

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



Fondo de Investigación del Bosque Nativo CONAF



Informe Final Proyecto FIBN 059/2011

“Prospección Fitosanitaria en bosques de *Nothofagus* con presión de uso en la Región de La Araucanía”.

Dra. Maribel Parada Ibáñez
Dr (c) Mauricio Reyes Schencke
Mg. Patricio Acevedo Aránguiz
Dr. Ramón Rebolledo Ranz

TEMUCO- CHILE
SEPTIEMBRE 2013

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	3
Establecimiento de Parcelas Permanentes.....	3
Remediones de parcelas permanentes.....	5
Muestreo Dendrométrico-Fitosanitario y estimación de Pérdida de Volumen por Defoliación.....	7
Resultados de Remediones de variables fitosanitarias de árboles muestra.....	7
Resultados del inventario en el Renoval de Roble (Sector Angol).....	10
Resultados del inventario del Renoval de Raulí (Sector Puesco).....	16
Resultados del inventario del Renoval de Coihue (Cunco).....	20
ANÁLISIS FITOPATOLÓGICO.....	23
Análisis de las muestras vegetales.....	23
Identificación de las enfermedades fúngicas presentes en renovales de Roble-Raulí-Coihue.....	26
Obtención y análisis de las bacterias asociadas a los <i>Nothofagus</i>	29
Firmas Espectrales.....	34
Índices de Vegetación.....	34
Mediciones Espectroradiométricas.....	37
Procesamiento de Imágenes Satelitales.....	45
Análisis Temporal de Firmas espectrales.....	46
Análisis Estadístico de las firmas espectrales.....	47
Análisis de factores topográficos y climáticos modelados en SIG, con la presencia de plagas y enfermedades que afectan al bosque nativo de <i>Nothofagus</i>	49
Análisis de correlaciones parciales de Variables Fitosanitarias, Topográficas y Agroclimáticas.....	52
Análisis de los resultados entomológicos del estudio.....	54
PROPUESTAS SILVÍCOLAS.....	55
Renoval de Roble.....	56
Renoval de Raulí.....	57
Renoval de Coihue.....	57
COMENTARIOS A LAS OBSERVACIONES DEL INFORME.....	59
CONCLUSIONES.....	62

INTRODUCCIÓN

Chile con más de 13 millones de hectáreas de riquezas naturales es uno de los países más ricos en este aspecto, y esta riqueza se basa en su recurso forestal nativo, el que posee una importante diversidad biológica en flora y fauna, en su gran mayoría endémica. No obstante lo anterior, una de las principales preocupaciones es la sustentabilidad de este recurso debido a antecedentes proporcionados por la FAO en el año 2008, que indican que se estima que cerca de un 30% de los 5 millones de hectáreas de los bosques caducifolios de *Nothofagus* se encuentran con síntomas que evidencian la acción de algún agente biológico.

Es también importante indicar que el problema radica además, en el desconocimiento general de los agentes de daño y su interacción, tanto positiva como negativa, con árboles individuales, poblaciones y comunidades vegetales. Esto ha imposibilitado la toma de medidas concretas que permitan mitigar y prevenir los impactos ambientales, sociales y económicos provocados por el deterioro sanitario de estos bosques.

Las enfermedades fungosas del bosque natural de Chile no han sido estudiadas. Se tiene escaso conocimiento, siendo puntual y derivado de estudios de taxonomía o pruebas de patogenicidad. La mayoría de la información existente se refiere a la presencia de organismos fungosos sobre especies del bosque chileno; por lo que entrega información entre hongo y árbol, donde solo se puede considerar al hongo como parásito o saprófito.

Hoy en día se puede ampliar el conocimiento de lo que sucede en el bosque gracias a la existencia de diversas técnicas Biotecnológicas que deben ser probadas para ser aplicadas en el sector forestal.

Ante este escenario, en el que se pronostican grandes e importantes cambios ecológicos globales y locales, es probable que las interacciones agente–hospedero puedan verse alteradas, observándose modificaciones en las etapas de desarrollo y en las tasas de reproducción de los agentes, también en los niveles de resistencia de los hospederos y cambios fisiológicos propios de estas interacciones, entre otras. Además, las condiciones climáticas inéditas pueden constituir nuevos tipos de estrés abióticos para los árboles. En este contexto, y como punto de inicio, es básico describir, determinar y jerarquizar las causas e interrelaciones entre los factores que desencadenan los procesos de deterioro y declinación de los bosques naturales, a modo de facilitar la toma de decisiones de tipo político y técnico (FAO, 2008).

Dado lo anterior, se realizó una prospección que permitiera ir avanzando en el conocimiento de la situación fitosanitaria que presenta el bosque nativo a través de la identificación de las enfermedades y plagas que se encuentren presentes en los bosques de Renovales de *Nothofagus* de la Región de La Araucanía. Esta información permitirá generar una base de datos con el propósito de que en el futuro se pueda proponer un plan preventivo, si es que fuese necesario, con el propósito de realizar las intervenciones necesarias, antes que nuestro bosque nativo sea dañado fuertemente.

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Establecimiento de Parcelas Permanentes

Al inicio de las actividades y para el establecimiento de las parcelas permanentes, se presentaron algunos problemas, ya que al contactar a los propietarios y ser informados respecto del objetivo del proyecto, se negaron a facilitarlos. En otros casos, se pudo realizar el premuestreo pero no se pudo localizar a los propietarios para volver a utilizarlos como parcelas permanentes. Una vez que se definieron los 5 predios para instalación de las parcelas permanentes, y debido a que en los predios no se contaba con trabajadores que cuidaran la trampa de luz, se optó por realizar muestreos de una noche en cada remediación, lo que encarecía las actividades de remediciones si se distribuían las parcelas en los 5 predios seleccionados. Es por esto que se decidió concentrar las parcelas permanentes en 3 sectores.

Se instalaron 20 parcelas permanentes de 250 m² (10x25m), en rodales de *Nothofagus* en tres sectores de la Región de La Araucanía. En el sector de Angol, en el Predio Rucapellán se establecieron 6 parcelas en un renoval de Roble (*N. obliqua*), 7 parcelas en Raulí (*N. alpina*) en el sector de Puesco, en el Predio El Cóndor y 7 parcelas en el sector de Cunco, en un renoval de Coihue (*N. dombeyi*) en el Predio Curacalco II de Masisa..

Los vértices se marcaron con tubos PVC color naranja y los árboles se marcaron con pintura en aerosol fluorescente. En las Figuras 1, 2 y 3 se muestran actividades desarrolladas en los tres sectores.



Figura 1. Muestreo Fitosanitario y muestreo de follaje en rodal de Roble (Sector Angol)



Figura 2. Marcación de vértices con tubos PVC y muestreo en rodal de Raulí, (Sector Puesco)

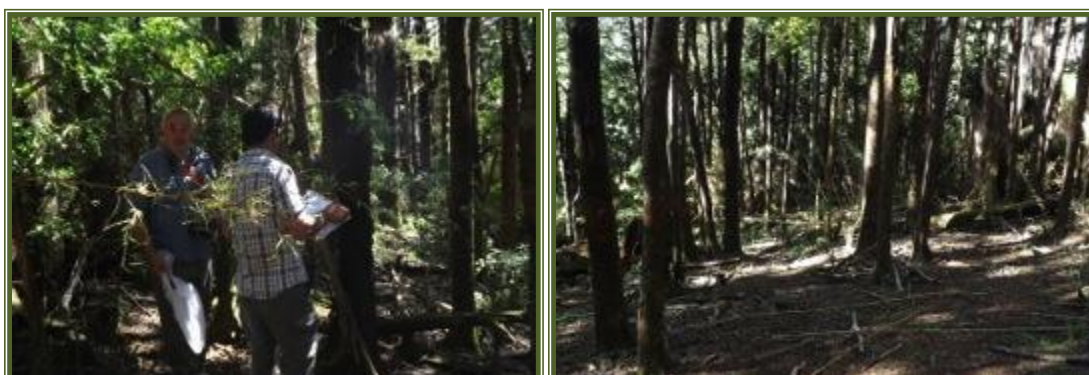


Figura 3. Muestreo entomológico, registro fitosanitario y árboles de Coihue marcados en el sector de Cunco.

El Plano de ubicación de las parcelas permanentes se muestra en las Figuras 4, 5 y 6 para el rodal de Roble (Predio Rucapellán, Sector Angol), Raulí (Predio El Cóndor, Sector Puesco) y Coihue (Predio Curacalco II de MASISA, Sector Cunco), respectivamente.



Figura 4. Plano de localización de parcelas permanentes, Renoval de Roble, Sector Angol



Figura 5. Plano de localización de parcelas permanentes, Renoval de Raúlí, Sector Puesco.



Figura 6. Plano de localización de parcelas permanentes, Renoval de Coihue, Sector Cunco.

Remediciones de parcelas permanentes.

Durante las remediciones se realizaron búsqueda y recolección de hongos, muestreo entomológico mediante trampas de luz, red entomológica y malla en árboles para captura en emergencia de insectos. El muestreo de follaje sólo se hizo en el tercio inferior de la copa mediante el uso de escalera sueca de 6 metros y tijera podadora con extensión de 3 metros, cuando la altura de comienzo de copa de los árboles muestras era inferior a 9 m. En caso contrario, se realizó el muestreo en árboles cercanos a los árboles muestras, incluso en árboles fuera de la parcela. En las Figuras 7, 8 y 9 se muestra las actividades señaladas:



Figura 7. Recolección de hongos en actividades de pre-muestreo y muestreo



Figura 8. Muestreo entomológico con malla en árboles, trampa de luz y red entomológica



Figura 9. Muestreo de follaje con escalera de 6 metros y tijera podadora con extensión de 3 m.

Muestreo Dendrométrico-Fitosanitario y estimación de Pérdida de Volumen por Defoliación

En las parcelas permanentes se realizaron evaluaciones y mediciones de todos los árboles, registrando la especie, diámetro a la altura del pecho (dap [cm]), Dosel, Origen, Sanidad, Forma y Ramas. Las parcelas fueron subdivididas en 6 cuadrantes de 41,7m². y en cada uno se identificó un árbol muestra para registrar la altura total (h[m]) y altura de comienzo de copa (hcc[m]). Adicionalmente se complementó la muestra de alturas para ajustar modelos de regresión estimadores de altura total (h[m]) y altura de comienzo de copa (hcc[m]) para los *Nothofagus*. Para las demás especies se utilizaron modelos de otros autores (Cuadro 1).

Cuadro 1. Modelos ajustados para *Nothofagus* y otras especies.

Sigla	Especie	Modelos estimadores de h(m)	Fuente
Ro	Roble	$h(m) = 4.7516 + 4.4176 \ln(\text{dap})$	Este estudio
Ra	Raulí	$h(m) = 8.2897 + 0.5102 \text{ dap}$	Este estudio
Co	Coihue	$h(m) = 5.9296 + 4.571 \ln(\text{dap})$	Este estudio
Av	Avellano	$h(m) = -9.0527 + 2.8046 \text{ dap} - 0.063 \text{ dap}^2$	Reyes y Bassaber (1999)
Li	Lingue	$h(m) = -34.866 + 2.0592 \text{ dap} - 0.0141 \text{ dap}^2$	Reyes y Bassaber (1999)
La	Laurel d<50cm	$h(m) = -5.655 + 0.9214 \text{ dap} - 0.0062 \text{ dap}^2$	Salas (2000)
La	Laurel d>50 cm	$h(m) = 20.1689 + 0.1437 \text{ dap} - 0.0001 \text{ dap}^2$	Salas (2000)
Otras	Otras especies	$h(m) = 29.6319 - 403.5029 / (\text{dap} + 10)$	Reyes y Bassaber (1999)

Además, de acuerdo a la metodología propuesta y utilizando el Formulario de Antecedentes Dendrométricos y Fitosanitarios del Sistema de Monitoreo de Sanidad en Bosque Nativo, a los árboles muestra se les registró las siguientes variables: Posición Sociológica, Tipo de corteza, y las variables Fitosanitarias de la copa (Defoliación, Clorosis, Agallas, Ramas muertas, Ramas cortadas y Plantas parásitas). Las variables fitosanitarias del fuste fueron Deformaciones, Cancros, Daños mecánicos, Tumores, Orificios pequeños y orificios grandes.

Resultados de Remediones de variables fitosanitarias de árboles muestra.

La sanidad aparente del fuste, para la clase libre de defectos fue de 54% para los individuos de la especie Roble, 60% para Coihue y 70% para Raulí. En promedio, el 94.7% de los árboles muestra no tiene presencia de plantas parásitas, daños mecánicos ni orificios pequeños o grandes en el fuste. El 72.8% de los árboles no presenta agallas foliares y el 26.8% tiene entre un 1 y 25% de agallas. El 71.8% tiene entre 1 a 5 ramillas muertas y el 52.4% tiene entre 1 a 5 ramas cortadas. Durante las remediones la defoliación y clorosis han mantenido un comportamiento normal atribuible a la época del verano, no asociado a plagas y/o enfermedades. A continuación en los Cuadros 2 y 3 se muestran los resultados en valores absolutos y en porcentaje de la Densidad (arb/ha) de los *Nothofagus* a partir de los árboles muestras para los tres sectores:

Cuadro 2. Variables Fitosanitarias de Copa

Cod	I. Defoliación.	Densidad (arb/ha)			% de árboles		
		Roble	Raulí	Coihue	Roble	Raulí	Coihue
1	No presenta síntomas.		600	240		60.3	20.8
2	Defoliación entre 1 y 20% de la copa.	420	394	806	60.6	39.7	69.8
3	Defoliación entre 21 y 40% de la copa.	273		109	39.4	0.0	9.4
4	Defoliación entre 41 y 60% de la copa.						
5	Defoliación entre 61 y 100% de la copa.						
Cod	II. Clorosis.						
1	No presenta síntomas.	567	966	783	81.7	97.1	67.8
2	Clorosis entre 1 y 20% de la copa.	127	29	371	18.3	2.9	32.2
3	Clorosis entre 21 y 40% de la copa.						
4	Clorosis entre 41 y 60% de la copa.						
5	Clorosis entre 61 y 100% de la copa.						
Cod	III. Agallas foliar.						
1	No presenta síntomas.	473	497	1154	68.3	50.0	100.0
2	entre el 1 y 25% del follaje.	220	486		31.7	48.9	
3	entre el 26 y 50% del follaje.						
4	entre el 51 y 75% del follaje.		11			1.1	
5	entre el 76 y 100% del follaje.						
Cod	IV. Ramas y ramillas muertas.						
1	No presenta síntomas.		86	103		8.6	8.9
2	Presencia de 1 a 5 ramillas muertas.	20	514	91	2.9	51.7	7.9
3	Presencia de más de 5 ramillas muertas.						
4	Presencia de 1 a 5 ramas muertas.	673	349	960	97.1	35.1	83.2
5	Presencia de más de 5 ramas muertas.		46			4.6	0.0
Cod	V. Ramas y ramillas cortadas						
1	No presenta síntomas.	120	440	137	17.3	44.3	11.9
2	Presencia de 1 a 5 ramillas cortadas.	207	320	63	29.8	32.2	5.4
3	Presencia de más de 5 ramillas cortadas.						
4	Presencia de 1 a 5 ramas cortadas.	367	234	931	52.9	23.6	80.7
5	Presencia de más de 5 ramas cortadas.			23			2.0
Cod	VI. Plantas parásitas vasculares.						
1	No presenta plantas parásitas vasculares.	693	994	1131	100.0	100.0	98.0
2	entre 1 y 5 plantas parásitas vasculares.			23			2.0
3	entre 6 y 10 plantas parásitas vasculares.						
4	Presenta entre 11 y 15 plantas parásitas vasculares.						
5	Presenta más de 15 plantas parásitas vasculares.						

