta donde los productores/as de la AFC pudieran vender de forma directa a la comunidad local, diversos productos y de calidad, sin pasar por intermediarios, así obtener un precio más justo por la transacción. Además, de forma paralela, se capacitó a los/as agricultores/as, mediante los/as profesionales de los programas de asesoría de INDAP PRODESAL y PDTI, con el fin de mejorar la producción y lograr disponer de productos para vender a la comunidad, durante todo el año y no solo de manera estacional.

Para el concurso especial del Programa de Desarrollo de Inversiones de INDAP se entregó un plano arquitectónico como modelo para la construcción de ferias permanentes, otorgando una identidad y homogeneidad al programa en su conjunto, permitiendo también distinguir a los mercados de circuito corto de la AFC que hoy están siendo atendidos por INDAP. Las ferias son una oportunidad muy importante, en especial para las mujeres agricultoras de la región que encuentran en esta actividad una forma de obtener un ingreso adicional, mientras continúan con el cuidado del hogar y los/as hijos/as.

Los productos que se comercializan en las ferias son hortalizas y frutas, tanto frescas como procesadas (conservas, mermeladas y escabeches), artesanías (lana, madera y cestería), miel, huevos, quesos, y en algunos casos también productos de repostería, gastronomía tradicional y comidas típicas mapuche (*muday* y *catuto*).

El sistema de producción que utilizan para las hortalizas y frutas es principalmente con criterios agroecológicos, y se venden como producción limpia, impulsado por la participación de las productoras en PRODESAL y PDTI, que tienen como uno de sus ejes de trabajo las modalidades agroecológica y sustentable.

La Región de Los Ríos, cuenta con 24 ferias permanentes, ubicadas en todas las comunas de la región, con aproximadamente 200 agricultores/as trabajando en ellas. Para los/as productores/as, el trabajo en ferias puede llegar a significar hasta un 50% de sus ingresos totales, funcionando estacionalmente en la mayor parte de las iniciativas.

Respecto de la comercialización de productos procesados, en el marco del programa de comercialización INDAP creó en 2016 la marca Mundo Rural, generando con ello la red de tiendas del mismo nombre, que tiene por objetivo crear un canal comercial para los productos de la AFC, que permita acercar las historias, valores y atributos de la ruralidad a los/as habitantes de los centros urbanos del país, bajo el esquema de circuito corto. Hoy existen seis tiendas a nivel nacional, en las regiones Metropolitana, Biobío y Los Ríos, esta última inaugurada en enero del 2017 en el terminal de buses de Valdivia, un lugar estratégico para la comercialización, debido a la afluencia de público y turistas. Cada una de las tiendas es administrada por una empresa asociativa campesina. Hoy cuentan con más de 100 proveedores, en su mayoría usuarios/as de INDAP, y se han convertido en una alternativa para que los/as productores/as tengan puntos de venta en distintos lugares del país y logren integrarse en mejores condiciones a los mercados, permitiendo, por ende, mejorar la calidad de vida, la producción y la economía de la AFC.

La oferta de las tiendas Mundo Rural está alineada con los nuevos paradigmas de consumo y alimentación que se están instalando en el mercado. Su principal atributo diferenciador es que los productos y servicios que ofrecen son de la AFC, acercando al público a la categoría de Especialidad Campesina, que son productos con propuestas innovadoras, de producción consciente y con identidad, que fomentan el desarrollo local y ayudan a recuperar tradiciones gastronómicas. Cada uno de los productos ha sido creado por agricultores/as de la AFC y emprendedores/as del campo chileno, contando con una variedad de producción, amplia en materias primas, de pequeños lotes, de calidad artesanal, libre de químicos y amigables con el medioambiente.

En cuanto a eventos de gran envergadura, donde INDAP visibiliza los productos de la AFC regional, se encuentra la Expo Mundo Rural. Esta actividad se realiza en época estival y cuenta con más de 80 puestos para expositores, donde se presentan los rubros de alimentos procesados, hortalizas y frutas, plantas ornamentales, artesanías y gastronomía típica, en apoyo al turismo rural. Este es un punto de vitrina comercial para los/as productores/as donde aprovechan de vender y hacer contactos comerciales, ya que la Expo Mundo Rural de INDAP de la Región de Los Ríos cuenta con espacios de rueda de negocios, cuyo propósito es acercar a productores y poderes compradores, y darles la oportunidad de ofrecer sus productos para concretar futuros negocios.

Otras acciones de comercialización de INDAP tienen que ver con los convenios con cadenas de supermercados. Uno de ellos es el convenio INDAP – Unimarc, un programa de encadenamiento productivo hortofrutícola a nivel nacional dirigido a un grupo de alrededor de 70 productores del rubro de hortalizas y frutas, usuarios de INDAP. En la Región de Los Ríos son 11 los/as agricultores/as que venden su producción al supermercado Unimarc de la ciudad de Panguipulli. La incorporación de los/as agricultores/as ha sido progresiva y sujeta al cumplimiento de los requisitos de acceso establecidos conjuntamente por Unimarc e INDAP

para calificar como proveedor del supermercado. En la región el convenio se encuentra activo desde el año 2014 y ha significado una mejora para el supermercado, ya que cuenta con proveedores de hortalizas frescas, lo cual es muy apetecido en las zonas turísticas como Panguipulli, donde lo local es preferido por el público y turistas de la zona. Actualmente los/as productores/as venden al supermercado lechuga, pepino, ciboulette, cilantro, papa nativa, acelga, entre otros.

A nivel regional, INDAP cuenta con un convenio con el supermercado Teja Market ubicado en Isla Teja, en la ciudad de Valdivia. En el marco de este convenio el supermercado cedió un espacio en la entrada del local para colocar carritos de Mercados Campesinos de INDAP y vender hortalizas frescas a los clientes del supermercado. En este convenio vigente desde el año 2018 participa la AG orgánicos de Los Ríos ofreciendo sus productos de producción limpia y de alta calidad. Esta vitrina de comercialización ha sido muy exitosa, ya que los/as consumidores/as del sector prefieren los productos de origen regional, sanos y cosechados por los/as agricultores/as locales.

Comentarios finales

En la Región de Los Ríos la producción con criterios agroecológicos se ha ido potenciando en la medida que se generan espacios de comercialización para sus productos. Los/as agricultores/as han reconocido como una oportunidad vincularse y asociarse para el desarrollo de circuitos cortos de comercialización.

A medida que los espacios se han multiplicado, también lo han hecho los/as productores/as que optan por un manejo con criterios agroecológicos, así como también se incrementan los/as consumidores/as que demandan estos productos.

El rol de todos los eslabones de la cadena, incluyendo los actores públicos, privados, la sociedad civil y la relación entre ellos, es fundamental para fortalecer la cadena de valor de la producción regional con base agroecológica.

Entregar herramientas y promover la asociatividad entre los/as productores/as es una tarea que debe reforzarse, de manera que la generación de negocios colaborativos permita escalar la producción con base agroecológica de la región.

Así también, la educación para el consumo responsable y espacios de promoción de la alimentación saludable y con productos obtenidos bajo manejo agroecológico pueden potenciar la comercialización de ellos en la región.

Escenarios complejos como el cambio climático o la reciente pandemia por COVID-19 requieren de territorios resilientes y soberanía alimentaria, capaces de enfrentar estas situaciones adversas que ponen en peligro la seguridad alimentaria de la población. La agroecología es una disciplina científica que ofrece las respuestas para generar autonomía territorial y fortalecer las economías locales, además de contribuir a mantener una población sana. De esta forma, impulsar los espacios de comercialización para productos obtenidos bajo este paradigma permitirá el desarrollo de sistemas alimentarios locales y sostenibles.

Referencias

- Altieri, M. (2002).** Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables en S. J. Sarandon (Ed.), *Agroecología: El Camino hacia una Agricultura Sustentable* (Capítulo 2. pp. 49-56). Ediciones científicas americanas.
- INDAP. (Diciembre, 2019).** *Documentos INDAP*. Indap en Cifras. 2019. [https://www.indap.gob.cl/biblioteca/documentos-indap/!k/indap-en-cifras-\(a-diciembre-2019\)](https://www.indap.gob.cl/biblioteca/documentos-indap/!k/indap-en-cifras-(a-diciembre-2019))
- OPIA. (Enero, 2014).** *Observatorio para la Innovación Agraria, Agroalimentaria y Forestal*. Política Regional de Desarrollo Silvoagropecuario. Región de Los Ríos. https://www.opia.cl/static/website/601/articles-77313_archivo_01.pdf
- Yañez, L. (Diciembre, 2018).** Región de Los Ríos. Información regional 2018. Publicación de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa) del Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/Los-Rios.pdf>



La reina del mercado (1833). Johann Moritz Rugendas.

Por comercialización se puede entender el proceso mediante el cual los/as vendedores/as intercambian productos o servicios con los/as compradores/as, ya sea en un puesto de una feria, una tienda o un quiosco como también de manera virtual. La escena recrea un paisaje urbano con un puesto de mercado con frutas y verduras.



Capítulo 15

Comercialización y desarrollo de negocios en la producción agroecológica

Luis Sáez T.^{1,2}

Carlos Díaz R.^{1,2}

Por comercialización se puede entender el proceso mediante el cual los/as vendedores/as intercambian productos o servicios con los/as compradores/as, ya sea de manera presencial en un espacio físico, como un puesto de una feria, una tienda o un quiosco (normalmente denominado mercado o punto de venta), como también de manera virtual o no presencial, opción cada vez más común en nuestra sociedad.

El acceso a los mercados y el desarrollo comercial de un negocio corresponde a una dimensión de gran relevancia en la gestión empresarial, ya sea en negocios de gran envergadura y alcance, así como en negocios de menor tamaño acotados a los entornos locales. A pesar de lo anterior, el desarrollo de las actividades comerciales no siempre recibe la misma atención en comparación con las actividades productivas, lo que muchas veces se refleja en situaciones como quiebres de stock o falta de continuidad en la entrega a clientes/as, pérdida de producción que no logra ser comercializada y bajos niveles de rentabilidad en los negocios emprendidos, entre otras situaciones.

Para realizar un buen proceso de comercialización es relevante realizar una reflexión inicial que responda a las preguntas ¿qué? ¿dónde? y ¿cómo? se realizará el proceso; de ellos uno de los aspectos más importantes es definir aquello que se está vendiendo y, aunque parezca contradictorio, lo que la empresa vende es definido por sus clientes/as. Por ejemplo, desde la perspectiva de la empresa lo que se está vendiendo son hortalizas como lechugas o pepinos, mientras que desde la perspectiva de los/as clientes/as están comprando salud, frescura, precios convenientes, etc. es decir ¿qué necesidad de los/as clientes/as se está satisfaciendo? Por esta razón, resulta de gran importancia investigar y conocer qué es lo que los/as clientes/as están comprando cuando compran hortalizas u otro producto, ya que constituye la base para el diseño e implementación de la estrategia comercial. Dentro de esa

¹ Universidad de Santiago de Chile, Facultad Tecnológica. Departamento de Gestión Agraria.

² Universidad de Santiago de Chile, Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

estrategia, el segundo aspecto a considerar corresponde a la definición del lugar donde se comercializarán los productos, por ejemplo, si se realizará en un local propio, en la parcela, en un mercado establecido de otras personas (supermercados, almacén, etc.), en el domicilio de los/as clientes/as mediante entregas directas, en ferias libres, en mercados campesinos o en otro lugar. El tercer tema relevante en el desarrollo de la estrategia comercial corresponde a la definición de la forma en que se ofrecerá el producto, los canales para comunicar la oferta disponible, es decir, si se hará mediante mensajes radiales, por comunicación directa u otros medios. Finalmente, un tema muy determinante del éxito de un negocio será fijar la estrategia de precios, para lo cual se requiere información sobre los costos de producción, disposición a pagar por parte de los/as consumidores/as y los precios de la posible competencia.

En función del contexto anterior, el presente capítulo pretende ayudar a definir qué es lo que realmente se vende, y encontrar posibles oportunidades comerciales, así como facilitar la estructuración del negocio frente a dichas oportunidades, con foco en la producción de base agroecológica y orgánica de pequeña envergadura.

Lo que vende una empresa versus lo que le compran a una empresa

Al abordar la pregunta planteada sobre ¿qué es lo que compran los/as clientes/as?, las empresas pueden adoptar diversas perspectivas o formas de responder dicha pregunta, lo que permite definir su enfoque o estrategia comercial.

Uno de los enfoques más recurrentes utilizados por los/as productores/as corresponde a la denominada **orientación hacia el producto**, es decir, aquello que se produce y cosecha es lo que posteriormente se intenta vender. Este enfoque es normalmente utilizado en la agricultura, indistintamente del tamaño de los predios, ya que, por la naturaleza de las actividades agrícolas, los esfuerzos se centran en aquello que supuestamente se hace mejor, es decir, producir. Esto se expresa comúnmente en comentarios del estilo: mi padre/madre, mi abuelo/a y sus antepasados siempre han producido lo mismo; estas tierras son buenas para esto; esto es lo que mejor sabemos hacer, entonces por qué voy a cambiar.

De esta forma, es común que cada cierto tiempo los/as productores/as se enfrenten a un mercado que no paga, de acuerdo con sus expectativas, el esfuerzo y dedicación que implica una cosecha. Esta situación muchas veces es relativizada, a la espera de que posteriormente los precios o la cosecha mejoren, aludiendo a los ciclos de precios en la agricultura que se relacionan con las curvas de oferta y demanda, en función de la producción y precio, pero sin atender a que muchas veces las causas más probable de variaciones en los precios son factores como cambios en gustos y preferencias de consumidores/as y clientes/as.

Bajo esta lógica resulta difícil desarrollar el negocio, salvo en aquellos casos en que la producción se realiza con una alta productividad y eficiencia, lo que normalmente se logra produciendo en grandes volúmenes y con uso intensivo de recursos.