Cuadro 3. Variables Fitosanitarias de Fuste

Cod	VII. Deformaciones.	Densidad (arb/ha)			% de árboles		
		Roble	Raulí	Coihue	Roble	Raulí	Coihue
1	Fuste recto y cilíndrico o casi cilíndrico, sin concavidades ni protuberancias.	33	257	406	4.8	25.9	35.1
2	Fuste cilíndrico y sólo una curva suave, sin cavidades ni protuberancias.	227	606	400	32.7	60.9	34.7
3	Fuste con deformaciones y protuberancias leves.	433	103	331	62.5	10.3	28.7
4	Fuste con protuberancias, arqueaduras o torceduras importantes.		29	17		2.9	1.5
5	Fuste con protuberancias, arqueaduras o torceduras, que permite sólo un bajo aprovechamiento para leña y presenta pudrición.	33	257	406	4.8	25.9	35.1
Cod	VIII. Cancros.						
1	No presenta síntomas.	60	274	34	8.7	27.6	3.0
2	Cancro en la base de las ramas o localizado en superficie pequeña.	367	520	823	52.9	52.3	71.3
3	Cancros generalizados en el fuste, pero no afectando la base del árbol.	100	166	131	14.4	16.7	11.4
4	Necrosis en la base del fuste.	140	17	103	20.2	1.7	8.9
5	Necrosis generalizada en el fuste.	27	17	63	3.8	1.7	5.4
Cod	IX. Daño mecánico.						
1	No presenta síntomas.	660	817	1114	95.2	82.2	96.5
2	Localizado, base de ramas o en alguna parte sin mayor superficie.	33	80	40	4.8	8.0	3.5
3	Pérdida de la simetría fustal.						
4	Daño en la base fustal.		57			5.7	
5	Daños mecánicos generalizados.		40			4.0	
Cod	X. Agallas o tumores.						
1	No presenta síntomas.	73	663	51	10.6	66.7	4.5
2	Agallas o tumores en la base de las ramas o localizado en superficie pequeña.	473	251	1034	68.3	25.3	89.6
3	Agallas o tumores que se presentan afectando la simetría fustal.	13		34	1.9		3.0
4	Agallas o tumores presentes en la base del fuste.	133	17	34	19.2	1.7	3.0
5	Presencia generalizada de agallas o tumores en el fuste.		63		0.0	6.3	0.0
Cod	XI. Orificios pequeños en el fuste.						
1	No presenta síntomas.	573	994	1023	82.7	100.0	88.6
2	Presenta entre 1 y 8 orificios.	93		86	13.5		7.4
3	Presenta entre 9 y 16 orificios.	27		46	3.8		4.0
4	Presenta entre 17 y 25 orificios.						
5	Presenta más de 25 orificios.						
Cod	XII. Orificios grandes en el fuste.						
1	No presenta síntomas.	693	994	1080	100.0	100.0	93.6
2	Presenta entre 1 y 8 orificios.			74			6.4
3	Presenta entre 9 y 16 orificios.						
4	Presenta entre 17 y 25 orificios.						
5	Presenta más de 25 orificios.						

Resultados del inventario en el Renoval de Roble (Sector Angol).

El volumen bruto fustal de la tabla de rodal y existencias (Cuadro 4) se estimó mediante la función de ahusamiento del modelo de Coffré (1983), calibrada para la estimación de volumen total de *Nothofagus* en base a otros estudios realizados en la Región de La Araucanía y recopilados en la Guía de ensayos silviculturales permanentes en los Bosques Nativos de Chile (Lara *et al*, 2001).

Cuadro 4. Tabla de Rodal y existencias y gráfico de distribución diamétrica de Roble.

Clase dap (cm)	Area Basal (m ² /ha)				Densidad (arb/ha)				h (m)	Vol. Bruto (m ³ /ha)
	Ro	Av	La-Li	Total	Ro	Av	La-Li	Total		
10	0.4	1.0	0.4	1.7	47	113	40	200	11.9	4.2
12	1.2	1.7	0.6	3.6	107	153	53	313	13.9	12.3
14	1.7	1.3	0.8	3.8	107	80	53	240	15.2	16.8
16	2.0	0.7	0.3	3.0	93	33	13	140	17.7	18.3
18	1.1	0.8	0.2	2.1	40	33	7	80	18.8	14.2
20	3.0	0.4	0.2	3.7	93	13	7	113	18.6	24.9
22	1.5	0.7		2.2	40	20		60	19.4	15.7
24	2.1	0.9		3.0	47	20		67	19.3	20.6
26	0.7			0.7	13			13	20.5	5.2
28	0.8			0.8	13			13	19.7	5.7
30	0.5			0.5	7			7	19.9	3.5
32	0.6			0.6	7			7	20.2	3.9
36	2.0			2.0	20			20	18.5	12.4
38	0.8			0.8	7			7	20.9	5.3
40	0.9			0.9	7			7	22.0	6.2
Total	19.3	7.5	2.5	29.2	647	467	173	1287	15.9	169.2
	<i>d_g</i> (cm)				19.5	14.3	13.6	17.0		

La Tabla de rodal y la distribución diamétrica muestra que Roble concentra el 66% (19.3 m²/ha) del área basal, seguido de Avellano con un 25% (7.5 m²/ha) del área basal y otras especies acompañantes como Lingue, Laurel y Luma con un 9% (2.5 m²/ha). De acuerdo al diámetro medio cuadrático ($d_{\bar{g}} = 17.0$ cm), este rodal está en el límite inferior de las densidades que se consideran normales (1230 a 1850 arb/ha) según Puente *et al.*, (1979). El diámetro medio cuadrático del rodal es de 17 cm, y la distribución diamétrica se presenta con un rango diamétrico de 10 cm hasta 40 cm. Avellano, Laurel y Lingue se presentan hasta los 24 cm y corresponden al 50% de la densidad total (Figura 10).

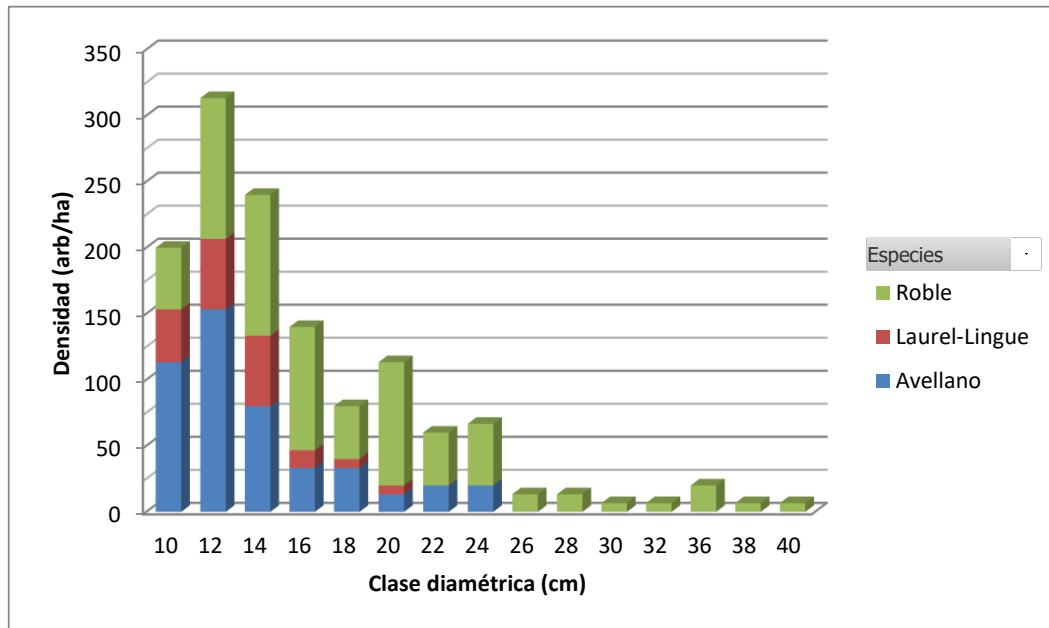


Figura 10. Distribución diamétrica por especies en el Renoval de Roble.

Durante el establecimiento de las unidades muestrales, se registraron las variables Sanidad y Forma del fuste para todos los árboles de la parcela y se asignaron clases de calidad (Cuadro 5) de acuerdo a la siguiente descripción:

Cuadro 5. Clases de calidad según combinación de las variables Sanidad y Forma

Sanidad	Descripción	Forma	Descripción
1	Libre de defectos	1	Sección circular, fuste recto
2	Defectos internos locales	2	Defecto de regular intensidad
3	Defectos internos extensos	3	Grandes arqueaduras

La combinación de Sanidad y Forma, definen las nueve clases de calidad (11, 12, 13, 21, 22, 23 y 31, 32, 33)

En base a las observaciones hechas en el fuste, el 62% de los árboles (880 arb/ha) pertenecen a Sanidad 1 y el 28% (360 arb/ha) pertenecen a Sanidad 2 (Figura 11). Si bien, en términos generales, el renoval no presenta problemas sanitarios en el fuste, la distribución de calidad define el tipo de producto pulpable actual (Figura 12) y que se mantendrá en el futuro ya que la categoría de forma 1 es de un 15% (193 arb/ha) y de éstos, sólo un 8% (113 arb/ha) corresponde a Robles y cualquier manejo con objetivo a obtener volumen debería primero establecer una regeneración o enriquecimiento mediante plantación. El 39% de los árboles tiene Forma 2 y el 46% restante tiene Forma 3. Desde el punto de vista de la productividad económica, esto define claramente las decisiones, ya que no habiendo productos de valor, no existiría interés en manejar el bosque.

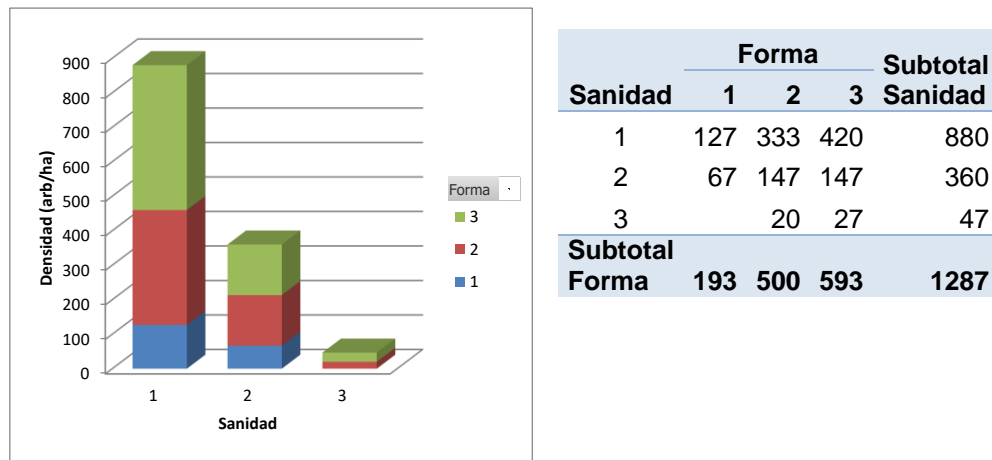


Figura 11. Distribución del número de árboles/ha según Sanidad y Forma.

Del volumen total, el 71% corresponde a Roble en producto pulpable (2.44m y diámetro mínimo 10cm) y se concentra en la Sanidad 1 con un 49% (Figura 12). El 28% del volumen corresponde a leña, principalmente de avellano. La leña de avellano o leña blanca no tendría gran demanda y el precio que pueda alcanzar será más bajo que la “leña roja”.

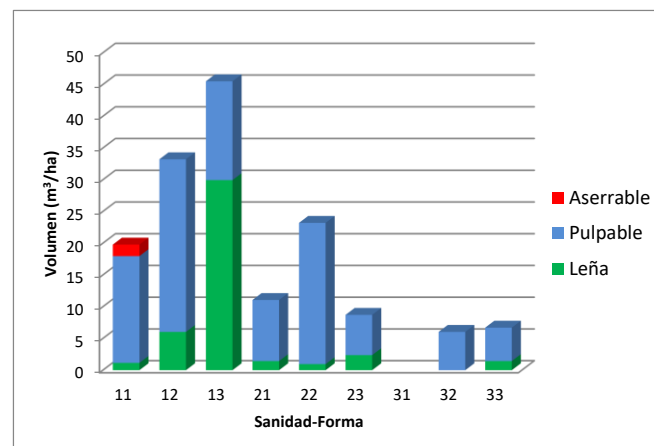


Figura 12. Distribución volumétrica (m³/ha) según tipo de producto en rodal de Roble.

Los datos de las remediciones de los árboles muestras de la prospección fitosanitaria (Cuadro 2 y Cuadro 3) expandidos a hectárea permite elaborar un gráfico de distribución (Figura 13), donde es factible observar que se destacan sobre el 66% de la densidad total de Roble en la categoría 1 (No Presentan síntomas), las variables Clorosis (CLO), Agallas (AGA), Plantas Parásitas (PAR), Daños mecánicos (MEC), Orificios Pequeños (ORP) y Orificios grandes (ORG). Si bien con estas variables se puede pensar que con un valor sobre 66% el rodal está en buenas condiciones sanitarias, se debe revisar las otras variables que completan el análisis.

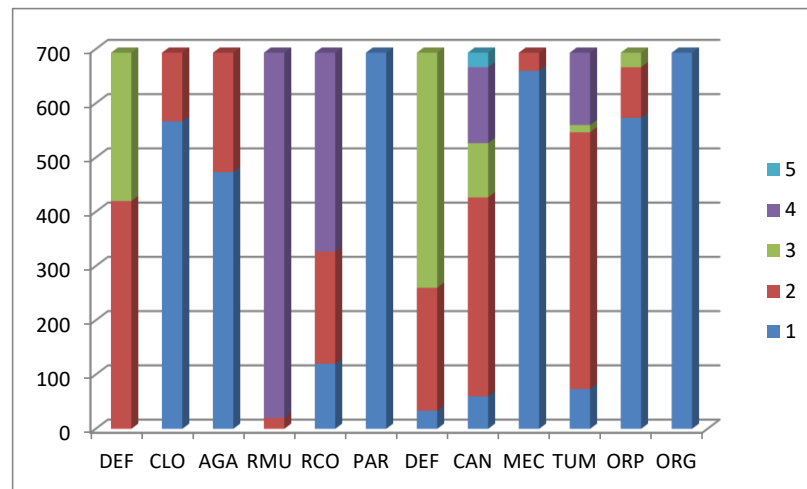


Figura 13. Densidad (arb/ha) de Roble, por categoría según variables fitosanitarias.

La variable Ramas Muertas, en la categoría 4 (de 1 a 5 ramas muertas) concentra el 97.1% de los árboles, lo que refleja la poda natural de Roble, aunque en este rodal, se puede deber al daño por viento o copas golpeando entre sí, debido a que es un bosque abierto.

Por otra parte, las variables del fuste como Deformaciones, Cancros y Tumores, relacionados con la forma del fuste definen la calidad o tipo de producto a obtener en el simulador de trozado. Las deformaciones identificadas en terreno corresponden al típico efecto de un rodal proveniente de potreros con regeneración con presencia de animales que ramonean la regeneración y afectan la forma del fuste para toda la vida del árbol.

Por último, la variable Defoliación presenta un 60,1% de los árboles en la categoría 2 (entre 1 a 20% de la copa) y un 39.4% de la densidad en la categoría 3 (entre 21 y 40% de la copa) Respecto a la defoliación, es importante mencionar que se encontró presencia de *Hylamorphia elegans* en los muestreos entomológicos realizados con trampa de luz o red entomológica (Cuadro 6), en mayor cantidad que en los rodales de Raulí y Coihue. La mayor presencia, puede deberse a la cercanía con praderas, donde se desarrolla parte del ciclo (Duran, 1976 ; Artigas, 1994; Duran, 2002).

Según Duran (1952) (citado por Rojas (2005), en la Provincia de Cautín, el período de actividad larval comprende, desde mediados de enero a principios de septiembre, ocasionando el mayor daño entre los meses de junio y agosto. Duran (1952) menciona que las larvas de esta especie viven superficialmente en terrenos agrícolas, generalmente entre 5 y 10 cm de profundidad, y el nivel normal de población sería 10 a 25 larvas/m², pero se ha podido encontrar poblaciones máximas de 300 larvas /m².

El período de pupa abarca los meses de septiembre, octubre y aún noviembre. Según Aguilera y Cisternas (1999) el período de vuelo de esta especie en la Región de la Araucanía comienza en Noviembre y finaliza aproximadamente a mediados de febrero. Con valores normales de población equivaldrían a un mínimo de 100.000 a 250.000 adultos/ha y en poblaciones máximas, de 3.000.000 adultos/ha. A menos de 500 metros, existen praderas perennes con una superficie aproximada de 47 hectáreas, que probablemente podrían estar produciendo una población mínima de 4.700.000 de adultos de *H. elegans*. Si las praderas son del mismo propietario del renoval, gran parte del problema de defoliación se mitiga al comenzar a manejar las praderas con algún objetivo productivo intensivo.

Cuadro 6. Resumen de la presencia de *Hylamorpha elegans* en los muestreos entomológicos realizados en el sector de Angol en la temporada de verano 2012.

Fecha	Cantidad	Descripción
4 de enero	33 adultos	Ecotono del rodal
8 de enero	15 adultos	Pasadas de red entomológica
8 de enero	97 adultos	Trampa de luz
22 de enero	15 adultos	Trampa de luz
26 de febrero	5 adultos	Pasadas de red entomológica
6 febrero	5 adultos	Trampa de luz

Reins *et al.*, (2012), estudiaron el porcentaje de defoliación provocado por *Gonipterus platensis* y las implicancias en el porcentaje de disminución del volumen proyectado a 10 años en *Eucalyptus globulus* en Portugal. En estos estudios y de acuerdo a lo que muestra la Figura 14, el porcentaje de defoliación (x) se correlacionó fuertemente ($R=0.913$) con el porcentaje de disminución del volumen proyectado (y) en un modelo exponencial $y = 5.428 e^{0.027x}$ con un coeficiente de determinación $R^2=0.834$.

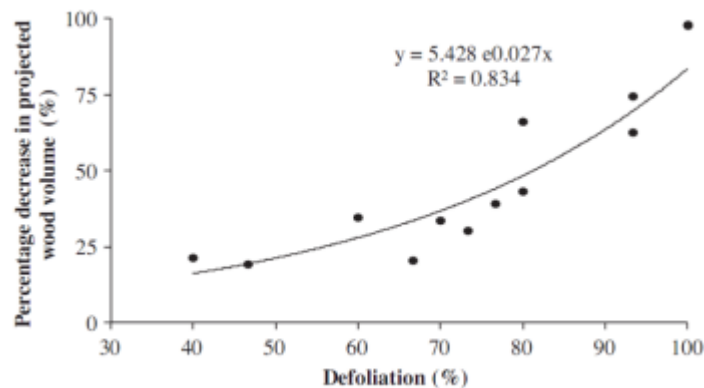


Figura 14. Relación entre el nivel de daño para *G. platensis* y la disminución en el volumen comercial proyectado (%) a 10 años en rodales de *Eucalyptus globulus* en regiones norte y centro de Portugal.

Si utilizamos *Ceteris paribus* el modelo exponencial y lo aplicamos en las mediciones oculares de la defoliación en la copa, considerando que los Robles tenían una altura de comienzo de copa de 10 a 15m, y una altura total de 14 a 22m, con ramas entremezclándose y en algunos casos sin poder ver totalmente la copa de los árboles, se puede estimar la pérdida de volumen proyectado por defoliación. En el Cuadro 7, las estimaciones de disminución porcentual de volumen (1) comercial proyectado para Código 2 (Defoliación entre 1 y 20% de la copa) es de 7.1% y para Código 3 (Defoliación entre 21 y 40% de la copa) es de 12.2%. El volumen actual (2) de Roble fue ajustado con los valores de la tabla de rodal ya que los valores de los 6 árboles muestras fitosanitarios sobreestimaron el diámetro y la altura total. Con estos valores se procede a estimar la pérdida de volumen proyectado, como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Estimaciones de pérdida de volumen proyectado para Renoval de Roble

Código	Defoliación		Densidad		Volumen Bruto (m^3 scc/ha)			
	Promedio (%)	Disminución Volumen (%) (1)	(arb/ha)	(%)	Actual (2)	Año 10 (3)	Pérdida (1)*(3)=(4)	Final (3)-(4)=(5)
2	10	7.1	420	60.6	71.5	126.3	9.0	117.3
3	30	12.2	273	39.4	47.9	83.9	10.2	73.7
Total	17.9	9.1	693	100	119.4	210.3	19.2	191.1

Considerando un Incremento Medio Anual (IMA) de 0,48 cm para el diámetro, en base a la tabla de IMA en diámetro (Marin, 2002), se proyectó el diámetro a 10 años y se estimó la altura total con el modelo de regresión para así estimar el volumen proyectado (3) mediante función de ahusamiento de Coffré (1983). El volumen proyectado es de 210.3 m³/ha. Al utilizar un IMA de 0,48 la estimación del volumen crece a razón de 9,1 m³/ha/año. Este incremento está sobre los valores promedio citados por Lara *et al.* (2001), de los Sitios 11 (3,53 a 7,09 m³/ha/año), Sitio 12 (1,65 a 2,37 m³/ha/año), Sitio 13 (3,86 a 7,04 m³/ha/año) y bajo el Sitio 14 (10,91 m³/ha/año) de ensayos Testigo o con Raleos en distintas intensidades.

Al aplicar el % de disminución (1) sobre el Volumen Proyectado (3), se obtuvo el volumen de pérdida (4) que descontado al volumen proyectado, entrega el volumen final (5) considerando las probables pérdidas por defoliación (Cuadro 4).

Sin embargo, el periodo vegetativo intensivo se concentra en los meses de septiembre, octubre y noviembre, principalmente en la época de formación de frutos, por lo tanto en diciembre ya comienza a declinar el crecimiento, principalmente por déficit hídrico. Durante diciembre y enero, se hace intensiva la defoliación por presencia de *Hylamorpha elegans*, que se alimenta de hojas que ya han pasado por su período de máxima fotosíntesis en los meses de septiembre a noviembre, y que comienza a declinar por la clorosis natural que estaría provocada principalmente por el estrés hídrico de los meses de verano.

Según el índice de Gausson, el periodo de sequía está dado por los meses en que la precipitación es menor que 2 veces la temperatura media, que en este rodal o distrito agroclimático ocurre en los meses de enero y febrero (Figura 15).

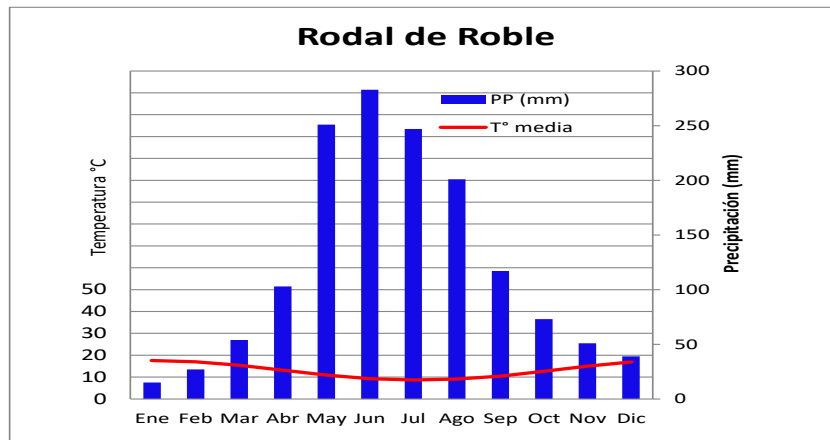


Figura 15. Gráfico ombrotérmico para el Rodal de Roble.

En este contexto, es difícil determinar si una probable disminución del crecimiento del Roble se deba a la pérdida de superficie foliar provocada por la presencia de agentes bióticos, ya que estaría dada principalmente por las condiciones climáticas de los meses secos de enero y febrero. En resumen, considerando la sobrestimación del IMA de 9,1 m³/ha/año, y el efecto tardío que tendría la defoliación provocada por *Hylamorpha elegans*, las pérdidas de volumen podrían corresponder a 1/5 de la estimación realizada en este rodal.

Basado en Crego (1999), las fases características de crecimiento de brotes de individuos juveniles de Raulí son: Iniciación (0-2 semanas), daño (3-4 semanas, probablemente por heladas), recuperación (5-22 semanas, máximo crecimiento y cierre de crecimiento (semana 23) (Figura 16).

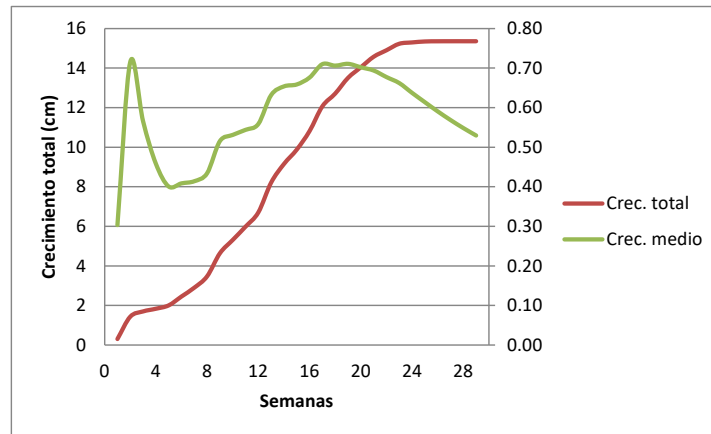


Figura 16. Crecimiento medio y total en longitud del brote dominante en individuos juveniles de Raulí (Fuente: Modificado de Crego, 1999).

El crecimiento total de la longitud de los brotes de individuos juveniles de Raulí, alcanza su valor máximo de 15.4 cm en la semana 26 (madurez física). El crecimiento medio tiene un máximo inicial seguido del daño en la semana 4 y luego alcanza su máximo entre las semanas 17 a 19 con un valor de 0.71 cm. Desde el punto de vista econométrico, el crecimiento óptimo se encuentra entre la semana que el crecimiento medio es máximo y la semana cuando el crecimiento medio es mayor o igual que el crecimiento marginal. Este punto se encuentra entre la semana 17 y la semana 19. Hasta la semana 18, se acumula el 80% del crecimiento, y después de eso, los crecimientos no son relevantes.

De acuerdo a esto, si se asume que los rodales comienzan a crecer a mediados de agosto en todos los rodales, la semana 18 correspondería a fines de diciembre, donde se alcanzaría el 80% del crecimiento. A partir de esta semana el crecimiento disminuye y comienzan a aparecer los insectos defoliadores que coinciden con los meses de estrés hídrico o meses secos según el diagrama ombrotérmico. Por lo tanto, la disminución del volumen por porcentaje de defoliación podría corresponder sólo al 20% del crecimiento que estaría ocurriendo a partir de la semana 18 o 19, y los valores corresponderían, como se mencionó anteriormente sólo a 1/5 de los valores entregados en los cuadros.

Finalmente, otro aspecto importante en este tipo de estimaciones, es considerar que las unidades muestrales de tipo Prodan, que utilizan 6 árboles muestra, no serían adecuadas para la estimación de variables fitosanitarias, ya que se comprobó que los 6 árboles muestras provocaron una sobrestimación del volumen total que debió ser corregido con la información de la parcela de 250 m².

Si bien, actualmente la incidencia de *H. elegans* no es importante y no estaría afectando el rodal, eso no significa que los renovales que estén con planes de manejo, eventualmente puedan estar expuestos a una probable plaga de *H. elegans*, ya que si no se ha hecho una estimación de la población de insectos con datos simples (población normal y superficie de praderas cercanas) como los mencionados en el rodal de Roble, cualquier alteración del equilibrio entre la densidad normal de un rodal y su estado sanitario puede provocar que la población vecina de insectos se convierta en una plaga con ocasionales pérdidas económicas. Por lo tanto, aparte de caracterizar bien el rodal mediante los inventarios solicitados en los planes de manejo, es fundamental conocer el entorno y la existencia de praderas y el uso intensivo o extensivo que se esté realizando en ellas.

Resultados del inventario del Renoval de Raulí (Sector Puesco).

El Rodal de Raulí ubicado en el Sector de Puesco, corresponde a un Predio del Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo, dirigido por CONAF. De acuerdo a información

del Plan de manejo, se ejecutó un raleo no superior al 30% de extracción de área basal, equivalente a un 23% de la densidad. La tabla de rodal y existencias se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Tabla de Rodal y existencias y gráfico de distribución diamétrica de Raulí.

Clase dap (cm)	Área Basal (m ² /ha)	Densidad (árb/ha)	Altura total (m)	Volumen (m ³ /ha)
10	0.3	29	13.9	0.7
12	1.4	114	14.7	5.0
14	1.4	86	15.9	6.5
16	1.5	74	16.3	8.2
18	3.0	114	17.5	18.7
20	1.9	57	18.4	12.6
22	2.2	57	19.6	15.6
24	3.4	74	20.5	25.6
26	4.4	80	21.9	35.2
28	3.6	57	22.5	28.9
30	4.9	69	23.4	41.1
32	4.2	51	26.0	39.3
34	4.2	46	25.7	37.8
36	4.8	46	26.1	43.2
38	2.0	17	27.7	18.9
40	3.0	23	29.0	29.6
Total	45.9	994	19.9	366.9
$d\bar{g}$ (cm)		24.2		

El inventario de este muestreo indica que el 100% del área basal y densidad corresponde a Raulí, con un diámetro medio cuadrático ($d\bar{g}$) de 24,2 cm, y la distribución diamétrica varía entre 10 y 40 cm, el menor y mayor respectivamente (Figura 17).

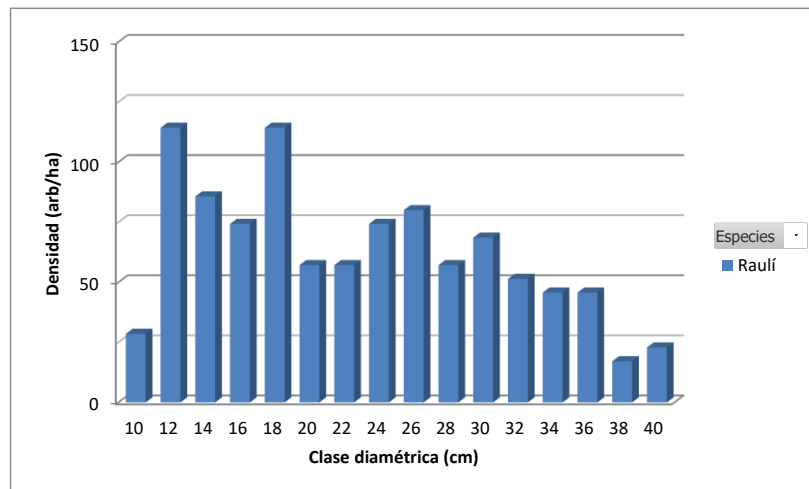
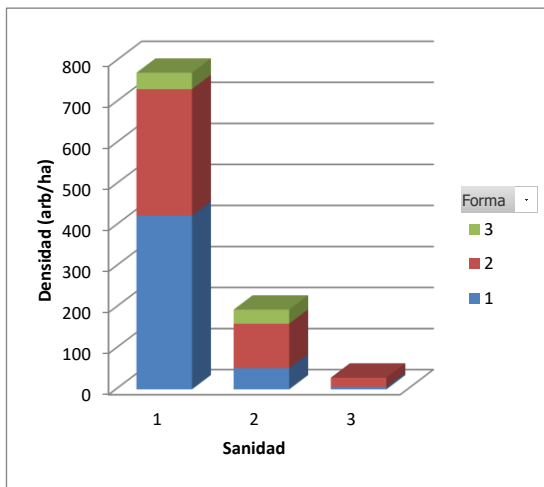


Figura 17. Distribución diamétrica por especie el Renoval de Raulí.

Respecto a la sanidad en el caso del Raulí, 771 arb/ha (77.6%) están en Sanidad 1, 194 arb/ha (19.5%) en Sanidad 2 y 29 arb/ha (2.9%) en Sanidad 3. Los árboles en clase de calidad 11 (sanidad 1 y Forma 1) son 423 arb/ha (42.5%) y los árboles de clase de calidad 12 (Sanidad 1 y Forma 2) son 309 arb/ha (31%) (Figura 18).



Sanidad	Forma			Subtotal Sanidad
	1	2	3	
1	423	309	40	771
2	51	109	34	194
3	6	23		29
Subtotal Forma	480	440	74	994

Figura 18. Distribución de la Densidad (arb/ha) según clase de calidad en Renoval de Raulí.

Los parámetros residuales del volumen, muestran que se privilegió el manejo para dejar el volumen en árboles de las mejores clases de calidad 11 y 12, donde se concentra el 85% del volumen pulpable que al incrementar su diámetro pasará a producto aserrable, que en este inventario presenta actualmente un 13% del volumen total en las mismas clases de calidad (Figura 19). Se debe recordar que este es un plan de Manejo muy bien ejecutado, con parcelas demostrativas dentro del Proyecto GTZ, con toda la selección y marcación de los árboles para el raleo y posteriormente la ejecución se ha hecho en regla con el plan de manejo.

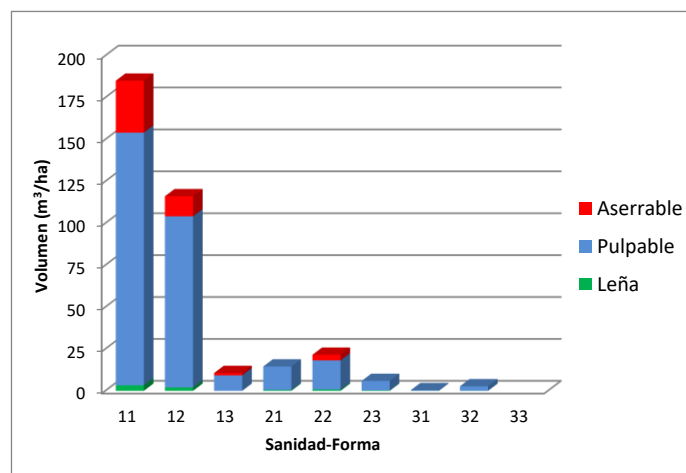


Figura 19. Distribución del volumen de productos (m^3 scc/ha) por clase de calidad en Raulí.

A continuación, en la Figura 20, se muestra el gráfico de distribución de las variables fitosanitarias de la copa y del follaje, en base a los 6 árboles muestra de las remedaciones en las 7 parcelas permanentes. Resaltan sin daños aparentes (código 1) las variables Clorosis, Plantas Parásitas, Orificios Pequeños y Orificios grandes con un 100% de la densidad total. Le siguen las variables Tumores y daños mecánicos respectivamente con el 66,7% y el 82,2% de la densidad total. Las variables del fuste en la categoría 2 con daños leves o muy localizados son las Deformaciones (60,9%) y Cancros (52,3%).