Otro enfoque posible de encontrar en el desarrollo de negocios agrícolas, corresponde a la denominada **orientación hacia la venta**, aparentemente basado en el mercado, pero tomando como principal referencia el precio de venta del producto, es decir, no considera otras variables importantes del mercado que podrían explicar el precio actual o la tendencia y, por lo tanto, queda expuesto a situaciones de cambios en los precios cuando ya ha realizado su inversión. En la mayoría de los casos, si por algún motivo coyuntural, como un problema en la cadena logística, se produce una escasez puntual de un producto determinado, se podría reflejar en el mercado como un alza de precios. Si el/la productor/a toma esta señal, bajo este enfoque, tendería a sembrar o plantar el rubro promisorio, pero si los problemas de transporte se solucionan antes de que coseche su producción es probable que el precio retorne a los niveles de equilibrio.

Por ejemplo, en la Región de Los Ríos, los negocios locales como las verdulerías o los proveedores/as de productos procesados se abastecen de hortalizas desde mercados mayoristas fuera de la región, como Temuco, Talca y Santiago. Si por razones puntuales, como un paro de transportistas o un problema climático, se genera una menor disponibilidad desde los mercados mayoristas y a nivel local, aumentará el precio de las hortalizas y podría motivar al cultivo de dichos productos frente a la expectativa de precios altos; sin embargo, al poco tiempo de resolverse el problema de transportes o al reponerse la oferta con producción de otras regiones, el aumento de la disponibilidad de hortalizas a nivel local causará una disminución en los precios y dejará fuera de mercado a los productores que no puedan comercializar a dichos precios.

Un tercer enfoque, que a juicio de los/as autores/as es el más recomendable de adoptar, corresponde a la denominada **orientación hacia el mercado**, de acuerdo al cual la decisión de producir se basa en las necesidades del mercado, lo que implica explorar, estudiar y conocer qué necesidades son pertinentes de satisfacer y qué productos o servicios, que satisfagan dichas necesidades, son valorados por los/as consumidores/as. Se produce aquello que se demanda, pero orientado a la satisfacción de las necesidades y deseos de clientes/as consumidores/as, creando valor, innovando y diferenciándose de los/as competidores/as. En este punto cabe destacar aspectos o dimensiones de la producción de base agroecológica que la hacen sumamente compatible con este enfoque, como la vocación por la diversidad productiva, sustentabilidad y la conexión más directa con los/as clientes/as y consumidores/as, quienes en muchas ocasiones tienen la posibilidad de visitar los sitios de producción e interactuar con los/as agricultores/as.

Detección de oportunidades de negocios

Cada cierto tiempo los/as productores/as y los equipos técnicos que brindan apoyo en terreno se enfrentan a la pregunta de si determinado cultivo o idea podría ser un buen negocio, interrogante que en muchos casos se comprueba mediante un proceso de ensayo y error, y, en el mejor de los casos, mediante un proceso de análisis de necesidades de mercado, seguido por la propuesta de una o más ideas de negocio y su posterior evaluación.

Es muy probable que aquellas personas con mayor experiencia logren visualizar posibles negocios, anticipando su grado de éxito; sin embargo, no todos tienen esa habilidad, por lo que una sugerencia para responder a ¿qué necesidades detectadas podrían ofrecer oportunidades de negocios?, es realizar un estudio e identificación de aquellas necesidades insatisfechas, para luego tratar de suplirlas con la oferta de productos o servicios que sean valorados por los/as clientes/as y consumidores/as. Si se analiza el origen de algunas innovaciones, por ejemplo, en hortalizas o ensaladas listas para consumir, cabe preguntarse ¿qué cliente/a pidió o necesitaba ese producto?, ¿cómo se le ocurrió al fabricante o al/la productor/a?

En un intento por abordar este tema, con base en la experiencia previa y tomando los elementos teóricos antes expuestos, se presenta una propuesta de tres opciones para la búsqueda e identificación de oportunidades de negocios, basadas en demanda insatisfecha, soluciones a externalidades negativas y detección de necesidades silentes, opciones que se explican brevemente a continuación:

Demanda insatisfecha. Se refiere a aquellas oportunidades de negocio que surgen por baja oferta o alta demanda de productos o servicios, según lo plantea el enfoque de mercado, ya que se asume que si hay demanda de un producto es porque el mercado lo desea. Para buscar aquellas posibles opciones, el uso de fuentes de información secundaria puede ofrecer datos iniciales sobre los niveles de oferta del producto a nivel local y regional con la disponibilidad en mercados mayoristas, utilizando para ello bases de datos de organismos públicos como la Oficina de estudios y políticas agrarias ODEPA³ o el Instituto Nacional de Estadísticas INE⁴, así como también estudios de demanda y tendencias alimenticias en Chile por grupos socioeconómico, como la Encuesta Nacional de Consumo Alimentario y Chile Saludable⁵, los cuales resultan de gran utilidad para identificar aspectos relevantes como tendencias de consumo, comportamientos de precio, estacionalidad, y consumo aparente, o bien para comparar el volumen de venta de productos desde mercados mayoristas externos

³ <https://www.odepa.gob.cl/precios>; <https://www.ine.cl/estadisticas>

⁴ <https://www.ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/hortalizas>

⁵ https://www.minsal.cl/sites/default/files/ENCA-INFORME_FINAL.pdf; <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/estudio-chile-saludable-volumen-i.pdf>

y el volumen de producción local. Este tipo de información puede ser complementada o contrastada con datos levantados desde fuentes primarias, es decir desde los/as clientes/as y consumidores/as, siendo de gran utilidad el uso de técnicas cualitativas, como entrevistas o la investigación etnográfica, que permiten conocer y entender prácticas, conductas y motivaciones de las personas en sus respectivos entornos. Este tipo de técnicas resultan menos complicadas de realizar por parte de los/as productores/as, pudiendo incorporarse como parte de la rutina de atención a clientes/as en puestos de venta, ferias o en la conversación que se produce durante las diferentes transacciones, brindando la oportunidad de conocer de parte de los/as consumidores/as su nivel de satisfacción con las hortalizas que compra a los/as productores/as locales, así como también respecto de lo que compra en supermercados o ferias libres, en aspectos como frescura, variedad y disponibilidad.

Solucionar externalidades negativas. Consiste en identificar efectos negativos que pudieran derivarse de actividades que afectan el bienestar o calidad de vida de las personas. Por ejemplo, la necesidad de prevenir o controlar plagas en la producción agrícola, deriva en muchos casos en la utilización de plaguicidas que son percibidos por las personas como productos peligrosos para la salud y el entorno, por lo que la oferta de hortalizas en cuya producción no se utilizan plaguicidas, no solo puede satisfacer la necesidad básica de alimentación de los/as clientes/as, sino que además contribuye a satisfacer la necesidad de las personas de alimentarse manera más segura, con un menor impacto en el entorno. En este caso, se pueden citar ejemplos como la Cooperativa La Manzana, en la ciudad de Valdivia, que promueve un consumo responsable, no solo desde el punto de vista del uso de plaguicidas, sino que además porque establece relaciones más justas entre quienes producen y quienes consumen. En este caso, como en el de muchos emprendimientos agroecológicos, hay una gran motivación de parte de los/as clientes/as y consumidores/as de contribuir a la regeneración del entorno mediante prácticas productivas más sostenibles.

Un segundo ejemplo interesante de discutir corresponde al caso de las denominadas cosechas participativas, modalidad implementada en la Región Metropolitana en algunos predios agroecológicos, que consiste en que las personas, familias u organizaciones se coordinan para realizar de manera conjunta una cosecha de fin de temporada, esto les permite acceder a productos frescos recién cosechados y a un bajo precio, al mismo tiempo que contribuyen a una producción más sostenible, reduciendo las pérdidas que pudiesen ocurrir en otros tipos de sistemas, debido a que muchos/as productores/as prefieren no cosechar por el bajo precio de mercado alcanzado al final de la temporada (Foto 15.1.).



Foto 15.1. Cosecha de grosella. Agricultoras de la localidad de Boquial 2, Mantilhue, comuna de Río Bueno, Los Ríos.

Detección de necesidades silentes. Corresponde a detectar necesidades no manifestadas de manera explícita por los/as clientes/as y/o consumidores/as, las que mientras no exista un producto o servicio que las satisfaga son difíciles de expresar, por lo que los/as clientes/as sufren en silencio y resignadamente su falta. En este caso se pueden mencionar ejemplos como el desarrollo de las hortalizas o ensaladas listas para consumir, las que han sido de introducción reciente en los mercados regionales. En este sentido, los cambios en estilos de vida de las personas, donde todos los/as adultos/as trabajan fuera del hogar, o por el aumento de hogares unipersonales o sin hijos/as, ha generado cambios en los patrones de preparación de alimentos en el hogar, ya que de ser una actividad que tradicionalmente estaba a cargo de integrantes de la familia como madres y abuelas, que empleaban bastante tiempo y dedicación en la preparación de alimentos, ha pasado a ser una actividad para la cual se dispone de menor tiempo o para el cual se requieren porciones más pequeñas, lo que puede desincentivar el consumo de platos a base de hortalizas en este tipo de hogares. En este escenario, la aparición de productos frescos listos para consumir, como ensaladas preparadas y porcionadas para una persona, que puedan ser compradas durante el traslado entre el lugar de trabajo y el hogar, ha contribuido a satisfacer la necesidad silente de alimentarse de forma saludable y con menor tiempo de preparación, para destinar mayor tiempo libre en actividades recreativas.

Un segundo ejemplo corresponde al desarrollo de nuevos modelos de ferias libres, más pequeñas, que generen menor impacto en el entorno (residuos, ruido, congestión) y que

funcionen en lugares más convenientes y de mejor acceso para la población, cerca de sus hogares y que les permita acceder caminado, responde a necesidades que las personas no siempre pueden articular o manifestar de forma explícita. Dado que la percepción respecto de las ferias libres tradicionales (Sáez et al., 2010), es la de una feria con muchos puestos, que funciona durante la semana o el sábado por la mañana, que deja gran cantidad de residuos y basura después de su funcionamiento, difícilmente podrán demandar una feria más pequeña y que funcione en horario vespertino. Algunos casos de la Región de Los Ríos, similares a este tipo de ferias, corresponden a algunos mercados de productores/as como el que se ha habilitado en Valdivia en conjunto con el supermercado local Teja Market, así como los denominados Mercados Campesinos que se instalan en las plazas de Armas de diferentes comunas de la región (Fotos 15.2.).



Foto 15.2. Mercados campesinos en la Región de Los Ríos.

Si bien esta última alternativa de detección de necesidades ofrece mayor dificultad para el hallazgo de estas, cuando se las detecta y se ofrecen satisfactores adecuados es posible generar negocios de mayor desarrollo y potencial. Existen sencillas técnicas de investigación cualitativa, como por ejemplo una conversación libre y amistosa con los/as clientes/as, conocidas como entrevista no estructurada o bien entrevista semiestructurada, guiada por una pauta de conversación con los temas de interés (Díaz et al., 2013). En grupos con una mayor cantidad de participantes se pueden realizar los denominados *focus groups* o *workshops*, como métodos de investigación cualitativa. Otra técnica de interés consiste en la observación del comportamiento que tienen los/as clientes/as en su entorno (en una feria, un restaurante o en sus vacaciones) denominada investigación etnográfica González y García (2019). Existen además diversas técnicas de investigación de mercado explicadas con detalle por Aaker et al. (2004), Alonso et al. (2017) y Galeano (2004).

Selección de las mejores oportunidades

Si se analiza de manera general el mercado, en términos de oferta y demanda, la oferta está representada por los/as productores/as, que cultivan, promocionan y venden su producción, mientras que la demanda está representada por los/as clientes/as y consumidores/as que demandan y compran tales productos. Los primeros ofrecen, por medio de su producción, una serie de atributos con la promesa de solucionar determinados problemas y satisfacer determinadas necesidades de quienes los demandan; sin embargo, la percepción, creencias y perspectiva de los/as productores/as, y lo que creen que necesitan sus clientes/as, puede diferir de lo que los/as clientes/as y consumidores/as requieren o esperan para satisfacer sus necesidades, es decir lo que realmente quieren.

Para ambos casos existe un punto de encuentro que representa el grado de éxito de los negocios, un traslape entre la oferta y la demanda, siendo más exitosos aquellos negocios en los que se observa mayor traslape entre oferta y demanda. La intersección es lo ideal. La parte de la oferta que queda fuera de la intersección, podemos decir, es un esfuerzo innecesario, algo que se ofreció y nadie quiso, es pérdida. La oferta que queda fuera de esta intersección muchas veces se pierde en el campo cuando los precios son tan bajos que el costo de la cosecha es mayor al ingreso que genera su venta, o bien, la producción se desperdicia a lo largo de la cadena de producción al no ser comercializada por falta de interés de los/as compradores/as (Figura 15.1).



Figura 15.1. Oportunidades de negocios. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la sección de los demandantes que queda fuera de la intersección es insatisfacción, por lo que en este espacio hay oportunidades de negocio para quien logre atender esas necesidades. Las necesidades insatisfechas se pueden dividir en dos grupos: primero, las que los/as consumidores/as necesitan y saben que necesitan, esto es muy conveniente satisfacer; el segundo grupo, aquellas que los/as clientes/as necesitan pero que no lo saben, es decir, las necesidades silentes. Detectar y satisfacer estas últimas genera las mejores opciones de negocios. La detección de oportunidades de negocios es un proceso continuo, toda vez que las necesidades, gustos y preferencias de los/as consumidores/as no son estáticas, sino que pueden cambiar o ser influenciadas por diversos factores, como el nivel de ingresos, los estilos de vida, estacionalidad, etc. La detección de oportunidades de negocios es parte relevante en el desarrollo de un negocio, sin embargo, cuando los/as productores/as y equipos técnicos se ven enfrentados a múltiples oportunidades, la decisión de qué negocio abordar puede ser difícil de tomar, y, en muchos casos, implica un gran esfuerzo cuando se trata de abordar la mayor cantidad posible de oportunidades. Frente a un escenario de múltiples oportunidades de negocios, a fin de priorizar qué negocios abordar, se propone el uso de una matriz de priorización de oportunidades, de tipo 2 x 2 como se observa en la Figura 15.2, la que considera dos criterios, facilidad de la puesta en operación y nivel de impacto esperado, en términos de la cantidad de productores/as beneficiados/as.