A diferencia del rodal de Roble, para la variable Defoliación, el rodal de Raulí presentó un 60,3% sin síntomas y un 39,7% de la densidad total con defoliación entre 1 y 20% de la copa (Figura 20). También se encontró presencia de *Hylamorpha elegans*, pero en esta latitud, a diferencia del rodal de Roble en Angol, el período de estrés hídrico de acuerdo al gráfico ombrotérmico (Figura 21) es sólo durante el mes de enero. Esto y las características de la hoja de Raulí, explicarían el hecho que presentaran menor porcentaje de pérdida de superficie foliar y menos estrés hídrico que las hojas de Roble y. un día después del muestreo, cuando llegaban al laboratorio,

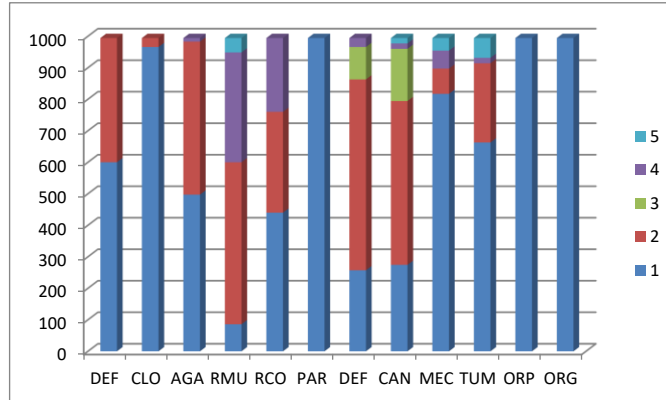


Figura 20. Densidad (arb/ha) de Raulí, por categoría según variables fitosanitarias.

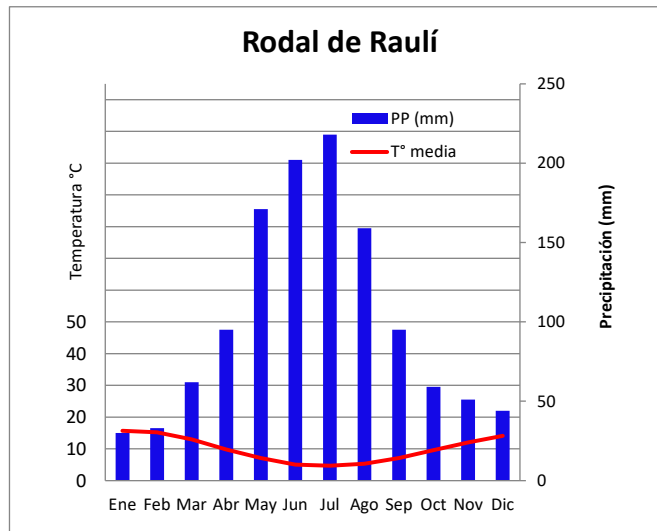


Figura 21. Gráfico ombrotérmico para el Rodal de Raulí.

En el caso del rodal de raulí, la probable pérdida de volumen por efecto de defoliación por *Hylamorpha elegans*, estaría sobrestimada con un valor de 12.6 m³/ha, que correspondería al 2,8% del volumen total proyectado; los resultados de las evaluaciones asumiendo los mismos supuestos de IMA en diámetro de 0.48 cm se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Estimaciones de pérdida de volumen proyectado para Renoval de Raulí.

Defoliación			Densidad		Volumen Bruto (m ³ scc/ha)			
Código	Promedio (%)	Disminución Volumen (%) (1)	(arb/ha)	(%)	Actual (2)	Año 10 (3)	Pérdida (4)	Final (5)
1	-	-	600	60.4	260.4	304.0	-	304.0
2	10	7.1	394	39.6	106.4	178.1	12.6	165.4
Total		2.8	994	100.0	366.8	482.0	12.6	469.4

La sobrestimación también podría ocurrir, debido a que las hojas de Raulí son más resistentes al estrés hídrico que Roble, y también porque de acuerdo al gráfico ombrotérmico, el período de sequía o mes seco ocurriría sólo en enero. Sin embargo, aun cuando el porcentaje de defoliación en este sector se ve sobrestimado, el daño no es significativo, por lo que se debería evaluar la eficiencia del raleo como forma de controlar la defoliación provocada por *H. elegans*.

Resultados del inventario del Renoval de Coihue (Cunco).

El Rodal de Coihue es un renoval fustal con un 90.4% (68.0 m²/ha) del área basal de Coihue, acompañado por Laurel con un 6.4% del área basal (4.8 m²/ha). Las especies con menor área basal acumulan un 3.2% (2.4 m²/ha) y se encuentran agrupadas en la categoría "otras" correspondientes a Arrayán macho, Ulmo, Lingue, Trevo y Avellano (Cuadro 10).

Cuadro 10. Tabla de Rodal y existencias y gráfico de distribución diamétrica de Coihue.

Clase dap (cm)	Área Basal (m ² /ha)				Densidad (arb/ha)				h (m)	Vol. Bruto (m ³ /ha)
	Co	La	Otras	Total	Co	La	Otras	Total		
10	0.3	0.1	0.4	0.8	29	11	46	86	12.3	2.2
15	4.3	0.3	0.8	5.4	246	17	46	309	17.6	31.0
20	7.0	0.4	0.3	7.7	229	11	11	251	19.2	54.7
25	10.1	0.2	0.8	11.2	211	6	17	234	20.6	84.2
30	11.4	0.8		12.2	166	11		177	21.7	93.7
35	8.8			8.8	91			91	22.2	66.6
40	7.0			7.0	57			57	22.7	52.4
45	10.7	0.9		11.6	69	6		74	23.3	86.9
50	4.5			4.5	23			23	22.7	31.6
55	4.0			4.0	17			17	24.2	29.2
70		2.2		2.2		6		6	29.7	18.8
Total	68.0	4.8	2.4	75.3	1137	69	120	1326	19.7	551.1
<i>d_g</i> (cm)					27.6	29.8	16.0	26.9		

El diámetro medio cuadrático ($d_{\bar{g}}$) es de 26.9 cm, y la distribución diamétrica va desde los 10 cm hasta los 70cm (Figura 22).

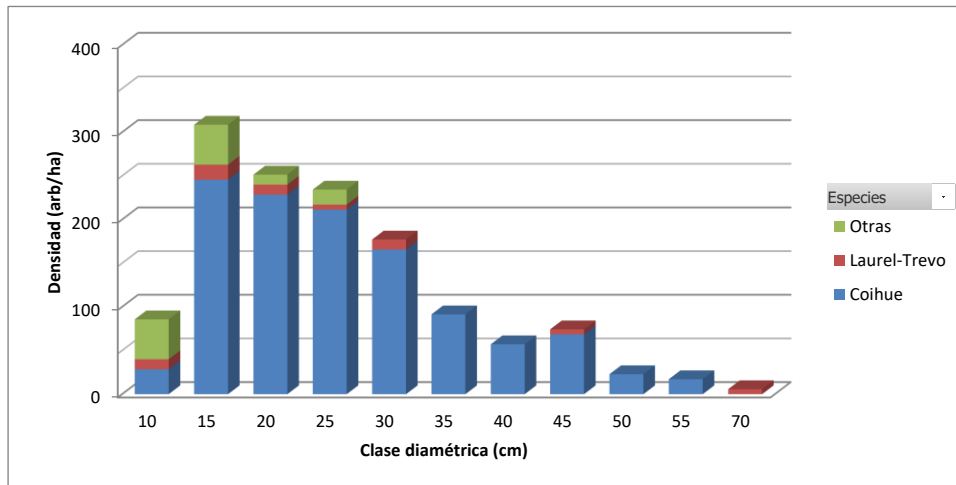
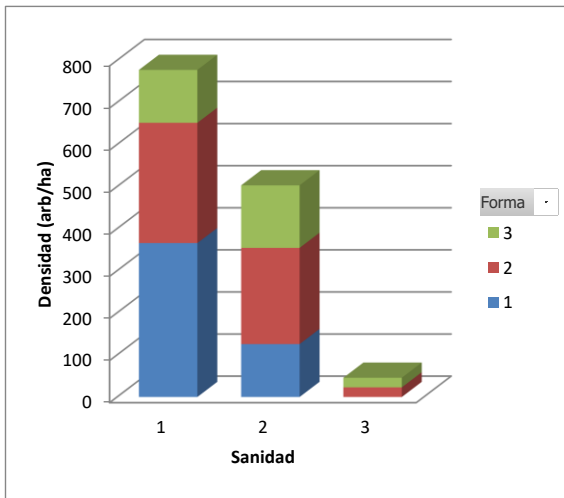


Figura 22. Distribución diamétrica por especies en el Renoval de Coihue

Los resultados de la distribución de clases de calidad (Figura 23), muestran que el 58% (777 arb/ha) se encuentran en la categoría de sanidad 1, y en la categoría sanidad 2 aparece el 38% de los árboles (503 arb/ha). En la clase de calidad 11 está el 27.6% de los árboles (366 arb/ha) y en la clase de calidad 12 el 21.6% de los árboles (286 arb/ha), es decir, una alta productividad y calidad en este rodal.



Sanidad	Forma			Subtotal Sanidad
	1	2	3	
1	366	286	126	777
2	126	229	149	503
3		23	23	46
Subtotal Forma	491	537	297	1326

Figura 23. Distribución de la Densidad (arb/ha) según clase de calidad en Renoval de Coihue.

El 37% de los árboles quedó clasificado como Forma 1 y el 40% en la categoría de Forma 2. Al igual que Raúlí, y a diferencia del rodal de Roble, este rodal presenta buenas características de clases de calidad en las combinaciones de Sanidad-Forma 11 con un 27.6% de la densidad total, es decir 366 árboles/ha y para la clase de calidad 21 un 9% de la densidad total, correspondientes a 126 arb/ha. Las dos clases de calidad acumulan 491 árboles, quedando muy por sobre la condición de calidad del rodal de roble que tiene un 8% en clase de calidad 11, correspondientes a 113 árboles/ha.

En cuanto a la capacidad de utilización de los productos, se obtuvo que en este rodal el 27% del volumen total es producto aserrable y el 71% representa al producto pulpable, principalmente Coihue. El 70% del volumen total está concentrado en la clase de calidad 11 y 12 (Figura 24).

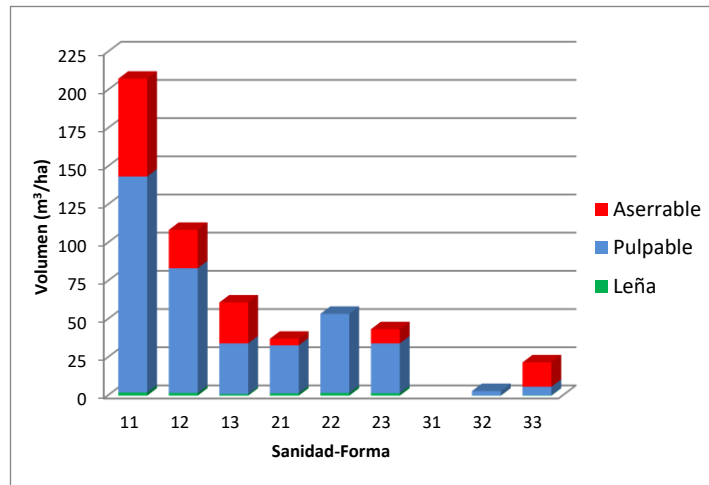


Figura 24. Distribución del volumen de productos (m³ scc/ha) por clase de calidad en Coihue.

En la Figura 25 se observan los resultados de la distribución de las variables fitosanitarias del follaje y el fuste, mostrando que la categoría 1, que corresponde a “sin presencia de síntomas”, se encuentra sobre y hasta 100% de la densidad total en las variables Agallas (AGA), Plantas parásitas (PAR), Daños mecánicos (MEC), Orificios pequeños (ORP) y Orificios grandes (ORG). La Clorosis (CLO) presentó un 67.8% de la densidad total correspondiente a 783 árboles en categoría 1.

Las variables del follaje para Ramas Muertas (RMU) y Ramas cortadas (RCO) presentaron un 83.2% y un 80.7% de la densidad total para la categoría 4 (entre 1 a 5 ramas). El 71.3% de la densidad total (823 árb/ha) presentaron canchales (CAN) localizados en pequeña superficie. El 89.6% de la densidad total presentó Agallas o Tumores (TUM) localizados en pequeña superficie.

La variable Defoliación presentó un 20.8% sin síntomas, un 69.8% entre 1 a 20% de defoliación en la copa, y un 9.4% de la densidad total con una defoliación entre 21 y 40% de la copa.

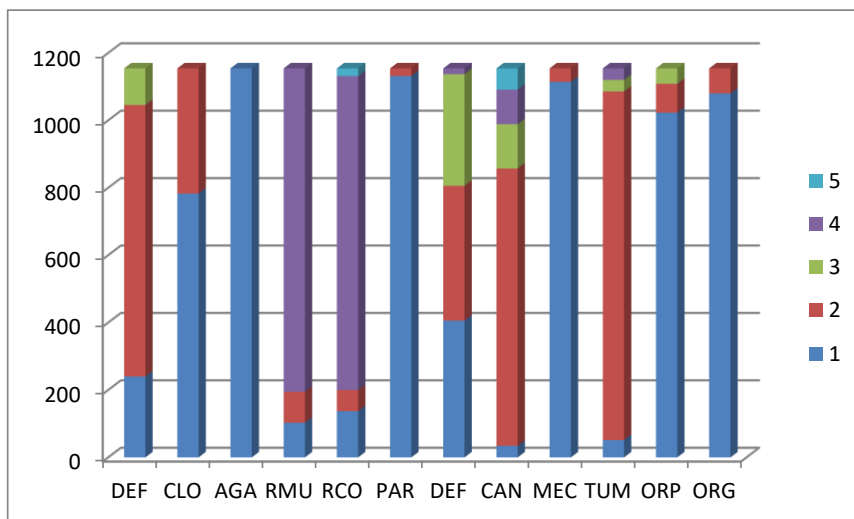


Figura 25. Densidad (arb/ha) de Roble, por categoría según variables fitosanitarias.

Con los resultados presentados en el Figura 25 se realizó un evaluación de la pérdida de volumen por defoliación, la cual se muestra en el Cuadro 11, en donde se puede observar que en Código 1 (Sin

presencia de síntomas) hay 240 arb/ha, en Código 2 (Defoliación entre 1 y 20% de la copa) hay 806 arb/ha y en Código 3 (Defoliación entre 21 y 40% de la copa) hay 109 arb/ha.

Cuadro 11. Estimaciones de pérdida de volumen proyectado para Renoval de Coihue.

Defoliación			Densidad		Volumen Bruto (m ³ scc/ha)			
Código	Promedio (%)	Disminución Volumen (%) (1)	(árbs/ha)	(%)	Actual (2)	Año 10 (3)	Pérdida (4)	Final (5)
1	-	-	240	20.8	79.7	103.0	-	103.0
2	10	7.1	806	69.8	404.8	466.0	33.1	432.9
3	30	12.2	109	9.4	66.6	74.1	9.0	65.0
Total		6.1	1154	100.0	551.1	643.0	42.1	600.9

Las pérdidas de volumen, asumiendo un IMA de 9.1 m³/ha/año son de 42.1 m³/ha que corresponden al 6.56% del volumen total proyectado indica que bajo el contexto actual, a pesar de los altos porcentajes como son Cancros con 71.9% y Tumores con 89.6%, ambos localizados en pequeñas superficies o extensiones del fuste, este es un bosque sano y en buenas condiciones productivas, que a diferencia de Roble y Raulí, está rodeado de Bosque Nativo o Plantaciones de *P. radiata* o *E. globulus*, sin grandes superficie de praderas que signifiquen un aumento de población de *H. elegans*, al menos en un radio 2000 m.

ANÁLISIS FITOPATOLÓGICO

Análisis de las muestras vegetales. Las muestras provenientes de los sectores Angol, Cunco y Puesco fueron analizadas visualmente asignando porcentaje a la sintomatología presente principalmente a las hojas, en donde se evidenciaba la falta de material vegetal debido a la defoliación provocada por los insectos y junto con ello se observó los síntomas que pudieran estar relacionados con la presencia de hongos o bacterias (Figura 26).



Figura 26. Foto con hojas sanas y comidas por insectos

La defoliación por insectos se evidenció durante todos los muestreos, siendo un porcentaje bastante importante especialmente en el sector de Puesco (Figura 27), el cual corresponde a un bosque compuesto en un 100% de Raulí (Cuadro 12), la presencia de síntomas de infección sin embargo era

muy baja y se relaciona especialmente con la presencia de insectos, dado que estos al morder provocan heridas con lo cual quedan los tejidos expuestos para la acción de diferentes tipos de hongos oportunistas, los que se instalan y provocar una infección, a pesar de esto las infecciones por problemas fúngicos o bacterianos son insignificantes, no provocando un daño de muerte al bosque bajo las condiciones sanitarias actuales.

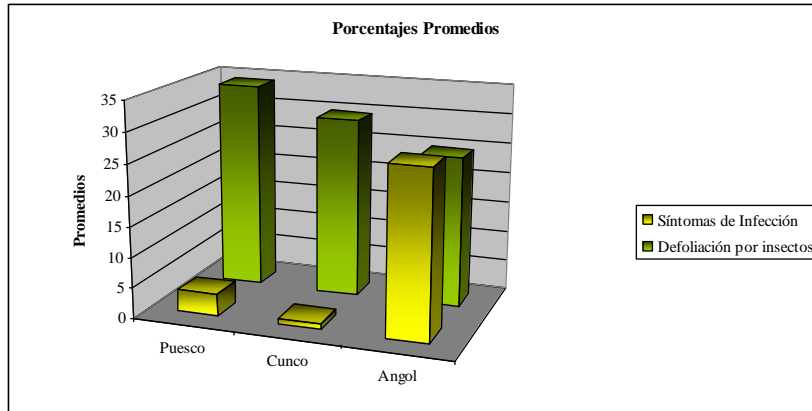


Figura 27. Gráfico con los porcentajes promedios de los valores asignados á las muestras vegetales observados por sector, temporada dic-mayo de 2013.