La facilidad de implementación se refiere a la necesidad de inversiones para realizar el negocio, así como la necesidad de capital de trabajo, el nivel de conocimientos productivos o la cercanía de clientes/consumidores. Aquellas oportunidades de negocios que requieran un menor nivel de inversiones o aquellas cuyos/as clientes/as estén ubicados más cerca de los/as productores/as, tendrán mayor facilidad de implementación en comparación a las que requieran una inversión más importante. Esto no implica que las oportunidades que requieran inversiones o capital de trabajo no deban realizarse, sino que pueden ser abordadas posteriormente, de manera progresiva y en la medida que se adquiera mayor experiencia comercial.

Por otra parte, el criterio de nivel de impacto, se refiere principalmente a la cantidad de productores/as que pueden articularse a una determinada oportunidad de negocios. De este modo, aquellas oportunidades que beneficien a una mayor cantidad de productores/as tendrán más impacto en comparación a las oportunidades que beneficien a una cantidad acotada de personas. Nuevamente, esto no significa que las oportunidades de negocios que beneficien a una cantidad acotada no deban realizarse, sino que pueden ser abordadas posteriormente, de manera progresiva, de igual forma que aquellas oportunidades que requieran mayor nivel de inversión.

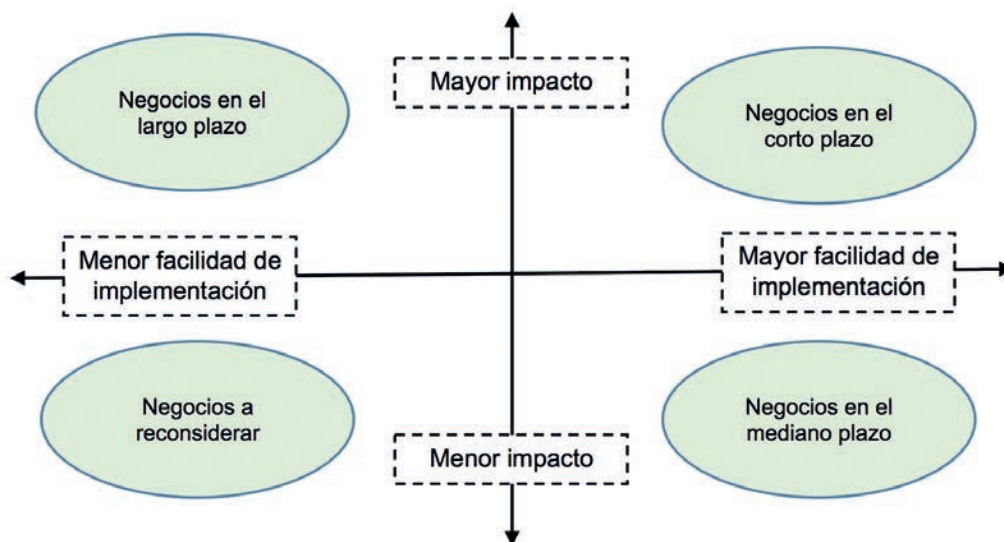


Figura 15.2. Matriz de priorización de mercados y negocios. Fuente: Adaptado de Toro y Sáez (2013).

Al aplicar estos criterios es posible ubicar las diferentes opciones de negocio en cuatro cuadrantes, de los cuales aquellas oportunidades que se ubiquen en el cuadrante de mayor facilidad y mayor impacto son los negocios aconsejables de abordar en el corto plazo, mientras que aquellos negocios con menor impacto o mayor dificultad pueden ser abordados en etapas sucesivas de desarrollo o una vez que se cuente con mayor experiencia. De acuerdo con la matriz propuesta, es aconsejable priorizar los mercados y negocios cuya implementación sea más fácil o requiera menos esfuerzos, así como negocios de mayor impacto en términos de cantidad de personas beneficiadas y generación de ingresos.

El desarrollo de los negocios puede ser abordado utilizando un enfoque progresivo, priorizando aquellos con mayor facilidad para su puesta en marcha, ya sea porque existe mayor experiencia productiva, se requiere un menor volumen de oferta, no se requieren inversiones en el corto plazo o bien existe un mejor conocimiento del mercado o de los/as clientes/as. En la mayoría de los casos, estos mercados corresponden a habitantes y vecinos/as de sectores aledaños a los sitios de producción, para pasar luego a otros modelos, que requieren mayor coordinación como los mercados de agricultores/as (Sáez *et al.*, 2013; Contreras *et al.*, 2014).

Este enfoque propone un desarrollo progresivo de los mercados, comenzado con productos en los que se cuenta con mayor conocimiento y experiencia productiva, comercializándolos en el mismo lugar de producción o en la misma localidad, para luego abordar nuevos mercados con dichos productos, incorporando una cartera más amplia de productos a fin de diversificar la oferta y hacerla más atractiva, o bien en función de los requerimientos de los/as clientes/

as, pero siempre de manera progresiva (Figura 15.3). Existe más información sobre tipos de mercados locales, así como aspectos a considerar en su diseño e implementación en Sáez *et al.* (2015) y Sáez *et al.* (2017).

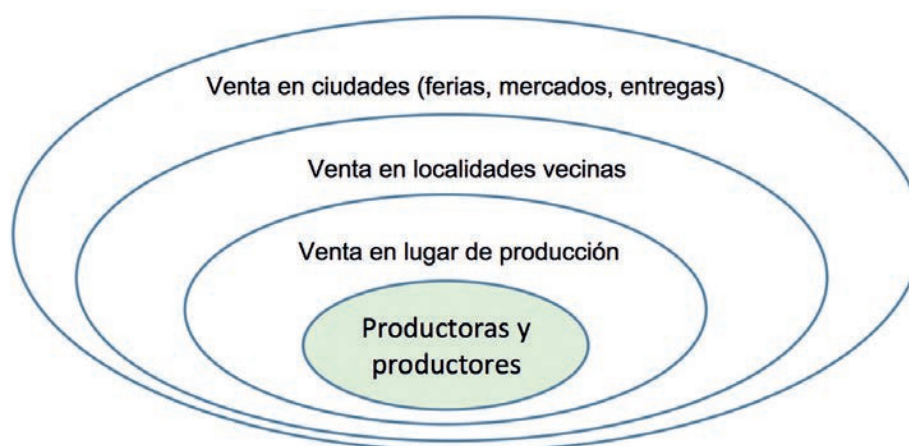


Figura 15.3. Desarrollo progresivo de mercados y negocios Fuente: Adaptado de François, 2000.

Desarrollo de un modelo de negocios

En la sección anterior se mencionó que la identificación y priorización de oportunidades de negocios es un punto de partida relevante, sin embargo, para poder llevar a cabo el negocio se requiere operacionalizar dichas oportunidades detectadas y priorizadas. La propuesta de modelos de negocios CANVAS desarrollado en 2009 por Osterwalder y Pigneur (2010) es una herramienta de gran utilidad para la representación gráfica del negocio a desarrollar, o bien para documentar negocios ya existentes, y consta de nueve componentes clave. Algunas aplicaciones de este modelo en el ámbito de la comercialización en la agricultura familiar pueden obtenerse en Kobrich *et al.* (2015).

Los componentes de este modelo son los siguientes:

Segmento de clientes: se usa para determinar el mercado en el que quiere participar la organización y puede ser analizado mediante preguntas como ¿para quién crea valor la organización? y ¿quiénes son los/as clientes/as más importantes de la empresa?

Propuesta de valor: se usa para determinar qué problema ayuda la empresa a solucionar a sus clientes/as, mediante el análisis de preguntas como ¿qué necesidad satisface la empresa? ¿con qué productos o servicios? y ¿qué diferencia a nuestra organización?

Canales: se usa para determinar cómo se hará llegar la propuesta de valor a los/as clientes/as.

Relación con los/as clientes/as: se usa para determinar el tipo de relación con los/as clientes/as, estableciendo si serán los mismos integrantes de la empresa, quién de la empresa, los medios de contacto a emplear y el nivel de involucramiento de los/as clientes/as.

Flujo de ingresos: se usa para establecer cómo se generarán los ingresos de la empresa.

Recursos clave: se usa para determinar qué se necesita para el desarrollo de las actividades, como por ejemplo qué tipo de recursos físicos, económicos, personas y conocimientos.

Actividades clave: se usa para determinar cuáles son las tareas más importantes para poder ejecutar la propuesta de valor, ¿qué actividades se deben desarrollar para que la propuesta funcione correctamente?, ¿qué canales de distribución se deben desarrollar?, ¿qué actividades se utilizarán en las relaciones con los/as clientes/as?

Socios clave: se usa para determinar con quién debe trabajar la organización para que su modelo de negocios funcione, ¿qué otras entidades contribuirán al éxito?, ¿quiénes son los proveedores más relevantes?, ¿cuáles se pueden reemplazar sin mayor problema?

Estructura de costos: se realiza al final como una reflexión sobre los costos que tiene la organización, ¿el modelo se basa en minimizar costos?, ¿el modelo se centra en la creación de valor para productos o servicios?, ¿cuáles son los costos fijos y variables?, ¿es posible generar economías de escala?

Al analizar la relación entre la oferta (producción) y comercialización, es posible distinguir diferentes maneras en que los/as productores/as de base agroecológica abordan el destino de la producción, pudiendo encontrar un gradiente desde aquellos casos donde la producción se destina exclusivamente al autoconsumo, hasta aquellos casos donde la producción se orienta fundamentalmente a la venta. Entre estos dos extremos es posible apreciar la combinación de autoconsumo y venta en diferentes niveles de importancia, lo que da origen a los siguientes modelos de comercialización de base agroecológica:

Producción exclusiva de autoconsumo: corresponde a un modelo en que la producción solo se destina para el abastecimiento del hogar, principalmente del grupo familiar y, en algunos casos de los/as vecinos/as, situación que se ha hecho más recurrente en el contexto actual de pandemia que ha afectado los ingresos de gran parte de la población o a limitado las posibilidades de abastecerse de alimentos frescos. En esta situación cabe destacar a productores/as que declaran no tener interés en explorar la posibilidad de comercializar parte de su producción, así como también la de personas que manifiestan un interés o han pensado en la posibilidad de explorar la venta eventual de un volumen acotado de su producción, a fin de generar ingresos que permitan complementar ingresos desde otras fuentes. En este

caso el modelo presentado en el Cuadro 15.1 puede emplearse como punto de partida para el inicio de negocios emergentes, basados en la venta de excedentes a clientes de zonas cercanas al predio, como vecinos/as, así como a productores/as con mayor experiencia en la venta de hortalizas, que ocasionalmente requieren complementar su oferta.

En este caso, la propuesta de valor se basa en productos hortícolas frescos, de producción local sostenible y libre de plaguicidas, cuya oferta es comunicada directamente a los/as potenciales clientes/as a través de un medio como el teléfono y/o las redes sociales. Por su parte, las actividades y recursos clave se relacionan principalmente con la producción y gestión de los recursos productivos, procurando contar con una producción escalonada y diversa en función de la estacionalidad, para la cual la relación con socios clave como profesionales o instituciones que provean apoyo y asesoría técnica, o bien, otros/as productores/as que contribuyan a complementar la oferta en caso de que sea necesario, actuando como proveedores en tal situación.

Combinación de autoconsumo con venta esporádica de excedentes productivos: corresponde a un modelo en que los/as productores/as obtiene diversas hortalizas principalmente para el abastecimiento de su hogar o grupo familiar, generando ingresos mediante la venta de excedentes de producción, así como otras actividades como la elaboración y venta de artesanías y textiles, productos que se comercializan en talleres prediales o puntos de venta en centros urbanos. En este modelo representado en el Cuadro 15.2., el segmento de clientes es similar al modelo anterior, esto es vecinos/as y habitantes de sectores aledaños al predio, así como otros productores/as con orientación comercial, de igual forma que la propuesta de valor, centrada en la oferta de hortalizas frescas, de origen local y sostenible, libre de plaguicidas. En este caso, se puede agregar que dada la cercanía con clientes/as sería posible desarrollar una coordinación incipiente de la producción con las necesidades o requerimientos de los/as clientes/as. Las actividades y recursos clave son similares al modelo previo y se relacionan con la oferta de parte de la producción que no es destinada al consumo familiar, para lo cual es relevante la relación con socios clave que provean asesoría técnica, por ejemplo por medio de programas como PRODESAL o PRODEMU, que permita mantener un mínimo de continuidad en la oferta para desarrollar negocios de baja envergadura, de manera escalonada y en función de la estacionalidad, ya sea con clientes finales o bien complementar la producción de otros/as agricultores/as de quienes puedan ser proveedores esporádicos.

Cuadro 15.1. Modelo de negocios inicial para producción de autoconsumo.

8. Socios clave	7. Actividades clave	2. Propuesta de valor	4. Relación con los/as clientes/as	1. Segmento de clientes
PRODESAL PDTI PRODEMU	Desarrollo sistema de producción agroecológico Producción escalonada Obtención de semillas.	Productos hortícolas frescos y libres de plaguicidas, producidos de manera sostenible por productores/as locales.	Los/as clientes/as conocen las características del sistema productivo y prácticas productivas por medio de visitas al predio.	Vecinos/as de zonas aledañas al predio. Otros/as productores/as con orientación a la venta que desean complementar su oferta de manera ocasional.
	6. Recursos clave		3. Canales	
	Recursos productivos (agua, terreno, semillas). Conocimientos sobre producción agroecológica y producción escalonada.		Comunicación directa con eventuales clientes/as (teléfono, redes sociales).	
9. Estructura de costos		5. Flujo de ingresos		
Costos fijos de producción.		Ventas realizadas directamente a potenciales clientes/as como vecinos/as u otros productores/as.		

Cuadro 15.2. Modelo de negocios de combinación de autoconsumo con venta esporádica de excedentes productivos.