Cuadro 12. Frecuencia de aislados microbianos desde las distintas especies forestales y en los sectores evaluados.

Sector	Nº de aislados	Nº de géneros	Nº de cepas bacterianas	Especies Forestales	
				Nombre especie	Porcentaje
Angol	23	6	35	Roble	66
				Avellano	25
				Otras especies (Lingue, Laurel y Luma)	9
Cunco	10	5	12	Coihue	90
				Laurel	5
				Otras especies (Arrayán macho, lmo, Lingue, Trevo y Avellano)	5
Puesco	13	7	14	Raulí	100

Es importante señalar que la superficie prospectada en este trabajo dista mucho de ser representativa de la superficie regional (1.141.896,7 ha) y comunal del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue, los cuales se muestran en el Cuadro 13, donde además se observa que la proporción de muestreo fluctúa desde 0.01% hasta un 2.35%, con un valor promedio de 0.5%, lo que determina el gran trabajo de prospección que aún falta por realizar.

Cuadro 13. Tipo Forestal RORACO: Superficie por comuna y parámetros del Premuestreo con parcelas PRODAN y Parcelas Permanentes de 250m².

Comuna	RoRaCo Sup (ha)	Premuestreo Sup (ha)	Proporción (%)	Rodales	Premuestreo PRODAN (x3)	Parcelas Permanentes
Angol	32809.7	8.7	0.03	2	7	6
Carahue	14560.8	159.9	1.10	7	4	
Cunco	44094.0	4.1	0.01	1	7	7
Curarrehue	28715.5	140.2	0.49	4	12	7
Melipeuco	13192.7	310.6	2.35	4	5	
Pucón	32327.8	172.9	0.53	5	6	
Villarrica	29185.4	169.1	0.58	6	9	
Subtotal	194885.9	965.5	0.50	29	50	20

Fuente: Superficies del Tipo Forestal RORACO por Comuna (CONAF, 2007)

Con el Análisis Fitopatológico se logró identificar un grupo importante de hongos patógenos asociados a los síntomas presentes en las muestras obtenidas directamente del tejido vegetal o de las cámaras húmedas (Cuadro 14).

Cuadro 14. Porcentajes de hongos aislados en medio de cultivo APD por sector.

Nº	Género	Tipo de acción	Sectores en Estudio		
			Angol	Cunco	Puesco
1	<i>Alternaria</i> sp.	Saprófito/Patógeno			7,7
2	<i>Aspergillus</i> sp.	Saprófito/Patógeno		10,0	
3	<i>Aureobasidium</i> sp.	Patógeno	76,9		15,4
4	<i>Botrytis</i> sp.	Patógeno	7,7	10,0	23,1
5	<i>Fusarium</i> sp.	Patógeno	7,7	10,0	
6	<i>Mammaria</i> sp.	Patógeno		10,0	
7	<i>Nigrospora</i> sp.	Patógeno/Degradador			7,7
8	<i>Scytalidium</i> sp.	Patógeno			7,7
9	<i>Sordaria</i> sp.	Degradador	7,7		
10	<i>Trichoderma</i> sp.	Biocontrolador	38,5	60,0	14,4
11	<i>Ulocladium</i> sp.	Saprófito/Patógeno	38,5		23,1
Porcentaje Promedio de hongos identificados			29,5%	20%	14,1%
Total de hongos identificados			23	10	13
Total de hongos no identificados por sector			77	109	39
Total de hongos no identificados			225		

De los hongos identificados es en el sector de Angol donde se observa en promedio un mayor porcentaje de ocurrencia de hongos aislados lo cual pudiera estar relacionado con las características climáticas del sector que propician el desarrollo de diversos tipos de microorganismos, sin embargo, también pudiera relacionarse con características del suelo, como bajos nutrientes, daños por insectos, principalmente ácaros los cuales se presentaron en un gran número, comunicación personal del investigador Rebolledo (2012) para el cual es una sorpresa, y merece ser investigado, por otra parte es importante señalar que varios de los hongos presentes son saprófitos u oportunistas que al penetrar en una herida logran instalarse y desarrollar una sintomatología, que a pesar de ello no es importante en el bosque nativo, ya que no aumenta lo cual indica la acción defensiva del árbol.

En Cunco se obtuvo un porcentaje promedio de aislamientos de un 20% que corresponde a un valor intermedio entre los tres sectores evaluados, sin embargo es el sector de donde más muestras de hongos se tiene y esto comprueba las dificultades que existen para su identificación ya que aun hay 109 hongos por identificar, hasta el momento solo hay un 8,4% de los hongos aislados desde Cunco identificados. La alta presencia de hongos estaría dada por la variabilidad de especies presentes (Cuadro 12), por ser una zona boscosa densa lo que le permite tener una mejor estabilidad gracias a la madurez y diversidad de edad de sus árboles. Además, este bosque se ve beneficiado por la presencia del hongo del género *Trichoderma*, predominante en todos los aislamientos (Cuadro 14) y que corresponde a un excelente biocontrolador, lo que le permite mantener una mejor sanidad del bosque.

En el bosque de raulí del sector de Puesco se observa también una pequeña variación en la diversidad de especies encontradas. Desde algunas muestras de este sector se obtuvo el hongo del género *Alternaria*, como patógeno mostrando una sintomatología importante en las hojas (Figura 28) y que no estuvo presente en los otros dos sectores así como *Nigrospora* y *Scytalidium*, los cuales también tienen características de ser degradadores y están presentes en la degradación de los restos de vegetales, lo que confirma la estabilidad de este bosque como un renoval adulto de acuerdo a la distribución diamétrica presentada en el Cuadro 8.

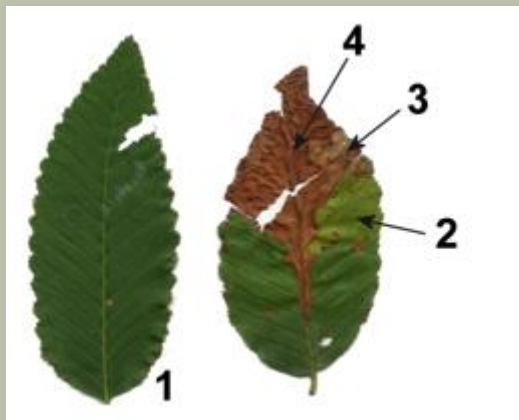


Figura 28: Sintomatología provocada por la presencia de *Alternaria* sp.

Identificación de las enfermedades fúngicas presentes en renovales de Roble-Raulí-Coihue. La obtención de los aislados fúngicos, y más aún su identificación, no resulta fácil a pesar de utilizar diferentes técnicas de cultivo de hongos. El aislamiento directo del tejido vegetal en medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (ADP), fue el que mostró mejores resultados.

Las muestras vegetales (hojas) presentaron diversas condiciones a medida que se realizó el muestreo, como cambio de colores, de verde a amarillo, también a medida que pasaban los meses y acercándose al otoño, las muestras presentaron, como es natural, ausencia de hojas en las especies caducifolias.

Las enfermedades causadas por hongos producen en sus hospederos una amplia variedad de síntomas (Figuras 29, 30, 31 y 32), entre estos se encuentran las manchas cloróticas y necróticas, cribados, canchales, tizones, podredumbres húmedas o secas, agallas, abolladuras, costras, ahogamientos, marchitamientos y pústulas, las que van a depender tanto del patógeno como del hospedero y las condiciones ambientales en las que se encuentran.



Figura 29. Síntomas en Hojas de Roble



Figura 30. Síntomas en Hojas de Raulí

Otras especies acompañantes



Figura 31. Síntomas en Hojas de Avellano

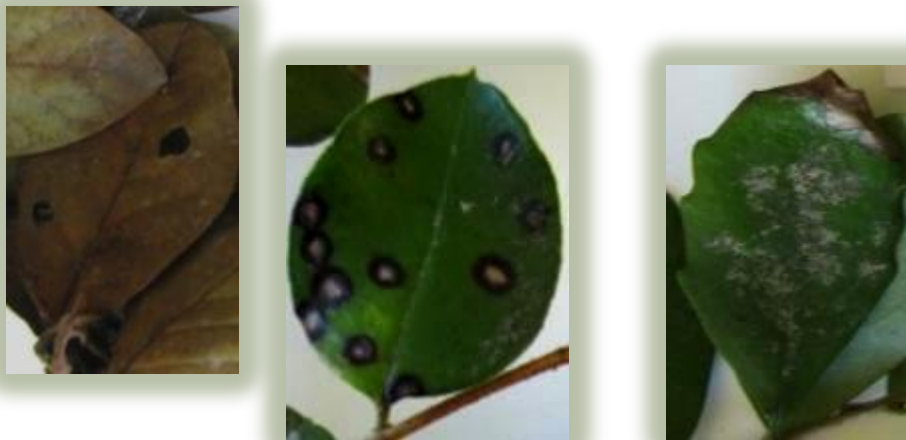


Figura 32. Síntomas en hojas de Lingue, Luma y Avellanillo

Una de las características importantes para el desarrollo de las enfermedades fungosas es la humedad, esta influye sobre el inicio y desarrollo de las enfermedades, la humedad se centra en la germinación de las esporas y sobre la penetración del tubo germinativo en el hospedante.

Los resultados de la presencia y síntomas de los hongos patógenos y/o saprófitos obtenidos en este estudio se clasificaron por especies de *Nothofagus*: Roble, Raulí y Coihue que se encontraba en cada uno de los sectores en estudio (Cuadro 14). En ellos se puede observar la presencia de los hongos patógenos *Botrytis* sp. *Fusarium* sp. y *Alternaria* sp. La descripción y características de los principales géneros de hongos aislados inicialmente en este estudio se encuentran en el Anexo 2).

Los resultados indican que los hongos patógenos presentes en mayor frecuencia y diversidad, se encuentran en el sector de Angol y en mucha menor frecuencia en Cunco, lo que se debe a las especiales condiciones agroclimáticas del sector de Angol propiciadas por la protección que le brinda la cordillera de Nahuelbuta y donde es posible que cualquier tipo de cultivo sea productivo, razón por la cual es uno de los sectores de la región de La Araucanía donde se concentra gran parte del cultivo de frutales en los cuales son comunes las patologías como *Botrytis* sp., que afecta en esta zona principalmente a Roble, además, este es uno de los patógenos más comunes y más ampliamente distribuido tanto a nivel nacional como mundial (Latorre, 1998). La gran importancia de este patógeno radica en ser cosmopolita y genéticamente heterogéneo (Hansen y Smith, 1932). *Botrytis* sp. penetra en estado de latencia por un largo periodo conservando su alta potencialidad destructiva, la cual se manifiesta particularmente en zonas con primavera y verano muy húmedos, como es la zona en estudio.

Obtención y análisis de las bacterias asociadas a los *Nothofagus*.

La obtención de las cepas bacterianas fue a partir de su presencia en los diferentes aislados fúngicos que se realizaron, en éstos, se pudo observar clorosis de las hojas en casi todos los muestreos y fueron en primera instancia asociadas con la causa de las defoliaciones que eran los insectos. Es importante considerar que la presencia de bacterias sobre las hojas es natural y actúan protegiendo a las mismas de la entrada de patógenos, sin embargo una vez provocada la herida e iniciado el proceso de infección por parte del hongo la resistencia tanto de la planta como de las bacterias se ve disminuida (Agrios, 1998)

Se obtuvieron un total de 61 cepas bacterianas (Cuadro 15) desde diferentes muestras, con éstas se realizaron algunas pruebas para recopilar antecedentes de sus características. Además se realizaron pruebas de hipersensibilidad en tabaco resultando que un grupo no menor de estas cepas son patógenas para los vegetales, lo cual pudiera indicar que la clorosis en las muestras vegetales y asociadas en un inicio a la presencia de hongos por daño por insectos defoliadores, corresponderían en realidad a síntomas provocados por la presencia de estas bacterias patógenas, las cuales también son diseminadas por los insectos.

Cuadro 15. Porcentaje de cepas positivas de acuerdo a las diferentes pruebas realizadas.

Pruebas de laboratorio	Sectores en estudio		
	Angol	Cunco	Puesco
Resistencia a sal 0,25%	100	100	100
Resistencia sal 1%	100	100	100
Resistencia a sal 5%	17,4	33,3	28,6
Resistencia sal 8%	2,9	0	7,1
Solubilizadores de Fósforo	5,7	41,7	35,7
Resistencia a Pb 0,25 mM	11,4	8,3	35,7
Resistencia Pb 0,5 mM	5,7	8,3	21,4
Resistencia a Pb 1 mM	5,7	0	14,3
Resistencia a Pb 3 mM	5,7	25,0	0
PGPRs	22,9	8,3	7,1
Patógenas	60,0	25,0	57,1
TOTAL	35	12	14

Es importante observar en el Cuadro 15 que varias de las cepas evaluadas respondieron en forma excelente a tratamientos como son las concentraciones de sales, resistencia a altas concentraciones de metales pesados como es el plomo, de gran importancia en nuestros días por la información que existe a

nivel nacional de las diferentes contaminaciones de suelos por este metal, además un porcentaje significativo de las cepas son también promotoras de crecimiento, lo que permitiría desarrollar productos naturales en base a estos microorganismos.

Los análisis de la presencia de los diferentes microorganismos en los vegetales es complejo, sin considerar que también tiene un costo significativo, por esto es importante contar con herramientas que permitan realizar esta actividad en forma más rápida, efectiva y probablemente más económica.

Entre las técnicas disponibles actualmente tenemos **La reacción en cadena de la Polimerasa (PCR)**, que se basa en sintetizar muchas veces un fragmento de ADN, utilizando una polimerasa que pueda trabajar a temperaturas muy elevadas, mediante ciclos térmicos que permiten denaturar y posteriormente sintetizar el nuevo ADN. La iniciación de la síntesis de ADN se efectúa mediante partidores, los cuales se hibridizan con segmentos de ADN cuya secuencia es complementaria.

La taxonomía e identificación de los hongos se ha basado tradicionalmente en la caracterización fenotípica de los mismos. La sintomatología presente en las hojas troncos y/o ramas atribuye valores taxonómicos a aspectos asociados a la morfología tanto microscópica como macroscópica, con presencia o ausencia de septos en las hifas, formación de esporas y mecanismos de liberación de las mismas, o aspectos de la biología o ecología de estos organismos, así como también datos bioquímicos, que en conjunto han podido establecer diferentes categorías taxonómicas hasta nivel de especies, y en algunos casos hasta niveles inferiores (Webster y Weber, 2009). Actualmente, la aplicación de técnicas de biología molecular, en particular el análisis de secuencias de nucleótidos del ADN y los estudios filogenéticos derivados de ellos, han cambiado mucho los conceptos tradicionales de la taxonomía fúngica (Guarro *et al.*, 1998).

Otra técnica que podría ser aplicada a la Sanidad Forestal es la Espectroradiometría, basada en la asociación de la presencia de síntomas con las Firmas Espectrales y Porcentaje de Infección.

En ensayos preliminares se realizó una asignación visual de porcentajes de daños a una selección de hojas por daño y coloración y que son presentadas en el Cuadro 16, estos fueron utilizados para el proceso de las mediciones espectroradiométricas. Para lo cual los porcentajes de daños asignados a cada especie Roble-Raulí-Coihue y presentados en el Cuadro 16, fueron agrupados por rango de daño, asignándoles un valor de 1 a 5, donde 1 es el de mayor daño y 5 es el que corresponde al de menor daño.

Cuadro 16. Porcentajes de daños asignados visualmente para cada hoja.

Rango % de daño	Valor	Porcentaje de daño por especie (%)			Promedio
		Coihue	Raulí	Roble	
0-20	5	6.0	4.9	7.5	5.7
21-40	4		28.8		28.8
41-60	3	65.0	59.0	59.3	59.6
61-80	2	80.0	80.0	73.8	75.8
81-100	1	100.0	91.7	98.4	97.7
Total		34,4	35,4	78,5	58,7

Luego se evaluó la Reflectancia de acuerdo al rango de daño con el programa SPSS versión 15. La reflectancia es la radiación incidente que en parte es reflejada especularmente y en parte dispersada. La responsable de la reflexión especular es la cutícula que cubre las hojas, la cual le confiere el brillo

característico a algunas especies. La luz no reflejada penetra en el interior de la hoja y es sucesivamente refractada, reflejada y difractada. Como consecuencia de ello, la radiación emergente tiene un carácter difuso. Esta dispersión depende de la propia estructura de la hoja, de la composición de sus células, por ejemplo de la presencia de cristales de almidón o su grado de humedad, entre otros.

En este estudio se evaluaron las hojas con diferentes grados de daño (Cuadro 16) y se les midió la reflectancia. En la Figura 33 se visualiza el porcentaje de daño relacionado con la Reflectancia de las hojas de Coihues, en la cuales se muestran valores que indican que las hojas no muestran daño.