8. Socios clave	7. Actividades clave	2. Propuesta de valor	4. Relación con los/as clientes/as	1. Segmento de clientes
PRODESAL PDTI PRODEMU	Desarrollo sistema de producción agroecológico Producción escalonada Obtención de semillas.	Productos hortícolas frescos y libres de plaguicidas, producidos de manera sostenible por productores/as locales, que no están disponibles en canales como supermercados y ferias libres.	Los/as clientes/as conocen las características del sistema productivo y prácticas productivas por medio de visitas al predio.	Vecinos/as que concurren a comprar para abastecimiento doméstico. Productores/as orientados/as a la venta que desean complementar su oferta.
	6. Recursos clave		3. Canales	
	Recursos productivos (agua, terreno, semillas). Conocimientos sobre producción agroecológica y producción escalonada.		Comunicación directa con eventuales clientes/as (teléfono, redes sociales).	
9. Estructura de costos		5. Flujo de ingresos		
Costos fijos de producción.		Ventas realizadas directamente a los/as clientes/as en el predio.		

Combinación de producción comercial y autoconsumo: corresponde a un modelo en que los/as productores/as combinan parte de la producción destinada al autoconsumo, con la producción de uno, dos o tres cultivos, en mayor superficie, lo que permite generar una cosecha más extensa que se destina casi exclusivamente a su comercialización y que contribuyen a generar una corriente de ingresos relevante para el hogar. Los componentes de este modelo se presentan en el Cuadro 15.3., de acuerdo con el cual el segmento de clientes/as se orienta más a personas que buscan abastecerse de productos específicos, como ocurre por ejemplo con la producción de frutillas o frambuesas, cuyos/as clientes/as compran en mayores cantidades ya sea para revender o para la producción casera de conservas u otros productos procesados.

En otros casos, la producción puede orientarse a proveer a otros/as productores/as que comercializan su producción en ferias y mercados locales, diversificándola con hortalizas específicas, como lechugas o pepinos, o bien son comercializadas directamente por los/as productores/as en el mismo predio, como ocurre con la producción de frutillas en comunas como Mariquina (Foto 15.3.).



Foto 15.3. Combinación de producción comercial y autoconsumo (derecha). Producción de frutillas y de hortalizas (izquierda).

En este caso, las actividades y recursos clave se distribuyen entre la producción propiamente tal, que sigue siendo la actividad principal, agregando además la cosecha y acondicionamiento de los productos a comercializar, principalmente en el predio.

Cuadro 15.3. Modelo de negocios de combinación de producción comercial y autoconsumo.

8. Socios clave	7. Actividades clave	2. Propuesta de valor	4. Relación con los/as clientes/as	1. Segmento de clientes
Otros productores/as que puedan proveer excedentes de producción. INDAP (SAT - Gestor/a comercial).	Desarrollo sistema de producción agroecológico. Producción escalonada. Obtención de semillas. Promoción y difusión de la oferta.	Productos hortícolas frescos y libres de plaguicidas, producidos de manera sostenible por productores/as locales, que no están disponibles en canales como supermercados y ferias libres.	Los/as clientes/as conocen las características del sistema productivo por medio de visitas al predio o redes sociales.	Emprendedores/as urbanos/as que venden canastas. Clientes finales o intermediarios/as de localidades cercanas que concurren a comprar al predio en cantidades mayores. Productores/as orientados/as a la venta que deseen complementar su oferta. Vecinos/as y habitantes de la localidad donde se encuentra el predio que concurren a comprar para el abastecimiento diario.
	6. Recursos clave		3. Canales	
	Recursos productivos (agua, terreno, semillas) Conocimientos sobre producción agroecológica y producción escalonada. Local de ventas y acopio.		Redes sociales. Local de venta en predio o en lugar cercano.	
9. Estructura de costos		5. Flujo de ingresos		
Costos fijos de producción; costos variables asociados a cosecha y envasado de productos.		Ventas realizadas en predio o local. Ventas realizadas por redes sociales.		

Producción orientada al autoabastecimiento de emprendimientos culinarios y venta de excedentes: corresponde a productores/as que destinan gran parte de su producción a materia prima para emprendimientos propios, de tipo culinarios, basados en la preparación de recetas tradicionales que comercializan como platos preparados en mercados locales y ferias libres. En algunos casos se puede observar la compra de producción a vecinos/as, para complementar su oferta. El segmento de clientes/as y la propuesta de valor corresponde a personas de localidades que buscan preparaciones tradicionales de la región, elaboradas con hortalizas locales como habas y arvejas utilizadas para preparar platos como el chupe de queso de la región de Los Ríos, comercializado en espacios como mercados locales y fiestas costumbristas, puestos de venta de almuerzos en caminos rurales y más recientemente, elaboración y entrega de almuerzos a domicilio (Cuadro 15.4). En este caso, los recursos y actividades clave se distribuyen entre la producción hortícola propiamente tal, así como el acondicionamiento de la producción, la provisión de un espacio de preparación y venta de la producción, lo que requiere de socios clave como municipalidades u organizaciones sociales que provean de dichos espacios.

Producción orientada a la venta: corresponde a productoras/es que se enfocan en la producción y venta de sus productos en diferentes canales (mercados locales, ferias, supermercados locales, redes sociales, venta a intermediarios, entre otros), de forma individual o asociativa. En algunos casos se puede observar la compra de producción a vecinos/as para complementar su oferta, o bien la elaboración de productos procesados a partir de producción de huerta o frutales de traspatio (Cuadro 15.5). En este modelo, el segmento de clientes considera tanto a personas de sectores aledaños a través de mercados locales o puestos de venta, como a personas de sectores más lejanos, a través de venta presencial en mercados y ferias libres de sectores urbanos, así como por medio de venta no presencial de canastas de productos a través de redes sociales. Los recursos y actividades clave en este modelo, se distribuyen entre la producción propiamente tal y las actividades de promoción y venta. En el caso de las actividades de producción, el objetivo es proveer el flujo continuo de una oferta diversa mediante el cultivo escalonado. En la Foto 15.4. se observan invernaderos para producción de tomates y pepinos en Mariquina, comercializados en ferias libres de Valdivia, mientras que al lado se observa cilantro y perejil de producción local comercializados en supermercados de la comuna de Panguipulli.



Foto 15.4. Producción orientada a la venta.

Cuadro 15.4. Modelo de negocios basado en el autoabastecimiento de emprendimientos culinarios y venta de excedentes.

8. Socios clave	7. Actividades clave	2. Propuesta de valor	4. Relación con los/as clientes/as	1. Segmento de clientes
Municipalidad (uso de espacios públicos). Organizaciones sociales (uso de sedes e instalaciones). INDAP (SAT). SERCOTEC.	Desarrollo sistema de producción agroecológico. Producción escalonada. Obtención de semillas. Promoción y difusión de la oferta. Preparación de los platos y recetas.	Preparaciones frescas y saludables, elaboradas con ingredientes hortícolas frescos y libres de plaguicidas, producidos de manera sostenible por productores/as locales, que no están disponibles en canales como supermercados y ferias libres.	Los/as clientes/as conocen las características de los ingredientes y preparaciones por medio de redes sociales, visitas al predio y a los centros de abastecimiento culinario costumbristas.	Población local de sectores aledaños o sectores urbanos cercanos. Turistas que buscan abastecerse de productos frescos y locales en época estival.
	6. Recursos clave Recursos productivos (agua, terreno, semillas). Conocimientos sobre producción agroecológica y producción escalonada. Infraestructura/ equipamiento de elaboración y venta de preparaciones. Puesto físicos de venta.		3. Canales Redes sociales. Puestos de venta propios. Puestos de venta municipales.	
9. Estructura de costos		5. Flujo de ingresos		
Costos fijos de producción; costos variables asociados a cosecha y poscosecha. Costos de comercialización (traslado de productos, pago de local). Costos de elaboración (combustible, insumos).		Ventas realizadas directamente a los/as clientes/as en los puntos de venta.		

Cuadro 15.5. Modelo de negocios en producción orientada a la venta.

8. Socios clave	7. Actividades clave	2. Propuesta de valor	4. Relación con los/as clientes/as	1. Segmento de clientes
Municipalidad (uso de espacios públicos) Organizaciones sociales (uso de sedes o instalaciones). INDAP (SAT - Mercados Campesinos) SERCOTEC. Supermercados locales.	Desarrollo sistema de producción agroecológico. Producción escalonada. Obtención de semillas. Promoción y difusión de la oferta. Acuerdos comerciales con canales de comercialización de mayor tamaño.	Productos hortícolas frescos y libres de plaguicidas, producidos de manera sostenible por productores/as locales, que no están disponibles en canales como supermercados y ferias libres. Capacidad de abastecer a canales con mayor grado de establecimiento o formalidad, para los volúmenes y frecuencias demandados por estos.	Los/as clientes/as conocen las características del sistema productivo por medio de redes sociales o visitas al predio y por su mayor capacidad de abastecimiento.	Población local o de las localidades aledañas. Personas que no pueden concurrir a ferias a comprar y prefieren entrega a domicilio. Turistas que buscan abastecerse de productos frescos y locales en época estival
	6. Recursos clave		3. Canales	
	Recursos productivos (agua, terreno, semillas). Conocimientos sobre producción agroecológica y producción escalonada. Infraestructura / equipamiento de acopio y ventas.		Redes sociales. Puestos de venta propios. Actividades de campo en el predio. Cosecha participativa. Canales de comercialización de mayor tamaño.	
9. Estructura de costos		5. Flujo de ingresos		
Costos fijos de producción; costos variables asociados a cosecha y poscosecha. Costos de comercialización (traslado de productos, pago de local). Incorporación de otras actividades que contribuyan a prorratear costos (cosechas participativas, incorporación de clientes en labores agrícolas).		Ventas realizadas directamente a los/as clientes/as en los puntos de venta. Ventas de pedidos realizados por redes sociales. Ventas realizadas en centro de comercialización de mayor demanda.		

Comentarios finales

El gran desafío de la comercialización en los sistemas productivos con criterios agroecológicos es alimentar de manera saludable y democrática a la población, compatibilizando la necesidad de cubrir el flujo de costos involucrados y generar un excedente para productores y productoras, pero sin perder el foco en el aporte a la seguridad alimentaria sostenible de las personas. En este contexto, modalidades de comercialización como mercados locales, circuitos cortos y circuitos de proximidad, en todas sus variaciones, resultan muy complementarias y alineadas con los principios de la agroecología, al punto que resultan una extensión natural de este tipo de sistemas productivos, haciendo muy difícil pensar en la comercialización de productos de base agroecológica mediante otras modalidades.

Desde la producción agroecológica no se puede atender los enfoques sociales, económicos y ambientales, sin desarrollar una buena planificación del predio y una buena vinculación con las personas que finalmente van a consumir los alimentos. Por esta razón, los mercados locales, los circuitos cortos y los circuitos de proximidad resultan ser una buena opción, porque permiten valorizar a las personas, respetar el medio ambiente y alimentar saludablemente a la población. Asimismo, productores/as pueden acceder de manera equitativa a los mercados, para que, finalmente, los/as consumidores/as logren alimentarse saludablemente y a precios accesibles. Este tipo de mercados puede aceptar un intermediario, pero no cualquiera, ya que debe ser un facilitador del encuentro entre productores/as y consumidores/as, generando confianza entre ellos. Es por ello que reciben la denominación de intermediario equitativo.

El desarrollo y participación en este tipo de mercados es una forma de militancia que permite una defensa activa de la agricultura y su gente.

Referencias

- Aaker, D.; Day, G. y Kumar, V. (2004).** *Investigación de Mercados* (4ª Edición). Limusa Wiley, México
- Alonso, J. C., Arboleda, A. M., Rivera-Triviño, A. F., Mora, D. Y., Tarazona, R., y Ordoñez-Morales, P. J. (2017).** Técnicas de investigación cualitativa de mercados aplicadas al consumidor de fruta en fresco. *Estudios Gerenciales*, 33(145), 412–420. doi:10.1016/j.estger.2017.10.003
- Contreras, R. Krivonos, E. y Sáez T., L. (2014).** Mercados locales y ferias libres: El caso de Chile en *Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política*. S. Salcedo y L. Guzmán (Eds). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santiago, Chile. <http://www.fao.org/docrep/019/i3788s/i3788s.pdf>

- François, M. (2000).** *Comercialización de los productos locales. Circuitos cortos y circuitos largos.* Cuaderno de la Innovación (7). European Commission Directorate-General Agriculture.Observatorio Europeo LEADER II.
- Galeano, M. (2004).** *Diseño de proyectos en investigación cualitativa.* 1ª edición. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- González, C.A. and García, D.F. (2019).** The consumer as a resource. Ethnography of consumption applied to market research. *Revista Uruguaya de Antropología y Etnografía*, 4(2), 53-64. Epub 01 de diciembre de 2019. doi:org/10.29112/ruae.v4.n2.4
- Kobrich, C.; Sáez, L.; Quinteros, R.; Serón, F.; Bravo, F.; Cano, I. y Díaz, C. (2015).** *Diseño y evaluación ex – ante de modelos de negocios en circuitos cortos en Chile.* Serie estudios y documentos de trabajo, N°4 INDAP. Ministerio de Agricultura de Chile.
- Osterwalder, A. and Pigneur, Y. (2010)** Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers. Ed. John Wiley & Sons, 2013. Strategyzer Series Books.
- Sáez, L.; Torres, V.; Cáceres, L. (2010).** Caracterización de las ferias libres como canal de comercialización en la Región Metropolitana de Chile. *Economía Agraria* 14, 1-7. http://www.aeachile.cl/wp-content/uploads/2017/07/vol14_art-1.pdf
- Sáez, L.; Sandoval, L.M.; Ganga M. (2013).** Definición de la categoría “Producto campesino” en base a preferencias de consumidores del Gran Santiago. *IDESIA* 31(1), 117–127. doi:10.4067/s0718-34292013000100014
- Sáez, L.; Quinteros, R. y Díaz, C. (2015).** *Guía para el desarrollo de circuitos cortos en un área urbana: modelo mercado campesino urbano.* Serie Manuales y cursos, N°3 INDAP. Ministerio de Agricultura de Chile. <http://focorural.cl/wp-content/uploads/Gu%C3%ADa-para-el-desarrollo-de-circuitos-cortos-en-un-%C3%A1rea-urbana-Modelo-mercado-campesino-urbano-2015.pdf>
- Sáez, L., Díaz C. y Kobrich, C. (2017).** Cadeias curtas: experiências e oportunidades no Chile e em outros países da América Latina en Gazzolla, M. y Scheneider, S. (Ed.) *Cadeias curtas e redes agroalimentares alternativas* (pp 309-326). Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Toro, P. J., y Sáez, L. D. (2013).** Desarrollo de una propuesta de comercialización para productos agropecuarios de la Comuna de Navidad basada en circuitos cortos y mercados locales. Tesis de pregrado, Universidad de Santiago de Chile. Colección digital: Trabajos de Titulación y/o Graduación (<https://repositorio.usach.cl/>).

Reseñas de los autores

Agustín Infante L. *Ingeniero agrónomo de la Universidad de Chile, con un magíster en Desarrollo Rural Sustentable de la Universidad Católica de Temuco, Chile y un doctorado en Agroecología de la Universidad de Antioquia, Colombia. Ha dedicado 35 años de su carrera a la producción con base agroecológica. Es director regional del Centro de Educación y Tecnología (CET) y consultor internacional en agroecología. Sus publicaciones están relacionadas con los principios y prácticas de producción con criterios agroecológicos. Desde 2003 es director del diplomado de Agricultura Orgánica y desde 2016 del diplomado de Agroecología, ambos impartidos por el CET en asociación con varias universidades y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Quilamapu). En 2007 obtuvo el Premio Regional del Medioambiente, categoría Sociedad Civil y ONG, como reconocimiento a su destacado aporte en el mejoramiento de la calidad del medioambiente de la Región del Biobío. Es parte de la directiva de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (Socla) y actualmente es presidente de Socla Chile.*

Alejandra Pascale Vásquez S. *Médica veterinaria de la Universidad de Chile. Experta en desarrollo rural, con especializaciones en temáticas vinculadas a la agroecología, cooperativismo, medioambiente, alimentación y políticas públicas, en Chile y en el extranjero. Desde su creación es socia de la Cooperativa de Consumo Responsable La Manzana, de Valdivia, involucrándose activamente en la organización, liderando iniciativas y coordinando proyectos de innovación en la cadena de valor agroecológica, fortalecimiento de la gestión y del modelo de negocios, entre otros. También ha trabajado como consultora para instituciones de desarrollo local públicas y privadas, algunas ONG, la academia y la cooperación internacional.*

Alejandro Andrés Layana S. *Ingeniero agrónomo de la Universidad de la Serena, Chile, con un diplomado en Gestión de la Innovación y Transferencia Tecnológica. Su experiencia está ligada a la transferencia y extensión agrícola a pequeños/as productores/as en las regiones de Atacama y Coquimbo, con énfasis en manejo integrado de plagas y la transición hacia sistemas agroecológicos. En 2018 formó parte del Laboratorio de Entomología del Centro Regional del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Intihuasi), Ha participado en distintos proyectos y en la elaboración de artículos de difusión técnica. Actualmente es el encargado de Transferencia Tecnológica y Extensión Agrícola en Agro Circular SpA.*

Alejandro Andrés Yacuzzi C. *Técnico Universitario en mantenimiento aeronáutico de la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Es diplomado en Agroecología del Centro de Educación y Tecnología (CET). Cofundador y gerente de Administración, Finanzas y Soporte en Liqueur Austral Bioinsumos. Durante los años 2018 y 2020 fue coordinador de los proyectos: Elaboración de sustratos a partir de subproductos bioprocesados en el sur de Chile y Validación técnica y comercial de bioinsumos agrícolas. Profesional con variados intereses y habilidades, abarcando el mundo de las tecnologías, como las energías renovables no convencionales, generación de líneas productivas a partir de subproductos o residuos, agricultura agroecológica y desarrollo local. Actualmente realiza labores administrativas y está a cargo del manejo y la mantención del faro agroecológico ubicado en Máfil, que forma parte del Programa de agroecología y agricultura orgánica para pequeños y medianos agricultores de la Región de Los Ríos, del Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA Remehue).*

Álvaro Antonio Sotomayor G. *Ingeniero forestal de la Universidad de Chile, con un máster de la Universidad de Texas A&M, Estados Unidos y un doctorado de la Universidad de Córdoba, España. Actualmente trabaja en el Instituto Forestal de Chile como gerente de la sede Biobío e investigador, dedicándose los últimos veinticinco años a estudiar los sistemas agroforestales en Chile y divulgar la importancia de su incorporación en los campos chilenos. En estos temas están centradas sus publicaciones divulgativas y científicas. Ha sido docente de la Universidad de Concepción, Chile; miembro del Grupo Agroforestal, de la Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO, por sus siglas en inglés); y presidente y director del Colegio de Ingenieros Forestales, en las asambleas de Valdivia y Concepción.*

Carlos Andrés Díaz R. *Médico veterinario de la Universidad de Chile. Es máster en Ciencias de la Universidad de Wageningen, Países Bajos. Se ha dedicado al diseño e implementación de iniciativas públicas y privadas en torno a la comercialización de productos agropecuarios, con especial foco en la agricultura familiar campesina. Docente y gestor de innovación en la Universidad de Santiago de Chile y otras instituciones académicas durante los últimos diez años. Ha generado diversas publicaciones científicas y divulgativas en el ámbito de la calidad de los alimentos y el desarrollo de circuitos agroalimentarios sustentables.*

Carlos Gabriel González M. *Ingeniero agrónomo de la Universidad de Concepción, Chile. Es magíster en Teledetección y Sistemas de Información, Universidad de París VI, Francia y magíster en Biotecnología y Ciencias Agrarias, AgroParisTech Francia y Universidad Católica de Temuco. Fue docente en la Universidad de Las Américas en Chile. Asesor internacional para la gestión de recursos hídricos y políticas públicas en parques nacionales y áreas protegidas, formulador de múltiples estudios de investigación aplicada en agroclimatología, gestión del agua, adaptación al cambio climático y riego de precisión para el sector público y privado en República Dominicana. Consultor internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).*

Clara Inés Nicholls E. *Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia. Es máster en Entomología, Chapingo, México y Ph.D. en Entomología y control biológico de plagas de insectos, Universidad de California Davis, Estados Unidos. Profesora permanente en la Universidad de California, Berkeley, imparte clases en la Universidad de Santa Clara en California y en varias universidades de Colombia, Brasil, Nicaragua, Argentina, España, Italia. Su investigación se ha centrado en manejar la biodiversidad vegetal para proporcionar hábitat y fomentar el control natural de plagas de insectos, y en metodologías para evaluar la resiliencia al cambio climático con el fin de diseñar intervenciones agroecológicas que mejoren la adaptabilidad de los sistemas agrícolas a los extremos climáticos, generando información publicada en varios libros y artículos en revistas científicas. Actualmente es presidenta honorífica de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (Socla), coordinadora regional de Redagres y codirectora del Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (Celia).*

Claudio Antonio Salas F. *Ingeniero agrónomo de la Universidad Iberoamericana de Ciencias y Tecnologías, Chile. Es doctor en Entomología Agrícola de la Universidad del Estado de São Paulo, Brasil. Se desempeña desde el 2004 como investigador en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA ntihuasi). Es miembro de la Organización Internacional para el Control Biológico (IOBC); también es parte de la Red Colaborativa de Investigación de Enfermedades en Trabajadores Agrícolas (Riplag); e integra la Sociedad Chilena de Entomología, de la cual fue presidente durante el periodo 2011-2012. Es autor de numerosos artículos divulgativos y científicos, así como de capítulos de libros nacionales e internacionales en el ámbito del manejo integrado de plagas con énfasis en control biológico por conservación. Ha participado en al menos veinte proyectos de investigación en calidad de investigador principal o colaborador.*

Felipe Hernán Infante C. *Antropólogo de la Universidad de Concepción, Chile. Es máster y Ph.D. en Antropología Cultural de la Universidad de Florida, Estados Unidos. Su trabajo se enfoca en temáticas relacionadas con el capital social, los sistemas socioecológicos y la ecología política. Su investigación se ha enfocado en la zona correspondiente al secano interior del centro-sur de Chile, donde ha abordado temáticas como los efectos de las plantaciones forestales y la degradación de recursos naturales, como el suelo y el agua, generando diversas publicaciones científicas. Actualmente es investigador posdoctoral de la Facultad de Ciencias Forestales y del Laboratorio de Estudios del Antropoceno de la Universidad de Concepción.*

Héctor Ignacio Manosalva T. *Antropólogo de la Universidad de Concepción, Chile, con mención en Antropología Sociocultural y bachiller en Humanidades de la misma casa de estudios. A lo largo de su carrera ha trabajado para diversas instituciones públicas y privadas, realizando investigación en el ámbito de la antropología sociocultural, pueblos originarios y agroecología, destacando por sus trabajos etnográficos en horticultura mapuche y en el cultivo de frutilla blanca. En la actualidad es colaborador docente en la carrera de Antropología de la Universidad de Concepción, donde imparte la asignatura de Etnohistoria.*

Johanna Jacobi. *Profesora de Transiciones Agroecológicas en la ETH Zürich, Suiza. Estudió Geografía, Biología y Antropología Social (M. Sc. de la Universidad de Friburgo, Alemania) realizó su tesis en producción de verduras con aguas residuales en Hyderabad, India. Después de su doctorado en Geografía de la Universidad de Berna, Suiza, sobre la resiliencia socioecológica de los sistemas de cultivo de cacao orgánico en Bolivia, realizó un postdoctorado en la Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos, en sistemas agroforestales. Entre los años 2015 y 2021 trabajó como investigadora en el Centro para el Desarrollo y el Medio ambiente (CDE) de la Universidad de Berna, Suiza, en la oficina regional del CDE en La Paz, Bolivia. Su investigación se centra en la sostenibilidad y la resistencia del sistema alimentario desde el punto de vista de la ecología política. Otros temas de interés son el desarrollo endógeno, la coproducción transdisciplinaria de conocimientos y la diversidad biocultural. Es parte de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (Socla).*

José Alberto Pedreros L. *Ingeniero agrónomo de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con un máster y Ph.D. en malherbología de la Universidad Estatal de Colorado, Estados Unidos. Se ha dedicado por más de treintaicinco años a la ciencia de las malezas, con gran número de publicaciones entre divulgativas, científicas y capítulos de libros, destacando su trabajo en manejo de malezas en sistemas orgánicos. Ha sido docente de cursos relacionados con malezas en las universidades de Talca, Adventista y Católica del Maule, en Chile. En la actualidad es académico de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Chile.*

José Exequiel Vallejos Q. *Ingeniero agrónomo de la Universidad de Concepción, Chile. Diplomado en Agroecología (CET). Asesor en agroecología y agricultura orgánica regenerativa, con doce años de experiencia. Ha participado apoyando proyectos en el ámbito público y privado, ligados a sistemas agrícolas sostenibles. Autor de publicaciones divulgativas en producción hortícola con base agroecológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Quilamapu). Ejerció como docente en la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile, en la carrera de Técnico Agropecuario.*

Juan Fernando Hirzel C. *Ingeniero agrónomo Universidad de Talca, M.Sc. Universidad de Concepción, y Dr. Cs. Universidad Politécnica de Madrid. Especialista en fertilidad de suelos y manejo nutricional de plantas. Investigador del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Quilamapu) durante veintiún años y docente universitario. Sus líneas de trabajo están relacionadas con el manejo nutricional de frutales y cultivos, uso de enmiendas orgánicas en agricultura, rotaciones de cultivos con manejo de residuos, cuyos resultados han sido publicados en artículos científicos, libros, diversas publicaciones divulgativas y capítulos de libros nacionales e internacionales en temas de fertilización de frutales y cultivos. Ha liderado proyectos de investigación y de difusión en ciencia básica y aplicada, además de proyectos con empresas privadas.*

Luis David Sáez T. *Ingeniero agrónomo de la Universidad de Chile y máster en Comportamiento del Consumidor, Universidad Adolfo Ibáñez, Chile. A lo largo de su carrera profesional y académica en la Universidad de Santiago de Chile se ha dedicado al trabajo con integrantes de la agricultura familiar campesina, las ferias libres, así como con sus organizaciones, en el ámbito de la comercialización a través de los mercados locales y los circuitos cortos. Asesor de instituciones nacionales e internacionales, ha generado diversas publicaciones científicas y divulgativas vinculando los sistemas de alimentación sostenibles y los canales agroalimentarios y pesqueros tradicionales. En los últimos años ha estudiado el fenómeno de las pérdidas y desperdicios alimentarios en los circuitos comerciales, creando el concepto de microbanco de alimentos saludables en las ferias libres.*

Macarena Alicia Arriagada C. *Ingeniera agrónoma de la Universidad Católica de Temuco, Chile. Es diplomada en Desarrollo Rural y Educación de Adultos, Pontificia Universidad Católica de Chile, y en Desarrollo Económico Territorial de la Universidad de Los Lagos, Chile. Cuenta con dieciséis años de experiencia en el trabajo con la agricultura familiar campesina. Ha trabajado en la Municipalidad de Futrono como Encargada de Desarrollo Rural y jefa técnica del programa Prodesal, desde sus inicios, apoyando activamente el fomento de la comercialización de pequeños/as productores/as agrícolas a través de circuitos cortos de comercialización. Actualmente es la encargada de comercialización en el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) en la Región de Los Ríos.*