Las hojas de Raulí (Figura 34) que en este caso correspondieron a un mayor el número de muestras, no se visualiza con tanta nitidez, debido a que se interceptan diversas curvas, sin embargo es posible señalar que se visualiza un mayor daño de las hojas aun cuando el rango de daño asignado a priori sea menor.

Caso contrario es el de la Figura 35a y 35b, debido a que las hojas de Roble no se pueden visualizar en conjunto ya que hay una mayor cantidad de muestra, por lo tanto se tuvo que separar por rango de daño para poder evaluar su asociación con la Reflectancia de las hojas. En el rango 1 (81% a 100%) se observa que hay mucho daño ya que la firma se visualiza entre 30 y 40 de Reflectancia y en el rango 5 (0% a 20%) se observa que no existe daño y la firma se visualiza entre 10 y 20 de Reflectancia.

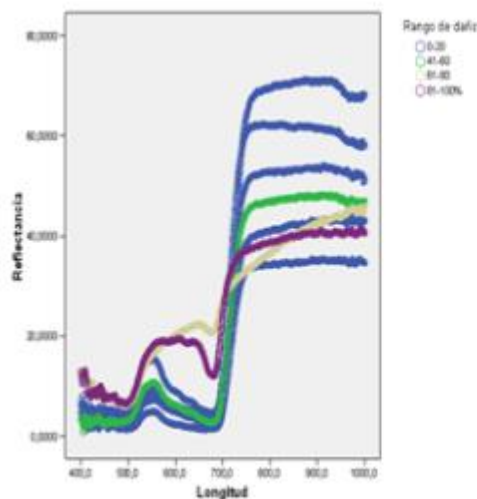


Figura 33. Reflectancia de Coihue

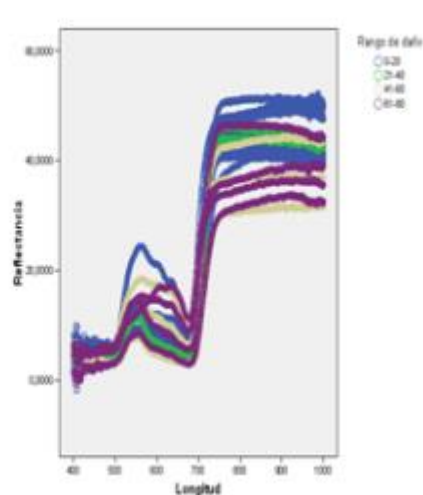


Figura 34. Reflectancia de Raulí

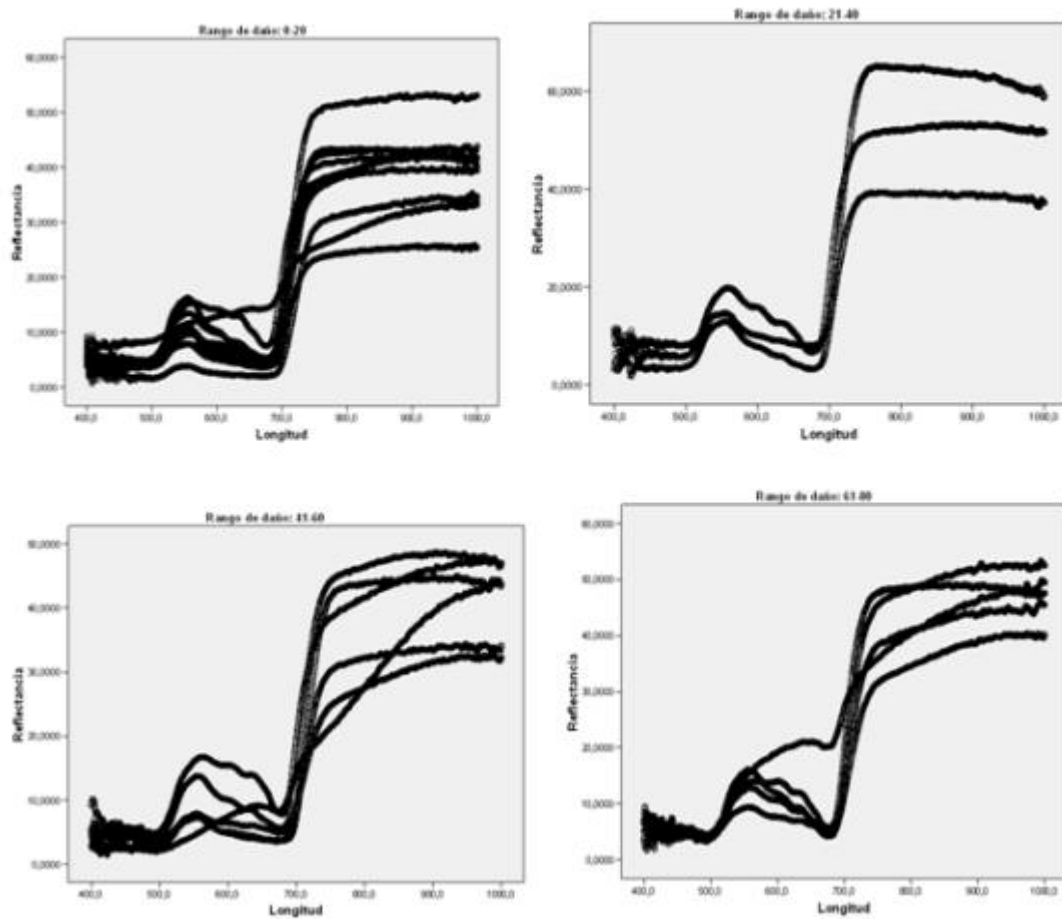


Figura 35a. Reflectancia de de Roble con diferentes de daños asignados.

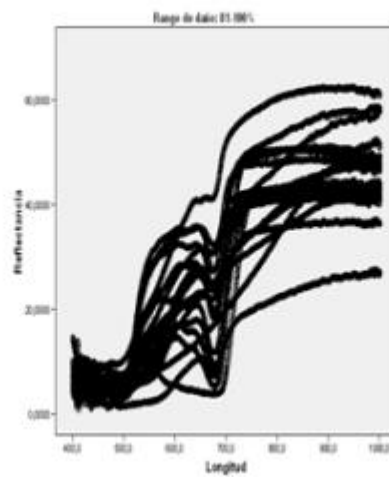


Figura 35b. Reflectancia de las muestras Roble con diferentes de daños asignados.

En el infrarrojo próximo, las hojas con mayor desarrollo del parénquima lagunar producen mayor dispersión. Por esta razón las plantas de hoja ancha suelen ser más reflectantes en esa región espectral que las de hoja estrecha (Ormeño, 1991). Por otra parte, la presencia de cloroplastos incrementa la absorción, por lo que necesariamente debe disminuir la reflexión.

Un fenómeno interesante de resaltar es la senescencia de las hojas, es decir el proceso de envejecimiento que conduce a la clorosis (amarillamiento) y a la marchitez permanente. Durante el mencionado proceso, el contenido en clorofilas decrece en favor de los carotenos, que producen colores rojizos y marrones, y de las xantofilas, que producen colores amarillentos. En el infrarrojo próximo la reflectancia solamente varía cuando, como consecuencia de la muerte de la hoja, cambia su estructura interna. Sin embargo, en el infrarrojo medio sí se registra un incremento de la reflectancia en todo el intervalo espectral, debido a la progresiva pérdida de agua, aunque las bandas de absorción características del agua solamente desaparecen cuando la humedad se hace prácticamente inexistente.

El contenido de agua del material vegetal influye en la reflectancia no sólo de forma directa e indirecta, ya que de la humedad depende la turgencia celular y este factor determina la estructura interna de la hoja. En general, en laboratorio se obtienen reflectancias mayores en todo el espectro al disminuir el contenido en agua. En la práctica, sin embargo, tal efecto solamente se hace evidente cuando el estrés hídrico es muy acusado.

También el estado nutritivo de las plantas influyen en la reflectancia espectral. La característica principal que puede detectarse en relación con el vigor vegetal es el amarilleamiento o clorosis y numerosos estados carenciales dan como resultado la clorosis. Salvo las plantas leguminosas, el resto del material vegetal es extremadamente sensible a la carencia de nitrógeno soluble en el suelo. Una escasa dotación de este elemento en forma amoniacal produce un típico color amarillo en la planta debido a la disminución del contenido en clorofila. Ello produce un incremento de la reflectancia en el visible, mientras que, como consecuencia de la pérdida de capas celulares, se produce un descenso de la reflectancia en los infrarrojos próximo y medio. Pero las clorosis también pueden estar producidas por la carencia de algún elemento no tan esencial como el nitrógeno. Tal es el caso del hierro, cuya deficiencia da lugar a la denominada clorosis férrica, caracterizada por un amarillamiento de las hojas que, al igual que antes, causa un incremento de la reflectancia en el visible. Efectos similares producen las plagas y/o enfermedades sobre las plantas, precisamente por lo cual es posible el seguimiento de sus efectos mediante teledetección.

Determinados cultivos de floración muy perceptible durante un período dilatado de tiempo modifican su signatura espectral en estado de floración con respecto a otros períodos vegetativos. Por lo tanto se deberá tener en cuenta este factor en los períodos afectados, contrastando los registros digitales obtenidos desde satélite con los resultados de la radiometría de campo que, bajo estas circunstancias, se hace especialmente útil. El caso es patente en las coníferas, en las que la proporción de infrutescencias (piñas) tiene, junto con la corteza de troncos y ramas, gran repercusión espectral.

Los resultados obtenidos nos permiten señalar que el uso de espectroradiometría para conocer el estado sanitario del bosque podría ser utilizado, ya que se observa que existe una alta relación entre los porcentajes de daño asignados visualmente en laboratorio con los resultados de la reflectancia dadas por el equipo, sin embargo, esta primera aproximación al uso de estas herramientas en el área biotecnológicas requieren de una mayor aplicación, estudios y evaluaciones, dejando abierta la posibilidad y necesidad de continuar con estos estudios.

Como una forma adicional al reconocimiento de microorganismos asociados a enfermedades del bosque nativo, pero en este caso a nivel de hojas, se realizaron mediciones espectroradiométricas de ellas. En particular, se midieron las firmas espectrales en el rango del visible e infrarrojo cercano, y a partir de ellas se obtuvieron los correspondientes índices espectrales.

Firmas espectrales

Se han medido las reflectancias de hojas utilizando un espectroradiómetro portátil que procesa y registra datos de radiación electromagnética entre los 400 y 900 nm (visible e infrarrojo cercano), con un intervalo de 1 nm. Los resultados corresponden a las *firmas espectrales* de las hojas.

A continuación, como ejemplo de las firmas espectrales obtenidas en las áreas de muestreo (Figura 36), se presentan un par de casos. El total de firmas espectrales superan las 300 muestras.

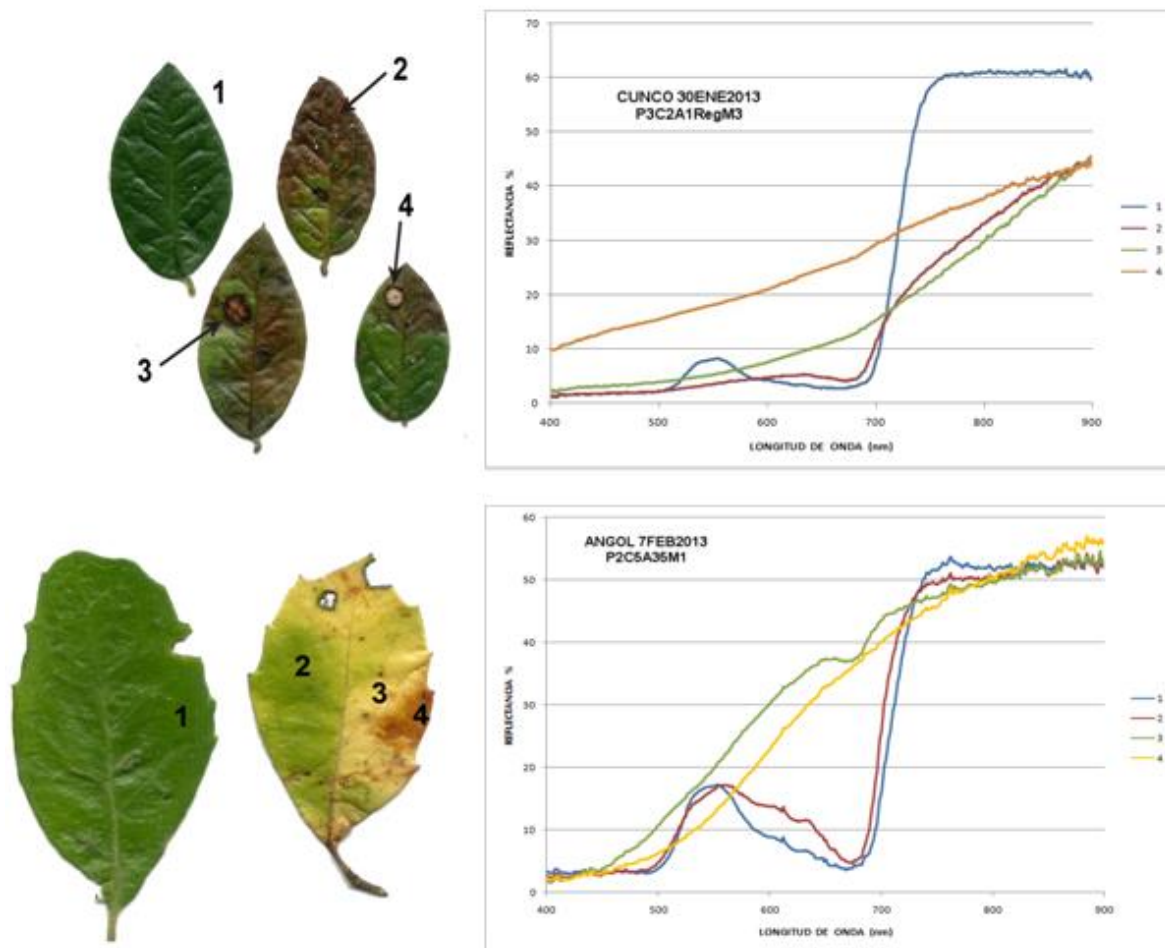


Figura 36. Ejemplo de algunas firmas espectrales en longitud de onda 400-900 nm.

Índices de vegetación.

Los índices de vegetación son combinaciones de la reflectancia en dos o más longitudes de onda (o anchos de banda) en el rango del visible e infrarrojo cercano y medio, escogidas para resaltar alguna propiedad particular de la vegetación, relacionada por ejemplo con la abundancia de pigmentos o el déficit de agua en los tejidos.

En particular en el presente estudio se han utilizado cuatro índices diseñados para proveer una medida de la cantidad y calidad del material fotosintético de la vegetación, fundamental para establecer el estado fenológico del vegetal.

Estos índices son:

a) Normalized Difference Vegetation Index – NDVI (Mand *et al.*, 2009). Este índice espectral está acotado en sus valores entre -1.0 y 1.0. En general todo elemento con contenido de material orgánico presenta valores sobre cero. Mientras más cercano a 1.0, en el caso de espectros de hojas, mejor será la condición del vegetal. La expresión para el cálculo del NDVI es:

$$NDVI = \frac{R_{IC} - R_R}{R_{IC} + R_R}$$

R_R = reflectancia en 680 nm , R_{IC} = reflectancia en 780 nm

b) Simple Ratio Index – SR (Sims and Gamon, 2002). El rango normal de valores para la vegetación va de 1.0 a 8.0, dependiendo de su especie. En el caso de *Nothofagus* valores sobre 3.0 representan hojas posibles de ser clasificadas como sanas. La expresión para el cálculo del SR es:

$$SR = \frac{R_{IC}}{R_R}$$

R_R = reflectancia en 691 nm , R_{IC} = reflectancia en 709 nm

c) Valor medio en la banda 675 a 691 nm (modificado de Sims and Gamon, 2003). El rango de valores para este índice es de 0.0 a 1.0. En particular para el caso de *Nothofagus* valores menores a 0.06 son posibles de ser clasificados como hojas sanas.

$$\frac{1}{16} \sum_{\lambda=675}^{691} R_{\lambda}$$

R_{λ} = reflectancia en la longitud de onda λ

d) Valor medio en la banda 710 a 740 nm (modificado de Sims and Gamon, 2003). El rango de valores para este índice es de 0.0 a 1.0. En particular para el caso de *Nothofagus* valores menores a 0.4 son posibles de ser clasificados como hojas sanas.

$$\frac{1}{30} \sum_{\lambda=710}^{740} R_{\lambda}$$

R_{λ} = reflectancia en la longitud de onda λ

Como ejemplo de la utilidad de las mediciones espectralradiométricas en el monitoreo de especies vegetales, se presenta a continuación un conjunto de seis hojas correspondientes a la especie *Nothofagus obliqua* (Figura 37) y que aparentemente tienen en el rango visible características similares. La única que se observa con un claro avance de daño es la número seis.

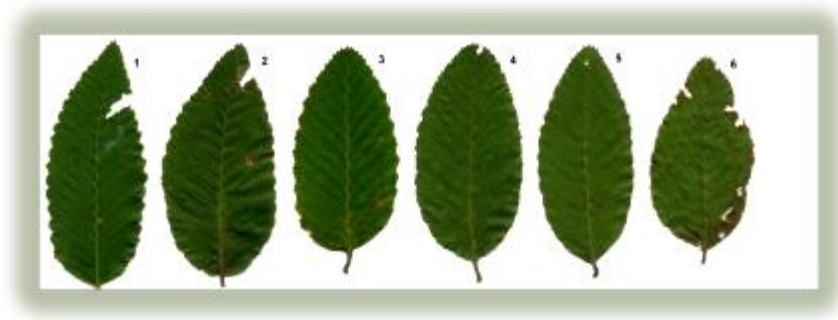


Figura 37. Hojas de Raulí ordenadas para mediciones espectralradiométrica

Las firmas espectrales (Figura 38) de estas hojas entregan información adicional, demostrando que todas ellas presentan diferencias espectrales, tanto en el visible (que en muchos casos no es fácil de captar a simple vista) como en el infrarrojo cercano.

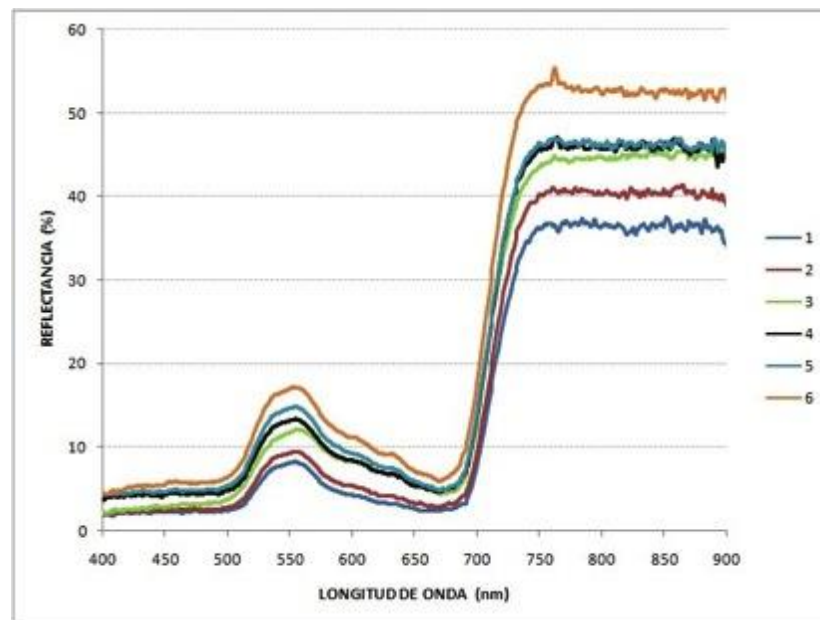


Figura 38. Firmas espectrales de hojas de Raulí, Sector Puesco.

El resultado de los índices espectrales (Cuadro 17) clasifican las hojas dentro de un rango que es posible indicar como sanas, pero nos permiten corroborar que coincidentes con el orden numérico, también se presenta un déficit o un leve deterioro en sus condiciones sanitarias.

Cuadro 17. Resultados de los índices espectrales de las seis hojas del ejemplo.

	1	2	3	4	5	6
NDVI 780-680	0.867	0.854	0.811	0.799	0.795	0.773
SR 709/691	4.509	3.792	3.293	3.167	3.050	2.765
prom 710-740	0.268	0.302	0.345	0.360	0.364	0.428
prom 675-691	0.029	0.036	0.052	0.057	0.058	0.076

Mediciones espectralradiométricas.

En esta actividad se buscó relacionar las firmas espectrales de las muestras recolectadas en los tres sectores en estudio (Angol, Cunco, Puesto), con diferentes condiciones sanitarias de las hojas. En particular se seleccionaron las firmas espectrales que representen diferentes situaciones de daño en la especie *Nothofagus*. Los resultados entregan tres conjuntos posibles, según sea el agente externo que genera el daño:

a) *Aureobasidium* sp. Patógeno

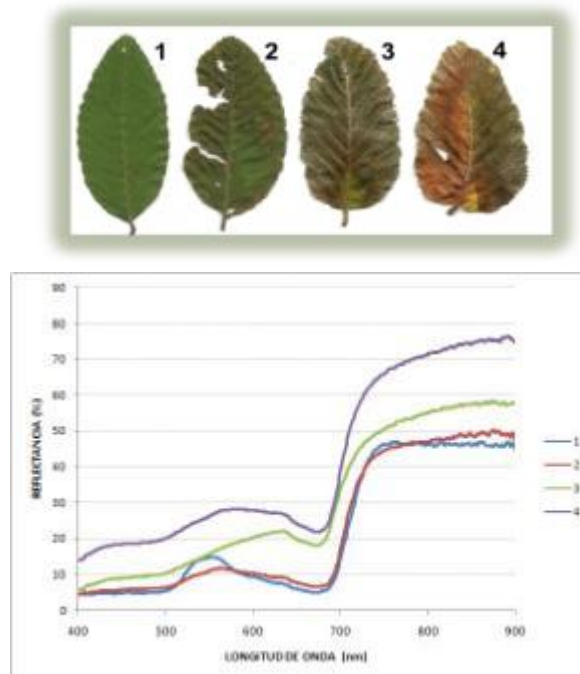


Figura 39. Firmas espectrales de hojas con *Aureobasidium* sp. Patógeno

Cuadro 18. Resultados de los índices espectrales de hojas con *Aureobasidium* sp. Patógeno

	1	2	3	4
NDVI 780-680	0.795	0.749	0.477	0.516
SR 709/691	3.050	2.884	1.537	1.740
prom 710-740	0.364	0.372	0.454	0.584
prom 675-691	0.058	0.073	0.206	0.237

- b) Daño gradual o gradiente de daño. Nivel 2 corresponde a *Trichoderma* sp. Biocontrolador, mientras que el nivel 4 corresponde a *Alternaria* sp.

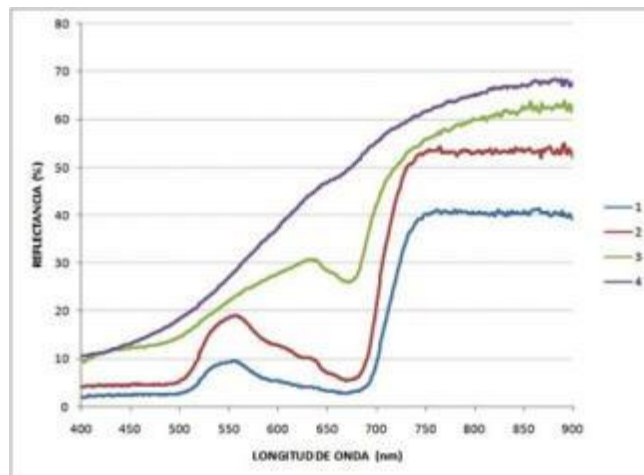
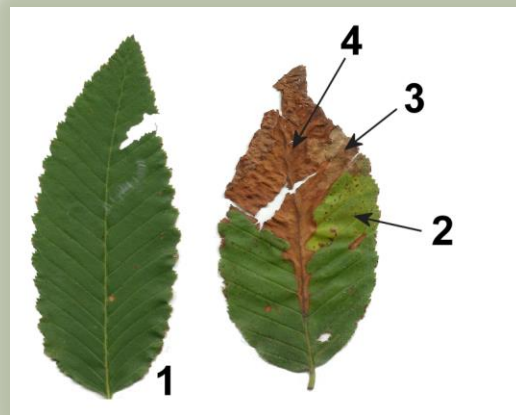


Figura 40. Firma espectral de hojas con *Trichoderma* sp. (2) y *Alternaria* sp. (4)

Cuadro 19. Índices espectrales de hojas con *Trichoderma* sp. (2) y *Alternaria* sp. (4)

	1	2	3	4
NDVI 780-680	0.854	0.792	0.362	0.109
SR 709/691	3.792	3.180	1.313	1.063
prom 710-740	0.302	0.455	0.513	0.589
prom 675-691	0.036	0.072	0.298	0.519

c) Daños por acción de orugas y/o insectos.



	1	2
NDVI 780-680	0.824	0.078
SR 709/691	3.442	1.039
prom 710-740	0.395	0.475
prom 675-691	0.054	0.437

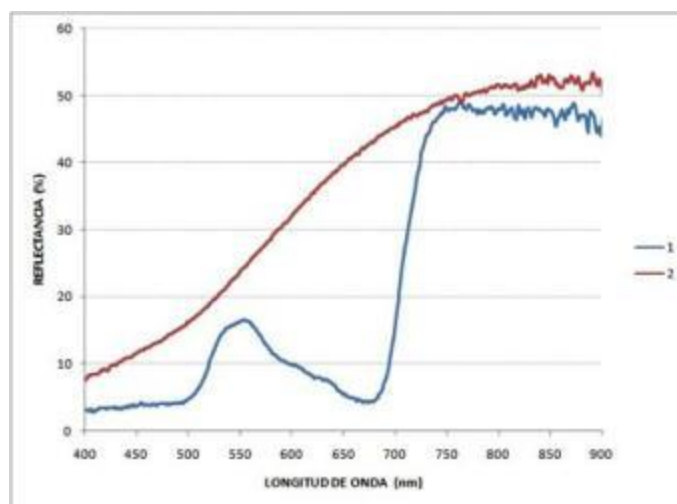
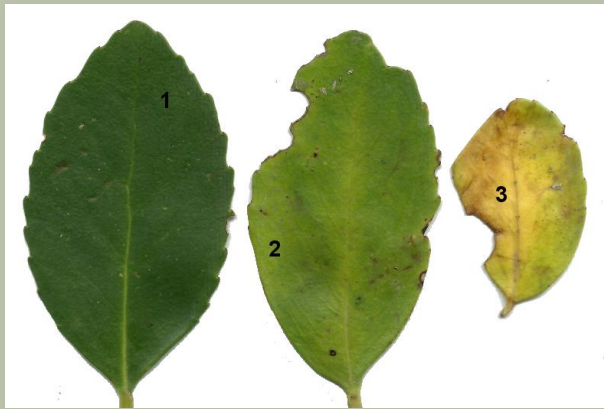


Figura 41. Firma espectral de hojas con daño por oruga y/o insectos

Los resultados de las firmas espectrales indican claras diferencias entre una hoja sana y una afectada por diferentes agentes de daño asociados a especies de *Nothofagus*.

4.- Otros resultados obtenidos de las mediciones de firmas espectrales y su relación con agentes de daño.

a) *Trichoderma* sp. Biocontrolador



	1	2	3
NDVI 780-680	0.839	0.735	0.155
SR 709/691	3.410	2.582	1.089
prom 710-740	0.427	0.512	0.372
prom 675-691	0.057	0.106	0.307

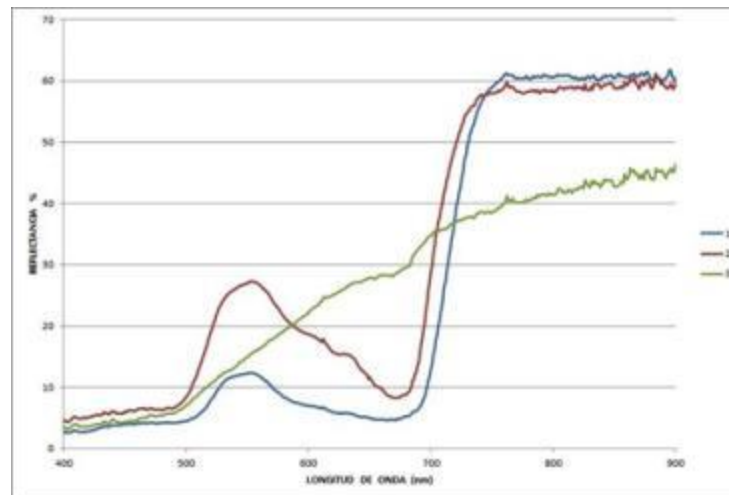


Figura 42. Firma espectral de hojas con *Trichoderma* sp.

b) *Aureobasidium* sp. Patógeno



	1	2
NDVI 780-680	0.772	0.720
SR 709/691	2.924	2.636
prom 710-740	0.364	0.380
prom 675-691	0.067	0.083

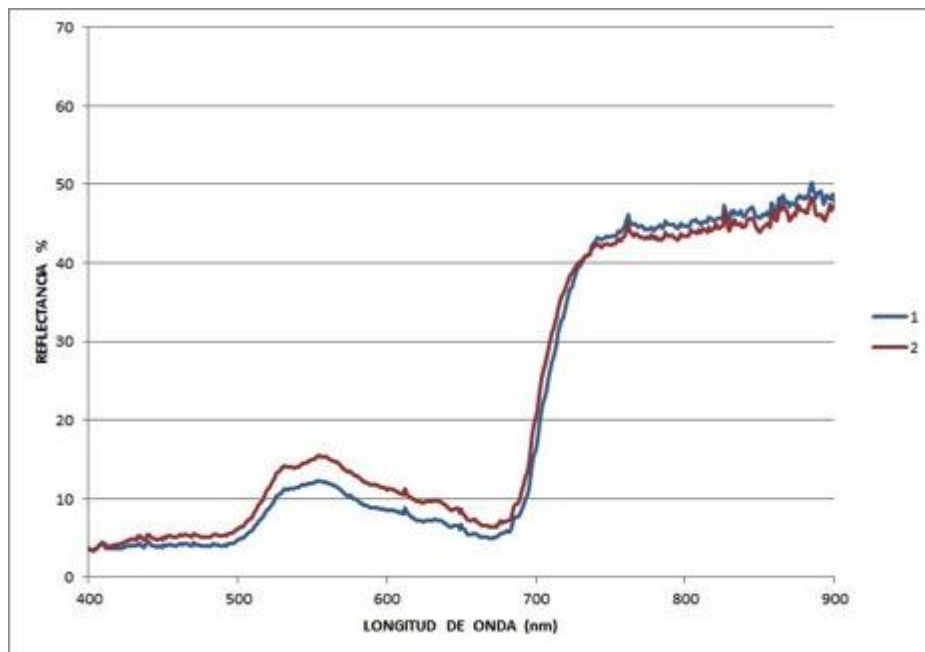


Figura 43. Firma espectral de hojas de *Nothofagus obliqua* con *Aureobasidium* sp. Patógeno

a) *Aureobasidium* sp. Patógeno



	1	2
NDVI 780-680	0.802	0.761
SR 709/691	2.936	2.880
prom 710-740	0.368	0.377
prom 675-691	0.059	0.068

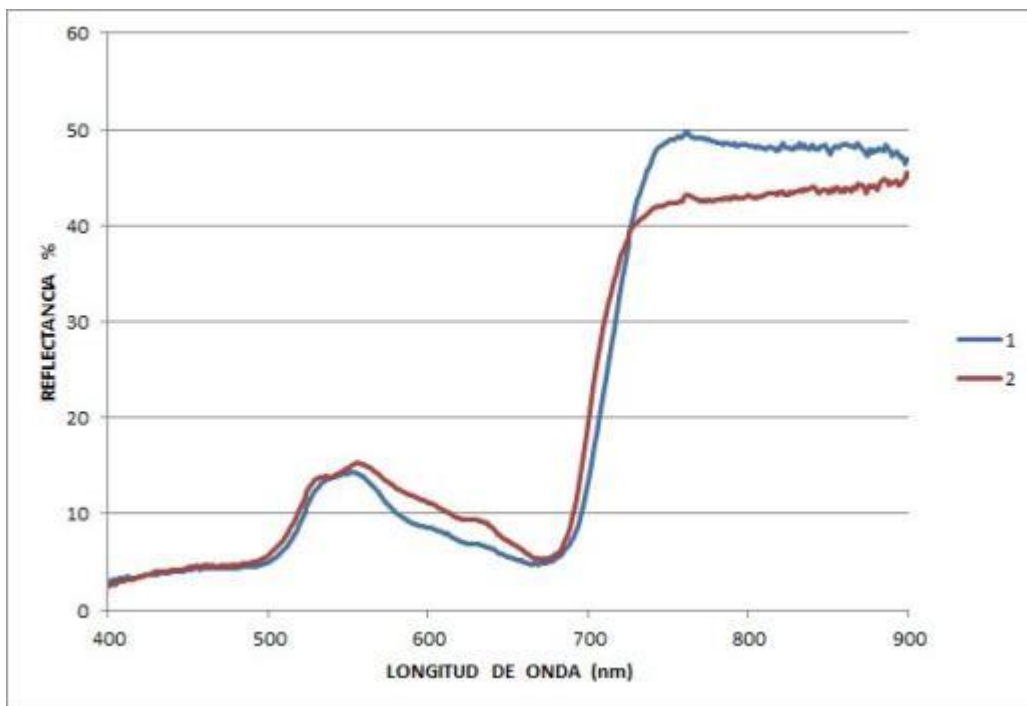


Figura 44. Firma espectral de hojas con *Aureobasidium* sp. Patógeno

a) *Aureobasidium* sp. Patógeno



	1	2
NDVI 780-680	0.942	0.776
SR 709/691	6.138	2.629
prom 710-740	0.343	0.527
prom 675-691	0.018	0.095