María Cecilia Céspedes L. *Ingeniera agrónoma de la Universidad de Chile y máster en Ciencias del Suelo de la Universidad Estatal de Oregon, Estados Unidos. Se desempeña como investigadora en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Quilamapu) desde 1994, siendo profesional de apoyo hasta el año 1997 en temas relacionados con control biológico de plagas. A partir de 1997 inicia la investigación en INIA en agricultura orgánica, creando el que actualmente es el programa de Investigación en Agroecología de INIA Quilamapu. Ha sido investigadora líder de diversos proyectos de investigación, desarrollo y difusión tendientes a generar y transferir información para la producción con base agroecológica. Fue docente de la asignatura de Agricultura Orgánica en la Universidad de Concepción, Chile. Autora de numerosos artículos divulgativos y científicos, así como de capítulos de libros nacionales e internacionales en el ámbito de agricultura orgánica, agroecología, manejo sostenible del suelo, rescate, elaboración y efectos de biofertilizantes, entre otros. En 2019 fue galardonada con el Premio a la Trayectoria en Agroecología, por la Sociedad Científica de Agroecología (Socla), como un reconocimiento a su aporte a la investigación. Actualmente es parte de la directiva de Socla Chile.*

Miguel Ángel Altieri S. *Ingeniero agrónomo de la Universidad de Chile, máster de la Universidad Nacional de Colombia y Ph.D. en Entomología de la Universidad de Florida, Estados Unidos. Desde 1981 es profesor de agroecología en el Departamento de Ciencias Ambientales, Política y Gestión, de la Universidad de California, Berkeley. Actualmente es profesor emérito, manteniendo un programa activo de enseñanza e investigación. Se desempeñó como asesor científico del Consorcio Latinoamericano de Agroecología y Desarrollo (Clades) Chile y del programa de Sistemas Ingeniosos del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) de la Organización de las Naciones Unidas*

para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Fue coordinador general del Programa de Extensión y Redes de Agricultura Sostenible del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; presidente del comité de ONG del Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (CGIAR); director del Consorcio de Agroecología y Desarrollo Rural Sostenible de los Estados Unidos y Brasil (CASRD); además fue presidente de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (Socla). En 2015 fue investido doctor honoris causa por la Universidad Católica de Lovaina, Bélgica. En 2017 se convirtió en profesor honorario de la Universidad de La Frontera, Chile. En febrero de 2018 fue incorporado al Salón de la Fama de la Tierra (Earth Hall of Fame) por la Prefectura de Kyoto, Japón. En diciembre de 2018 recibió el reconocimiento Biodiversidad, Sociedad y Territorio por la Universidad de Guadalajara, México. Actualmente es codirector del Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (Celia). A lo largo de su prolífica vida profesional ha escrito innumerables artículos científicos, libros y capítulos de libros.

Paz Antonia Millas O. *Ingeniera agrónoma de la Universidad de Concepción, Chile doctora en Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile. Investigadora del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Quilamapu), desde el año 2009. Sus líneas de interés son fitopatología, control biológico de enfermedades e identificación molecular de microorganismos. Es docente de la asignatura de fitopatología de la carrera de Agronomía de la Universidad Adventista de Chile. Ha participado en varios proyectos relacionados con enfermedades de distintas especies frutales y hortalizas. Es autora de diversas publicaciones científicas y divulgativas en el área. Actualmente está a cargo del Laboratorio de Identificación Molecular del Banco de Recursos Genéticos Microbianos, de INIA Quilamapu.*

René Andrés France I. *Ingeniero agrónomo de la Universidad de Chile, máster y Ph.D. en Patología de Plantas otorgado por la Universidad de Cornell, Estados Unidos. Tiene treintaicinco años de experiencia como investigador del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Quilamapu). Sus áreas de interés son control biológico de plagas y enfermedades, recursos genéticos microbianos y colecciones de microorganismos. Ha participado en diversas publicaciones científicas y divulgativas y en casi un centenar de proyectos nacionales e internacionales. Fue responsable de la creación de la Colección Chilena de Recursos Genéticos Microbianos, único banco con estatus de Autoridad Internacional de Depósito de Sudamérica. Actualmente ocupa el cargo de líder del grupo de Sanidad Vegetal de INIA.*

René Gastón Montalba N. *Ingeniero agrónomo de la Universidad de la Frontera, Chile, máster y doctor en Agroecología, Sociología y Desarrollo Rural Sostenible de la Universidad de Córdoba, España. Es profesor de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad de La Frontera, donde dirige el Laboratorio de Agroecología y Sostenibilidad Alimentaria y es responsable de cursos y especializaciones de posgrado en esa materia. Ha dirigido múltiples proyectos de investigación de carácter nacional e internacional, a partir de los cuales ha generado numerosas publicaciones científicas y de extensión en torno a la agroecología y la sostenibilidad de los sistemas agrarios y alimentarios. Es socio fundador y en varias ocasiones ha sido parte de la directiva de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (Socla). Actualmente miembro de Socla Chile.*

Sigrid Marcela Vargas S. *Ingeniera agrónoma de la Universidad de Concepción, Chile. Diplomada en Agricultura Orgánica, del Centro de Educación y Tecnología (CET) y Producción de hortalizas en condiciones protegidas, del INTAGRI-Universidad de Almería, España. Se ha dedicado durante veinticinco años a la producción hortofrutícola con manejo orgánico y de base agroecológica. Los últimos trece años se ha desempeñado como investigadora y extensionista en agroecología en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Remehue e INIA Quilamapu). Su principal responsabilidad corresponde a la transferencia tecnológica y extensión a productores/as, asesores/as, estudiantes del área agrícola, comunidades indígenas y personas de sectores vulnerables de la sociedad. En la actualidad se desempeña en INIA Quilamapu, en Chillán y es socia de Socla Chile.*

Soledad Mercedes Espinoza T. *Ingeniera agrónoma de la Universidad Adventista de Chile. Es máster en Ciencias, mención Suelos y doctora en Ciencias Agropecuarias, Universidad de Concepción, Chile. Con diversas publicaciones divulgativas, científicas y capítulos de libros en sistemas ganaderos, praderas, enmiendas orgánicas y fosforadas en praderas, cultivos suplementarios para períodos críticos de alimentación animal y fijación biológica de nitrógeno. Ha sido docente de edafología, fertilidad y fertilizantes y producción de forraje en la Universidad Adventista de Chile. Desde el año 2014 es investigadora del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Raihuén).*

Stephan Rist. *Profesor de Geografía Humana del Instituto de Geografía de la Universidad de Berna, Suiza. Forma parte del Centro para el Desarrollo y el Medioambiente (CDE) de la Universidad de Berna, donde encabeza el Laboratorio de Gobernanza Sustentable de la Tierra y de Recursos Naturales. Tras obtener un máster en Ciencias Agrarias de la Universidad Politécnica Federal de Zurich (ETHZ, por sus siglas en alemán), Suiza, ha trabajado en el Instituto de Investigación para la Agricultura Orgánica, del mismo país. Además, ha sido codirector del programa Agroecología Universidad de Cochabamba (Agruco) en Bolivia. En su trabajo con los Aymara, de Bolivia, ha logrado reconstruir las múltiples dimensiones que se reflejan en las nociones endógenas de desarrollo. Las experiencias recogidas han alimentado la generación de un doctorado en Sociología Rural, en el Instituto de Sociología Rural de la Universidad Técnica de Munich, Alemania.*

Viviana Loreto Pérez L. *Ingeniera agrónoma de la Universidad de la Serena, Chile, diplomada en Agricultura Orgánica en la Pontificia Universidad Católica de Chile, con un postítulo en Ecología Social y Sustentabilidad en Universidad de Santiago de Chile. Su experiencia está ligada al desarrollo de proyectos y capacitaciones en agroecología, economía circular y cooperativas. Relatora de cursos de agricultura sustentable en la oficina de capacitaciones de la Universidad de La Serena y profesora la asignatura del electivo Agricultura Urbana y Reciclaje, en la misma institución. Es integrante de Ecoterra ONG, donde su trabajo está ligado al desarrollo comunitario y la agroecología, además es coordinadora de proyectos en Agro Circular SpA.*

Glosario

Abiótico: Componente físico o químico no vivo en el ecosistema, incluye la luz solar, el aire, los minerales, el agua y el suelo.

Actividad antropogénica: Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas.

Aerobio: Organismo que requiere de oxígeno del aire para realizar sus funciones vitales o subsistir, si solo puede vivir en presencia de oxígeno (aerobio estricto), si el oxígeno no impide su desarrollo (aerobio facultativo). También se dice de un proceso químico en que el oxígeno tiene un papel fundamental.

Aerobiosis: Vida en un ambiente que contiene oxígeno.

Agente teratogénico: Sustancia, agente físico u organismo capaz de provocar un defecto congénito durante la gestación. Los teratógenos actúan interfiriendo el crecimiento celular embrionario y fetal, así como la proliferación, migración y diferenciación celular.

Agricultura biodinámica: Método de agricultura ecológica basado en las teorías de Rudolf Steiner en la década de 1920, fundador de la antroposofía. Es un método de agricultura ecológica basado en la relación de actividades agrícolas como la siembra en relación con los patrones de movimiento de la luna y los planetas gracias a un calendario, o cómo aplicar al suelo, al compost o a las plantas preparados de materiales naturales procesados específicamente con la intención de implicar seres no físicos y fuerzas elementales.

Agricultura natural: Sistema desarrollado por el japonés Masanobu Fukuoka en los años 70, donde sienta las bases del Mu o del no hacer. Este considera no labrar la tierra ni realizar surcos para conservar su estructura natural, no intervenir en el trabajo del cultivo, cero productos o fertilizantes químicos, no desherbar el cultivo, ya que las malas hierbas deben ser controladas y no eliminadas, no utilizar insecticidas sintéticos, no realizar podas y entre muchos otros principios.

Agricultura orgánica: Es un sistema integral de producción silvoagropecuaria basado en prácticas de manejo ecológicas, cuyo objetivo principal es alcanzar una productividad sostenida sobre la base de la conservación y/o recuperación de los recursos naturales. Sinónimos: agricultura ecológica o biológica.

Agroecología: Transdisciplina que proporciona los principios ecológicos básicos para el estudio, diseño y gestión de los agroecosistemas que cuando son manejados con criterios agroecológicos son naturales, productivos, culturalmente sensibles, socialmente justos y económicamente viables.

Agroecosistema: Corresponde a un ecosistema sometido por el hombre a continuas modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos para la producción de alimentos y fibras, afectando el comportamiento de los individuos, tanto de la flora como la fauna y la dinámica de las poblaciones, la composición de las comunidades y los flujos de materia y energía. Para la agroecología, el agroecosistema es una construcción social,

producto de la coevolución de los seres humanos con la naturaleza, por lo que su definición no se ajusta exclusivamente a procesos de índole biológico, sino también considera los aspectos económicos y sociales.

Agua verde: Se le llama a aquella que está contenida en suelo y plantas.

Alelopatía: Efecto negativo o positivo que puede ejercer metabolitos liberados por plantas, o microorganismos sobre otros organismos, debido a la liberación de sustancias químicas.

Aleloquímico: Compuestos químicos liberados por una planta o microorganismo, que tiene efectos conductuales o fisiológicos, ya sea negativos o benéficos, sobre otros organismos (plantas, hongos o bacterias).

Almazara: Corresponde al lugar, molino o industria donde se obtiene el aceite a partir de aceitunas.

Anaerobio: Organismo que tiene la capacidad de vivir sin oxígeno molecular. Si solo puede vivir en ausencia de oxígeno (anaerobio estricto), si el oxígeno no es un elemento indispensable para su existencia (anaerobio facultativo) ya que lo obtiene de sustancias del ambiente.

Anaerobiosis: Vida en ausencia de oxígeno libre.

Anoxias: Falta o reducción de oxígeno en el suelo.

Arado: Herramienta proveniente desde Mesopotamia. Hasta los 4.000 años a.p., fue de madera y movilizaba a mano, luego se incorporaron los animales de tiro y se reforzó con una punta elaborada en sílex.

Ard: Arado simple utilizado para rasgar la tierra en la antigua Grecia.

Barbecho cubierto: Cultivos de cobertura que se utilizan durante los períodos de barbecho, entre la cosecha y el establecimiento del siguiente cultivo, aprovechando la humedad residual del suelo. Su crecimiento se interrumpe antes de la siembra del siguiente cultivo o bien después de la siembra de este, pero antes de que comience la competencia entre los dos cultivos.

Biochar: Biomasa de origen vegetal procesada mediante pirolisis, también conocido como carbón vegetal, que es empleado como enmienda aplicada al suelo. Actualmente se estudia como una alternativa para el secuestro de carbono en el suelo.

Biocombustible: Combustible derivado de biomasa, es decir de material vegetal, de algas o desechos animales. Se considera una fuente de energía renovable, como alternativa rentable y ambientalmente benigna a los combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas natural. Existe preocupación por la expansión de ciertos biocombustibles debido a los costos económicos y ambientales asociados al proceso de refinación y la posible eliminación de vastas áreas de tierra cultivable de la producción de alimentos.

Biocontroladores: Organismos o productos de origen biológico que actúan como antagonistas frente a patógenos o plagas de los cultivos, no dejan residuos y no son perjudiciales para la salud humana ni el medioambiente.

Biodiversidad funcional: Diversidad de especies presentes en un sistema productivo, que favorecen su manejo, como por ejemplo las plantas melíferas, las repelentes de insectos plaga, las utilizadas para el resguardo de insectos benéficos, las con efecto alelopático positivo; los microorganismos que participan en la mineralización de la materia orgánica, etc.

Biopurificadores: Sistema de purificación de agua o aire contaminado que no utiliza desinfectantes o productos químicos sino que un sistema de filtros físicos, como plantas o microorganismos.

Biótico: Término utilizado para denominar todo lo viviente. Una asociación biótica comprende las plantas y los animales presentes en un área determinada.

Biotopo: Espacio vital donde se dan determinadas condiciones ecológicas que le confieren una cierta unidad e independencia respecto a los demás ambientes. Estas condiciones sustentan ciertas especies, animales o vegetales que forman una comunidad o biocenosis. Biocenosis más biotopo constituye un ecosistema.

Bosque esclerófilo: El bosque esclerófilo es una formación vegetal propia de las zonas mediterráneas. Se caracteriza por especies con características xeromórficas con el tipo de hojas perenne, duras, que les permiten resistir las sequías veraniegas del clima mediterráneo.

Bosque primario: El bosque primigenio o virgen es una extensión considerable de masa forestal que ha permanecido intacta, nunca ha sido explotada, fragmentada o influida por el ser humano y sus actividades.

Bosque secundario: Bosque que se regenera a través de un proceso natural después de una perturbación humana o natural, muy significativa o total, de la vegetación original (renewal).

Cadena de estanques longitudinales: Sistema de estanques escalonados, aguas arriba o aguas abajo, alimentados por un sistema de canales que partían en los lomos ribereños y su toma de agua se ubicaba sobre el nivel de las crecidas más bajas.

Capacidad de *buffer*: Capacidad de amortiguación de un elemento ácido o alcalino que al agregarlo en un medio estabiliza el pH.

Cazadores recolectores: Grupos humanos móviles que obtienen alimentos desde la naturaleza, gracias a la caza, pesca y recolección. Se diferencian de grupos sedentarios, por su movilidad y por no controlar la producción de alimentos.

Cercos vivos: Plantaciones de especies arbustivas y arbóreas que se establecen en el terreno para separar parcelas de cultivos, potreros o formar linderos entre propiedades.

Cero labranza: Sistema de cultivo donde la siembra se hace directamente en el suelo, sobre los rastrojos del cultivo anterior, sin necesidad de removerlo ni eliminar el rastrojo que lo cubre, de esta forma se protege al suelo de la erosión, en especial cuando hay pendiente, ya que al sembrar sobre todo el material que queda del cultivo anterior, se evita el arrastre del suelo por el agua.

Competencia: Interacción entre individuos que tienen similares requerimientos y algún factor de producción comienza a ser escaso.

Compuestos orgánicos: Compuesto químico que contiene carbono, formando enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno.

Comunidad: Conjunto de organismos que viven en un determinado habitat.

Concreciones de suelo: Concentraciones endurecidas de las partículas del suelo, formadas por precipitación o segregación de minerales, suelen denominarse nódulos o concreciones y pueden ser calcáreas (de carbonato de calcio) de hierro y manganeso con aspecto de perdigones o municiones negras.

Consuntiva: En el estricto sentido del agua se refiere a los derechos de aprovechamiento que facultan al titular a consumir el recurso sin obligarle a su restitución.

Cortinas cortavientos: Cortina rompeviento, cortavientos o forestal, es una hilera de árboles que permiten proveer de protección contra el viento, prevenir la erosión eólica y reducir la evapotranspiración de los cultivos, por lo que se establecen en los bordes de potreros agrícolas.

Cultivos asociados: Es una práctica agrícola que involucra dos o más especies de cultivos, o genotipos, juntos y conviviendo por un tiempo en el mismo terreno. Pueden establecerse en franjas, en líneas, sobre la misma línea de plantación o al voleo sin un patrón específico. Es una forma de añadir diversidad al sistema y lograr una intensificación sostenible, ya que mejora el aprovechamiento de los recursos.

Cultivos intercalados: Método de cultivo asociado, donde dos o más especies se establecen en forma alternada en franjas o hileras de plantación bien definidas o también dentro de la misma línea de plantación, con un patrón específico. No existe competencia entre cultivos. Ejemplo: maíz con poroto.

Cultivos mixtos: Método de cultivo asociado en el que dos o más cultivos se cultivan simultáneamente, mezclados en el mismo terreno; las semillas se combinan y se siembran, sin seguir un patrón en el terreno. Existe competencia entre cultivos. Ejemplo: avena más vicia.

Curacas: En la estructura social y administrativa incaica es el jefe político y administrativo.

Déficit de presión de vapor (DPV): Es la diferencia entre la cantidad máxima de vapor de agua que puede retener la atmósfera y la que contiene en ese momento.

Descomposición aeróbica: Oxidación completa del material orgánico, que por efecto de microorganismos descomponedores es transformado en compuestos inorgánicos.

Detección de sitio específico o *remote sensing*: Sistema de teledetección que permite, a través de una cámara hiperespectral, obtener las longitudes de onda en las cuales es visible una maleza determinada, lo cual es clave para definir los filtros óptico-específicos para su detección, apoyando efectivamente el control de malezas. Esta metodología podrá extrapolarse al control de plagas y enfermedades en cultivos agrícolas y forestales.

Detoxificación: Consiste en una serie de reacciones químicas que tienen lugar en un organismo, mediante las cuales las toxinas son transformadas en sustancias menos tóxicas e hidrosolubles, que pueden ser eliminadas con mayor facilidad.

Digestatos: Residuos sólidos remanentes tras la digestión anaerobia de materias primas biodegradables, tal como lodos de aguas residuales, desechos de alimentos, desechos animales u otros desechos orgánicos.

Dinamización del compost: Imprimir rapidez e intensidad al proceso del compost.

Diversidad intrapredial: Representa la abundancia de rubros agrícolas, especies vegetales y animales u otros organismos presentes dentro del predio.

Dormancia: Se refiere a la incapacidad de germinar aunque las condiciones ambientales sean adecuadas.

Ecosistema: Unidad compuesta por una comunidad de organismos interdependientes que comparten el mismo hábitat, las relaciones que se establecen entre los organismos y, entre estos y el medio físico donde se relacionan.

Edad media europea: Época fechada entre el 500 y el 1450 d.C., muchos autores señalan su término en 1492, con la llegada de Colón a América.

Efecto aleloquímico: También conocido como efecto alelopático, puede ser positivo o negativo según sean sus efectos sobre otras plantas contiguas.

Efecto teratogénico: Defecto congénito provocada durante la gestación del feto por un agente teratogénico. Muerte fetal o embrionaria, retardo de crecimiento y patrones distintivos de malformación.

Elicitor: Moléculas de un patógeno que interactúan con receptores de una planta, activando en ella, respuestas de defensa y la reacción de hipersensibilidad (rh). Son sustancias capaces de accionar la producción de fitoalexinas.

Enmienda: Material o producto que se le adiciona a un suelo para corregir y/o mejorar al menos una condición física, química o biológica del mismo, de tal forma que las nuevas condiciones sean más adecuadas para las plantas establecidas en él.

Entomofauna: Conjunto de especies de insectos que viven en un determinado sitio, localidad, región o país.

Enzimas: Moléculas orgánicas que actúan como catalizadores de reacciones químicas, acelerando la velocidad de reacción.

Escala de permanencia: Es un concepto desarrollado por el australiano agricultor e ingeniero Percival Alfred Yeomans (1904-1984) en la década de los 50 la cual sirve para determinar las prioridades al momento de rediseñar un terreno, generando un orden mental para proceder en la ubicación de los cultivos anuales o perennes, según el nivel de permanencia de cada uno de ellos.

Escaña: También conocido como trigo espelta (*Triticum spelta*), es un trigo adaptado a climas duros, húmedos y fríos. En la antigüedad fue muy importante, pero actualmente está casi extinta.

Especie especialista: Especie que se alimenta de una o pocas especies, en un estrecho rango de condiciones ambientales, por lo que su nicho potencial es de tamaño pequeño. También llamada estenoica.

Especie generalista: Especie capaz de desarrollarse en una amplia gama de condiciones ambientales y que puede hacer uso de una amplia variedad de recursos. También llamada eurioica.

Espora: Cuerpo microscópico unicelular o pluricelular que algunas plantas, hongos, algas y protozoos producen con fines de dispersión y supervivencia por largo tiempo en condiciones adversas.

Estanques en disposición transversal: Disposición escalonada desde la ribera fluvial hasta la zona del borde del desierto.

Estiércol: Excremento de cualquier animal. Materia orgánica en descomposición, principalmente excrementos animales, que habitualmente se destina al abono del suelo.

Estructura de suelo: La disposición de las partículas del suelo en agregados y redes de poros asociadas.

Etapas termófila del compostaje: Fase en la cual por efecto de los microorganismos descomponedores, se libera energía y la temperatura aumenta superando los 45°C. Esta temperatura higieniza el medio, eliminando larvas, patógenos y semillas.

Etileno: Es una hormona producida en forma de gas por todos los vegetales, responsable de los procesos de estrés en las plantas, así como la maduración de los frutos, además de la senescencia de hojas y flores y de la abscisión del fruto.

Etnoecología: Estudio interdisciplinario de los sistemas de conocimiento, prácticas y creencias de los diferentes grupos humanos y sobre su ambiente.

Facilidad de dispersión: Habilidad de los vegetales de desarrollar diversas estrategias para el transporte de las semillas, con el fin de ser llevadas a otros lugares.

Factores abióticos: Componentes del ecosistema que no tienen vida, como las sustancias minerales, el agua, los gases, los factores climáticos que influyen ampliamente en los organismos siendo imprescindibles para los seres vivos.

Fenómenos de La Niña y El Niño: La Niña es un fenómeno climático que forma parte de un ciclo natural-global del clima conocido como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS, El Niño-*Southern Oscillation*, ENSO por su acrónimo en inglés). Este ciclo global tiene dos extremos: una fase cálida conocida como El Niño y una fase fría conocida como La Niña.

Fermentación: Proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, y cuyo producto final es un compuesto orgánico.

Fitoalexinas: Metabolitos secundarios de naturaleza química diversa, principalmente flavonoides, de bajo peso molecular, que se sintetizan en los vegetales después de una infección microbiana.

Flameo: Aumento de calor producido por líquido o gas para destruir las células de los vegetales.

Grada: También conocida como rastra de dientes es una herramienta que se utiliza en agricultura para tapar los surcos, allanar la tierra y deshacer los terrones que quedan en la superficie tras el arado, de forma que la tierra quede suelta. Además se usa para cubrir las semillas tras la siembra dejándolas a poca profundidad.

Guano: Sustrato resultante de la acumulación masiva de excremento de aves marinas, murciélagos y focas, en ambientes áridos o de escasa humedad. El guano es un producto muy apreciado, especialmente en la agricultura ecológica.

Hábitat: Espacio vital ocupado por una especie o individuo y el conjunto de condiciones ambientales que actúan sobre él, como microclima, suelo, factores bióticos, etc.

Hektemors: En la antigua Grecia personas que tenían deudas con terratenientes.

Hoces: Plural de hoz. Apero de labranza que sirve para segar, está compuesto de una hoja estrecha y curva, con filo o con dientes muy agudos y cortantes por la parte cóncava, unida a un mango corto de madera y se maneja con una sola mano.

Holístico: Postura que sostiene que los sistemas (físicos, biológicos, sociales, mentales, etc.) y sus propiedades deben ser analizados en conjunto y no solamente a través de las partes que los componen.

Holoceno: Época más reciente del período cuaternario y que abarca desde hace unos diez mil años hasta nuestros días.

Huésped: Es el organismo que aloja y del que se alimenta otro ser vivo, generalmente un parásito o parasitoide.

Ilustración: Es un movimiento intelectual y cultural europeo, que ocurrió entre el siglo XVIII y XIX y abarcó regiones como Inglaterra, Alemania y Francia.

Inmovilización de nutrientes en el suelo: Proceso inverso a la mineralización, que convierte los nutrientes inorgánicos a formas orgánicas. Sin importar si el nutriente proviene de fuentes orgánicas o inorgánicas, una porción es transformada nuevamente en formas orgánicas al ser asimilado por microorganismos y plantas.

Intensificación sostenible: Proceso de mejora gradual de la eficiencia ecológica de los sistemas agropecuarios a través de la innovación, con el fin de propender a una mayor productividad y rentabilidad con menor impacto ambiental, al mantenimiento y/o mejora de los recursos naturales, reduciendo la dependencia de insumos externos y favoreciendo la equidad e inclusión social.

Interacciones tróficas: Todos los organismos vivos que comparten un mismo espacio interactúan entre sí, involucrando a individuos de la misma o de diferentes especies. Cuando estas interacciones se centran en la alimentación son denominadas interacciones tróficas.

Interferencia: Efecto que se produce entre organismos que se afectan unos a otros, en malezas puede ser competencia o alelopatía.

Jasmonatos: Compuestos formados a partir del ácido graso no saturado linoleico y linolénico que se liberan desde los fosfolípidos de las membranas celulares por la acción de lipasas, mecanismo que ocurre principalmente en las hojas de las plantas.

Juego del gato: Es un juego de lápiz y papel entre dos jugadores, donde el jugador O y el X marcan los espacios de un tablero de 3x3 alternadamente. Se le conoce con diversos nombres, entre ellos ceros y cruces, tres en raya, triqui, tic-tac-toe y la vieja.

Junkers: Empresarios miembros de antiguas noblezas terratenientes prusianas, que trabajaban con sus familias y empleaban trabajadores asalariados.

Lagar: Recipiente o primitiva prensa donde se pisan los frutos de la vid, el olivo o el manzano, también llamado jaraíz, ingenio, cuba, barreño o gran tina.

Land lords: Ingleses, propietarios de grandes superficies de tierras, que iban desde las 100 mil hasta las 400 mil hectáreas.

Llamas caravaneras: Llamas utilizadas en las caravanas de viajes por las rutas andinas.

Materia orgánica del suelo: Es materia constituyente del suelo, proveniente de compuestos orgánicos, los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus productos de desecho.

Megafauna: Se refiere a los grandes mamíferos que vivieron en el período del pleistoceno, hace aproximadamente 20.000 a 8.000 años antes del presente.

Mercado o punto de venta: Lugar físico o virtual donde se encuentran oferentes y demandantes de un servicio o producto para su transacción.

Mercado social: Red de producción, distribución y consumo de bienes y servicios y aprendizaje común que funciona con criterios éticos, democráticos, ecológicos y solidarios, en un territorio determinado, constituida tanto por empresas y entidades de la economía solidaria y social como por productores y consumidores/as individuales y colectivos.

Mesoamérica: Es la región cultural del continente americano que comprende la mitad meridional de México, los territorios de Guatemala, El Salvador, Belice, Honduras, el occidente de Nicaragua y Costa Rica. En el periodo precolombino fue conocido por formar parte de las grandes civilizaciones.

Mesoporos del suelo: Poros del suelo ubicados entre los agregados y/o partículas del suelo y que tienen diámetros entre 2 y 50 nm.

Metabolitos secundarios: Compuestos producidos por bacterias, hongos o plantas que no están directamente involucrados en el crecimiento, desarrollo o reproducción normal del organismo. Su ausencia produce un deterioro de la habilidad de supervivencia a largo plazo, la fecundidad o la estética del organismo, en ocasiones no produce algún cambio significativo en absoluto.

Método Indore: Método de compostaje aeróbico, mediante el cual los microorganismos descomponedores actúan sobre la materia orgánica rápidamente biodegradable, permitiendo obtener un abono de excelente calidad para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrosilvopastorales.

Método *keyline*: El diseño *keyline* o de línea clave combina la captación y conservación del agua con técnicas de regeneración de suelos. Es capaz de restaurar los suelos degradados y protegerlos de los efectos de la sequía. Integra animales de pastoreo y árboles. Satisface las necesidades económicas de los agricultores y ganaderos, las exigencias ecológicas y juega un papel importante en el secuestro del CO₂.

Microorganismos endófitos: Microorganismo que colonizan los tejidos internos de las plantas sin causarles enfermedades aparentes, por el contrario, las beneficia al reforzar su tolerancia a condiciones adversas para su desarrollo.

Microorganismos patógenos: Microorganismos infecciosos que pueden perturbar la fisiología normal de plantas, animales y humanos, provocando enfermedades a su huésped.

Mineralización de compuestos orgánicos: Proceso mediante el cual la materia orgánica del suelo es degradada, por la acción de los microorganismos, transformándose en CO₂, H₂O y compuestos minerales básicos asimilables por las plantas.

Monocultivo: Sistema de producción agrícola que consiste en dedicar una gran extensión de suelo al cultivo de una sola especie y variedad vegetal, utilizando los mismos métodos de cultivo (control de plagas, fertilización y alta estandarización de la producción), lo que hace más eficiente el manejo agronómico, pero también más susceptible a plagas y enfermedades y menos resiliente a alteraciones externas.

Mulch: Cubierta orgánica o inorgánica que se utiliza para cubrir el suelo con el propósito de controlar malezas, conservar la humedad, regular la temperatura y proteger el suelo.

Mutualismo: Interacción biológica o relación interespecífica temporal en que ambos organismos obtienen algún grado de beneficio, como por ejemplo las micorrizas.

Nivel freático: Nivel superior del agua en el subsuelo o en un acuífero.

Olluco: Tubérculo rico en vitamina C y Hierro. *Ullucus tuberosus* es una planta herbácea originaria de la región andina de América del Sur, se le conoce como olluco o papa lisa.

Oxidación: Reacción química donde un elemento pierde electrones, y por lo tanto aumenta su estado de oxidación. En la mayoría de estas reacciones la transferencia de electrones se da mediante la adquisición de átomos de oxígeno (cesión de electrones), sin embargo, puede darse sin que haya intercambio de oxígeno.

Parásito: Organismo que obtiene sus alimentos a expensas de la planta o animal que lo contiene; su acción no causa la muerte inmediata de la especie de la cual toma el alimento, pero puede causársela a largo plazo. Puede actuar en el exterior (ectoparásito) o en el interior (endoparásito).

Parasitoide: Organismo que se alimenta y desarrolla en el interior (endoparasitoide) o en la superficie (ectoparasitoide) del cuerpo del huésped. La mayor parte de los parasitoides descritos son avispas, moscas, escarabajos y polillas. Cada parasitoide utiliza solo un huésped durante su ciclo de vida y al final el huésped muere, ambas características diferencian de los parásitos.

Período crítico de interferencia: Etapa de desarrollo del cultivo que al competir con malezas tiene efectos de pérdida de rendimientos que son irrecuperables.

Peritecios: Estructura reproductiva con forma de botella propia de varios organismos pertenecientes a la división *ascomycota*, y en cuyo interior se producen las ascas o células sexuales productoras de esporas de los hongos.

Permacultura: Sistema de producción agrícola inspirado en la filosofía de la agricultura natural de Masanobu Fukuoka, que incluye principios de diseño agrícola, económico, político y social, basado en los patrones y las características del ecosistema natural. La palabra permacultura es una contracción que se refiere a la agricultura permanente, pero se amplió para incluir a la cultura permanente, debido a que los aspectos sociales son considerados parte integral de un sistema sostenible.

Persistencia: Acción y efecto de durar por largo tiempo. En el caso de las plantas, se consideran persistentes aquellas que tienen largo período de viabilidad, elevada producción de semillas y/o adaptaciones fisiológicas y genéticas como la facultad de germinar escalonadamente.

Picnidio: Tipo de estructura reproductiva asexual presente en hongos del orden *Sphaeropsidales* (clase *Coelomycetes*) y líquenes, en ella se produce un tipo de espora llamada conidio.

Piedras horoi: Señales de piedra que fueron erigidas en terrenos afectos a un acreedor, los que eran cedidos en garantía de un préstamo. También pueden ser llamadas piedras hipotecarias.

Pirólisis: Descomposición química de materia orgánica y de todo tipo de materiales, excepto metales y vidrios, causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno.

Planta herbácea: Planta que no presenta órganos leñosos permanentes. Los tallos son verdes y generalmente mueren al acabar la estación, pero son sustituidos por otros nuevos si la planta es perenne o vivaz.

Plantas C3: Corresponde al grupo de plantas que en el proceso de la fotosíntesis el primer producto estable en el que queda fijado el carbono, en el ciclo de Calvin, es un compuesto de 3 carbonos llamado 3-fosfoglicerato, lo que explica su denominación. Las plantas C3 no pueden crecer en zonas cálidas porque están mal adaptadas en evitar la fotorrespiración y la pérdida de agua. Ej: arroz, trigo, soya y todos los árboles.

Plantas C4: Reciben el nombre de plantas C4 aquellas que reducen al mínimo la fotorrespiración separando la fijación inicial de CO₂ y el ciclo de Calvin en tipos de células diferentes; la asimilación del CO₂ origina como producto estable primario un ácido dicarboxílico de cuatro átomos de carbono (málico o aspártico), lo que explica su denominación. Las plantas C4 son comunes en lugares cálidos y menos abundantes en zonas más frescas. Ej: caña de azúcar y maíz.

Pleistoceno: Primera época del período cuaternario, que abarca desde hace 2 millones de años hasta hace 10 mil años antes del presente.

Pluriepistemológico: Enfoque que reconoce como válidas diversas formas de generación de conocimiento.

Población: Conjunto de organismos o individuos de la misma especie que conviven en un mismo espacio y tiempo, y que comparten ciertas propiedades biológicas.

Policultivo: Sistema de cultivo agrícola que consiste en producir simultáneamente dos o más cultivos diferentes en una misma superficie de suelo, logrando mayor diversidad y resiliencia.

Polifrutal: Sistema de cultivo de especies frutales que consiste en producir simultáneamente varias especies y variedades diferentes en una misma superficie, con el fin de diversificar el sistema productivo, logrando una mejor programación de la cosecha, dieta familiar y resiliencia.

Propágulos: Cualquier estructura de reproducción y propagación biológica, producida sexual o asexualmente, capaz de desarrollarse de manera separada para dar lugar a un nuevo organismo idéntico al que lo generó.

Queshwa: En el imperio inca significa tierras de maíz.

Quiebre de stock: Es la falta de disponibilidad de un producto o servicio que es demandado por un consumidor en el punto de venta o mercado.

Quorum sensing o detección de quórum: Mecanismo mediante el cual las bacterias regulan la expresión génica en respuesta a su densidad de población, mediante la producción, liberación y reconocimiento de pequeñas moléculas señal o autoinductores para regular diferentes fenotipos.

Reciprocidad: Constituye la dinámica de dar y recibir. Principio organizador donde los intercambios ocurren entre iguales y se tienden a equilibrar con el tiempo, destaca por la ausencia de precios y dinero.

Resiliencia: Capacidad de un sistema de absorber perturbaciones, manteniendo sus características de estructura, dinámica y funcionalidad prácticamente intactas, pudiendo retornar a la situación previa a la perturbación tras el cese de la misma.

Resistencia a herbicidas: Selección de plantas o poblaciones de una especie que no son controladas con las dosis recomendadas de un herbicida, que sí controla dicha especie.

Resistencia monogénica o vertical: Resistencia de una especie determinada por un solo gen.

Resistencia poligénica u horizontal: Resistencia de una especie determinada por varios genes.

Resistencia sistémica adquirida: Distintas vías de transducción de señales, mediante la activación de los mecanismos de defensa natural de las plantas, antes de la llegada de un patógeno. Juegan un rol importante en la habilidad de una planta para defenderse de ellos.

Resistencia sistémica inducida: Activación de mecanismos de defensa de la planta inducida por bacterias que colonizan raíces, llamadas rizobacterias promotoras del crecimiento de la planta o *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), que son capaces de inducir resistencia local y transferirla a otras partes de la planta consiguiendo la inducción de resistencia sistémica.

Revolución agrícola: La primera revolución agrícola de la modernidad ocurrió entre los siglos XVI y XIX y propició la primera revolución industrial.

Rizobacterias: También conocidas como *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) son bacterias que colonizan rápidamente la rizósfera en una relación simbiótica beneficiosa para ambas partes; son promotoras del crecimiento vegetal, sintetizan fitohormonas que facilitan el enraizamiento, secretan compuestos que mejoran la estructura del suelo, facilitan la captación de nutrientes y protegen a la planta contra los patógenos.

Rizósfera: Zona radicular y su entorno.

Rodales: Conjunto de árboles u otra vegetación forestal que ocupa una superficie determinada y que es lo suficientemente uniforme en su composición de especies, distribución de edades, calidad y espesura para diferenciarse del resto de la masa o vegetación que la rodea.

Rotación de cultivos: Alternancia, en un mismo lugar durante distintos ciclos, de plantas de diferentes familias y con necesidades nutritivas diferentes, evitando que el suelo se agote y que las enfermedades que afectan a un tipo de plantas dañen al siguiente cultivo.

Rotación trienal: Rotación de cultivos que tiene una duración de tres años.

Roturación de la tierra: Labor que tiene como objetivo controlar malezas hierbas, incorporar materia orgánica y preparar el suelo para la penetración del agua y raíces, también se conoce como aradura.

Servicios ecosistémicos: Beneficios directos o indirectos que el ecosistema aporta a la sociedad, mejorando la salud, la economía y la calidad de vida de las personas. Resultan del propio funcionamiento de los ecosistemas y aportan alimentos, aire puro, agua, regulación natural de enfermedades y del clima.

Simbiosis: Asociación de dos organismos de distintas especies, en la cual ambos obtienen beneficios. Se dan en ecosistemas maduros y evolucionados y con buen nivel de autorregulación, como por ejemplo las bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Rizobium* y las leguminosas.

Sociedades complejas: Son sociedades diferenciadas que presentan estratificación. Se organizan políticamente como grandes entidades regionales, sistemas de jefaturas y Estados, con una población que va de unos pocos millares a millones.

Solarización del suelo: Proceso hidrotérmico que se produce en suelos humedecidos, cubiertos con plástico y expuestos a la radiación solar en los meses más cálidos. El efecto acumulativo de altas temperaturas es letal para varios organismos mesófilos del suelo, que tienen un umbral térmico cercano a los 37 °C. Es una técnica de fácil adaptación a diferentes situaciones de la producción agropecuaria.

Sucesión: Conjunto de etapas sucesivas o secuencia natural por la que atraviesa un biotopo en el que un número de organismos reemplaza a otro en un hábitat hasta alcanzar la máxima complejidad y estabilidad posibles en el clímax.

Suelo loess: Depósitos de limo, de color amarillento, transportados por tormentas de polvo durante miles de años, carecen de estratificación y están formados principalmente por silicatos (cuarzo, feldespato, etc.), carbonato de calcio (procedente de roca caliza, dolomía, etc.), finísimos detritos orgánicos y minerales del grupo de las arcillas. Constituye un suelo muy fértil y profundo.

Suelo supresivo: Suelos en los que el patógeno no se establece, o bien se establece pero no causa daño o causa algún daño, pero la enfermedad se vuelve progresivamente menos grave a pesar de que el patógeno persiste en el suelo.

Supresión: Reducción del nivel de daño de un patógeno o plaga, disminuyendo el daño a los cultivos y evitando así pérdidas económicas para el productor.

Taclla: Bastón escarador compuesto por una lámina gruesa, larga y estrecha, elaborada en piedra pulida.

Tawantinsuyu: En el imperio inca se refería al reino de los cuatro *suyus* o provincias.

Tecnologías apropiadas: También conocidas como tecnologías adecuadas, están diseñadas poniendo especial atención en los aspectos medioambientales, éticos, culturales, sociales y económicos de la comunidad a la que se dirigen, por esta razón quienes componen la comunidad las adoptan y se apropian de ellas con mayor facilidad.

Tic-tac-toe: Ver más arriba juego del gato.

Tolerancia a herbicidas: Capacidad natural de algunas especies de plantas de no ser afectadas por la aplicación de ciertos herbicidas.

Trashumancia: Desplazamiento periódico que realizan cazadores, recolectores y pastores con sus rebaños, para explotar distintos ambientes.

Umbral de daño económico: Se refiere a la máxima población de un patógeno, una plaga o una maleza que puede ser tolerado por un cultivo sin que se produzca un daño de importancia económica en dicho cultivo.

Ventana de cosecha: Período comprendido entre el término de la etapa de desarrollo del cultivo y la cosecha, en ella es posible identificar tres etapas: un mínimo de madurez, la madurez de consumo y la condición de sobremadurez.

Xeromórfico: Vegetales que viven en ambientes secos, ya que tienen ciertas características como hojas reducidas, succulencia, pilosidad densa y/o con cutícula gruesa, que les permiten conservar agua y soportar condiciones secas.

Zonificación: División de terrenos en diferentes zonas, utilizando las zonas altas y bajas (vegas) de acuerdo a su aptitud y a la estación del año.

Zoespora: Espora asexual mótil provista de cilios o flagelos para locomoción, producida para propagarse por algunos hongos y algas.

Agroecología

Fundamentos y técnicas de producción, y experiencia en la Región de Los Ríos