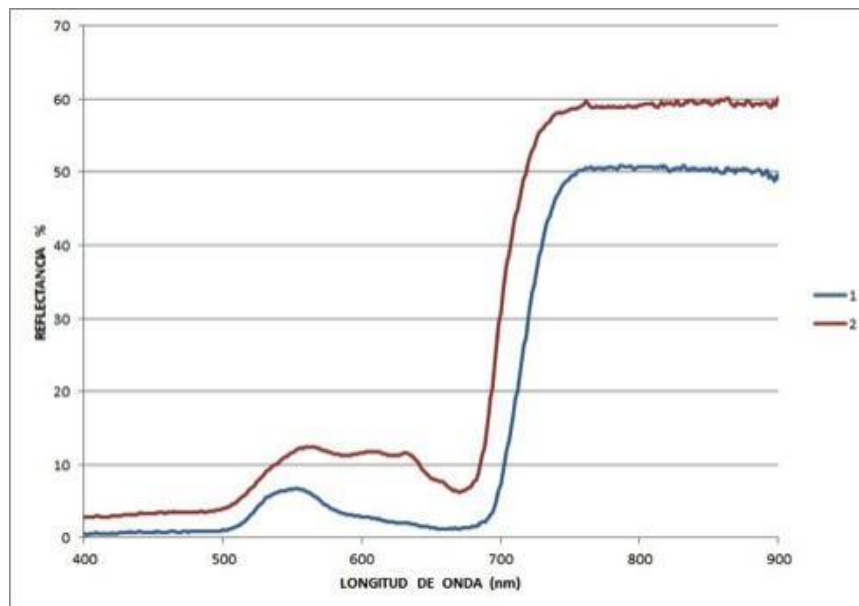
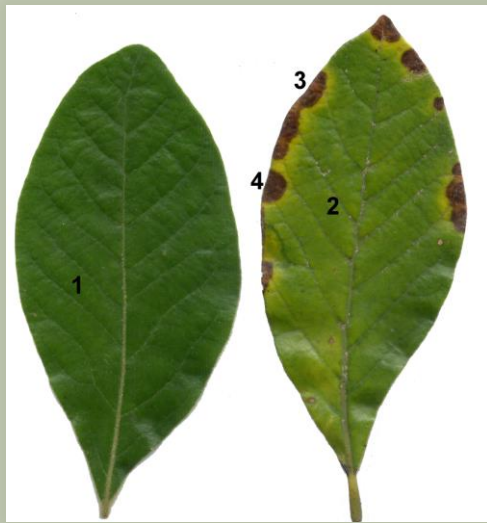


Figura 45. Firma espectral de hojas de *Guevuina avellana* con *Aureobasidium* sp. Patógeno

b) *Trichoderma* sp. Biocontrolador (nivel 2), *Ulocladium* sp. Patógeno (nivel 3 y 4)



	1	2	3	4
NDVI 780-680	0.868	0.863	0.325	0.356
SR 709/691	3.993	4.082	1.147	1.147
prom 710-740	0.358	0.323	0.165	0.162
prom 675-691	0.039	0.035	0.121	0.115

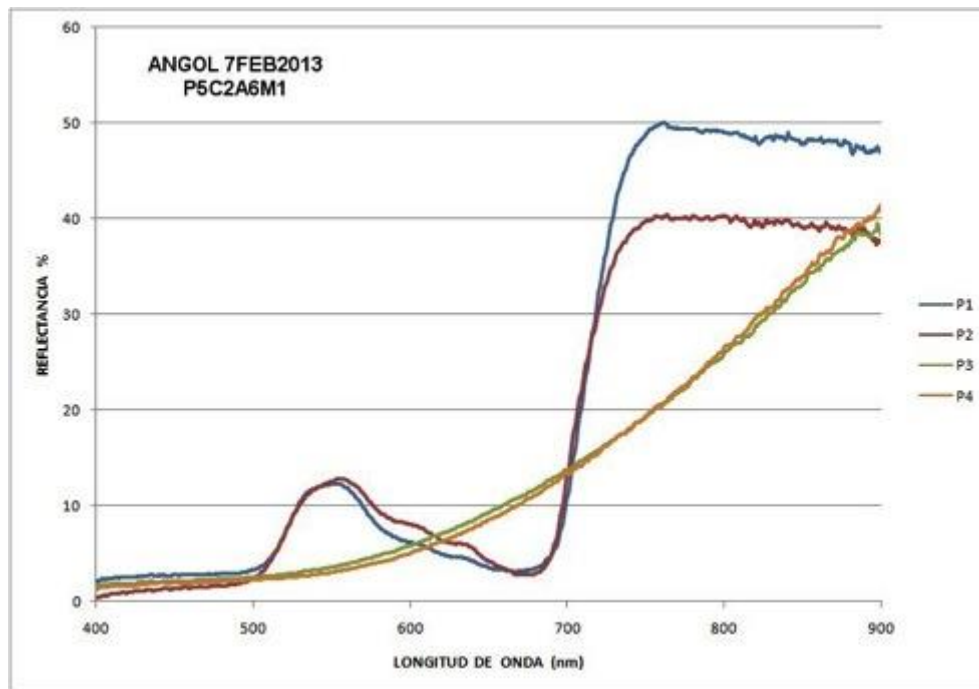


Figura 46. *Trichoderma* sp. Biocontrolador (nivel P2), *Ulocladium* sp. Patógeno (nivel P3 y P4)

Procesamiento de Imágenes Satelitales

Para el desarrollo de la espectroradiometría se requiere contar con instrumental, un gran número de imágenes satelitales y personal calificado en ambos temas, para el trabajo espectroradiométrico explicado en los capítulos anteriores se realizó la selección de imágenes Satelitales ETM+ revisando el catálogo desde el 08/09/2012 hasta el 03/03/2013 para el sector de Angol (Path 233 Row 86) y el Sector de Cunco y Puesco (Path 233 Row 87).

De esta forma, con las imágenes disponibles se pudo analizar un período de 7 meses en las variaciones de las firmas espectrales de los rodales estudiados.

Las imágenes fueron convertidas a Radiancia y a Reflectancia con un módulo desarrollado en lenguaje de Programación IDL del Programa ENVI de procesamiento de imágenes. Posteriormente fueron corregidas atmosféricamente mediante el módulo FLAASH de ENVI, y de esta forma con las correcciones radiométricas y atmosféricas las firmas y los índices Vegetacionales pueden ser comparadas para un análisis multitemporal. Si bien las imágenes ETM+ presentan pérdidas de información (GAPS) que se presentan de manera alternada en las escenas, se logró analizar más del 60% de la superficie de los rodales estudiados. En la Figura 47 se muestra un recorte de las escenas 233-086, para el renoval de *Nothofagus obliqua* del sector de Angol y en la Figura 48, recortes de escenas ETM+ 233-087 para el renoval de *Nothofagus alpina*, Sector Puesco y renoval de *Nothofagus dombeyi*, Sector Cunco

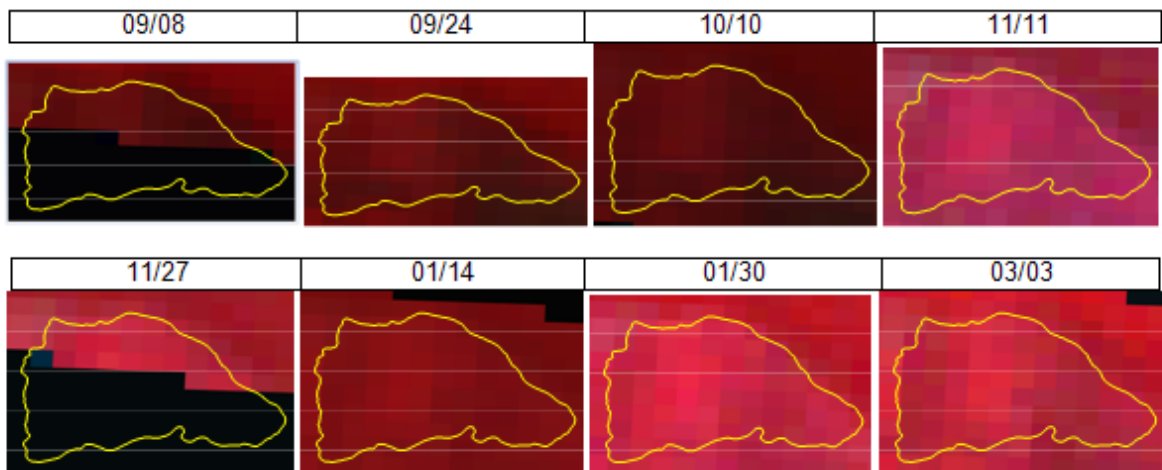


Figura 47. Recorte de escenas ETM+ para el Renoval de Roble, Sector Angol.

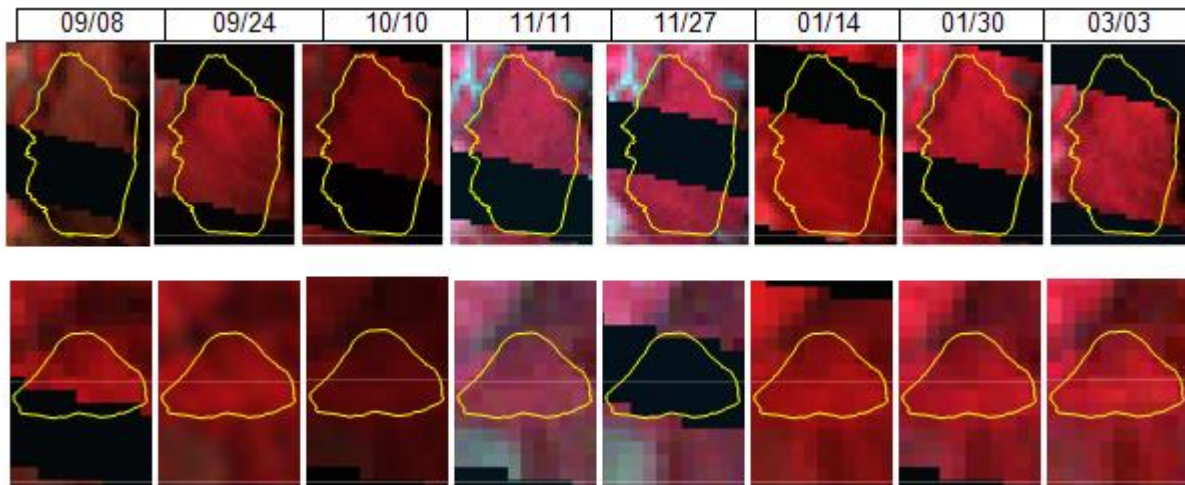
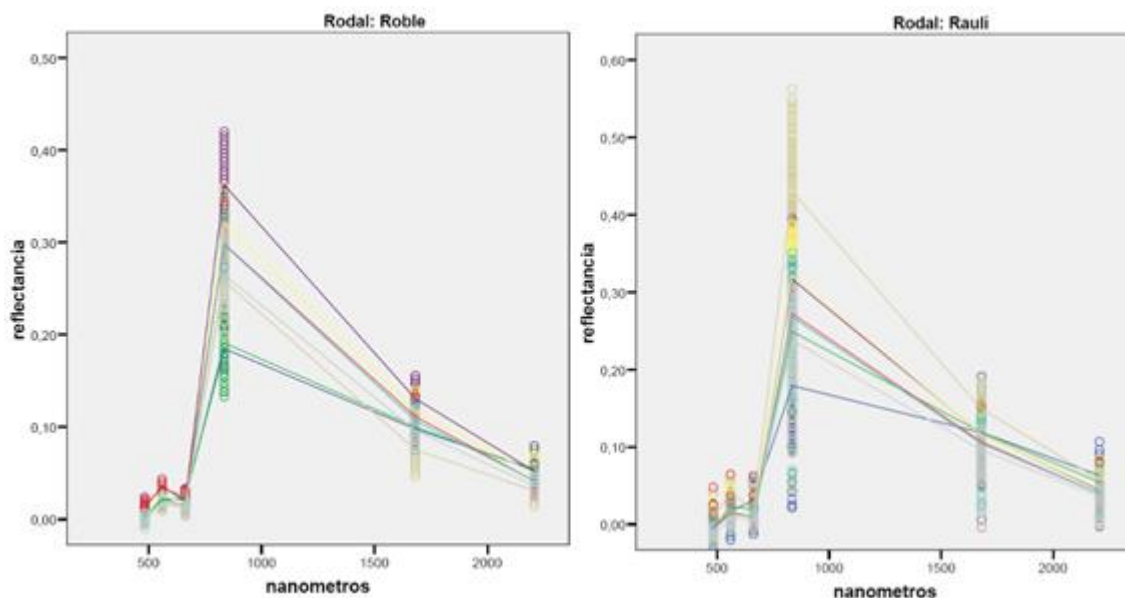


Figura 48. Recortes de escenas ETM+ 233-087 para el renovo de *Nothofagus alpina*, Sector Puesco y renovo de *Nothofagus dombeyi*, Sector Cunco.

Análisis temporal de firmas espectrales

En la Figura 49 se muestran las firmas espectrales obtenidas para cada uno de los rodales. Posteriormente se muestran los análisis estadísticos, con verificación del supuesto de normalidad mediante la prueba no paramétrica Kolmogorov-Smirnov y Análisis de Varianza para determinar diferencias significativas entre fechas de las escenas, para cada banda en particular y comparación de medias con grupos homogéneos.



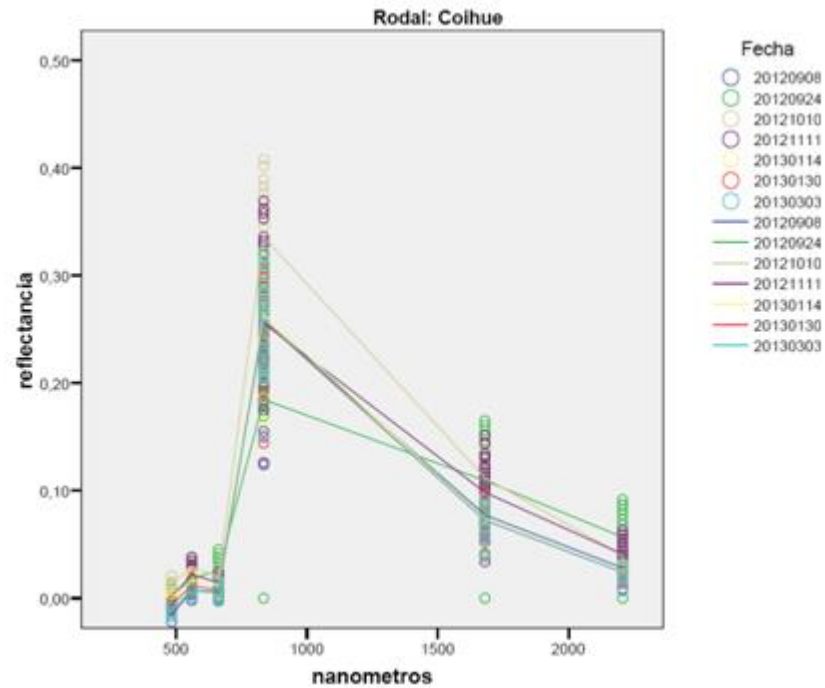


Figura 49. Firmas espectrales por fecha, para los renovales de Roble, Raúl y Coihue.

Análisis Estadístico de las firmas espectrales.

Se verificó supuesto de normalidad de los datos de Reflectancia mediante la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov, con un nivel de significancia de 0,05. Posteriormente se efectuó un Análisis de Varianza y Comparación de grupos homogéneos con la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0,05. En el Cuadro 20 se entregan los estadígrafos y grupos homogéneos para el renoval de Roble.

Cuadro 20. Reflectancia media ± Desv. Estándar para la comparación de grupos homogéneos de fechas, por bandas (nanómetros) para el rodal de Roble, Sector Angol.

Banda (nm)	20120908	20120924	20121010	20121111	20121127	20130114	20130130	20130303
483	CD 0,005 ± 0,004	C 0,005 ± 0,003	CD 0,004 ± 0,003	B 0,013 ± 0,003	CDE 0,004 ± 0,002	A 0,015 ± 0,003	E 0,002 ± 0,002	DE 0,002 ± 0,001
560	CD 0,02 ± 0,005	C 0,023 ± 0,004	D 0,019 ± 0,005	A 0,036 ± 0,003	B 0,026 ± 0,003	A 0,034 ± 0,002	C 0,021 ± 0,003	E 0,016 ± 0,003
662	AB 0,023 ± 0,005	BC 0,021 ± 0,005	FG 0,013 ± 0,004	CD 0,02 ± 0,004	DE 0,017 ± 0,004	A 0,024 ± 0,003	EF 0,015 ± 0,003	G 0,013 ± 0,003
835	E 0,185 ± 0,028	E 0,191 ± 0,032	D 0,258 ± 0,021	A 0,362 ± 0,025	B 0,321 ± 0,021	C 0,298 ± 0,02	C 0,297 ± 0,023	D 0,265 ± 0,025
1680	D 0,098 ± 0,015	D 0,1 ± 0,013	E 0,075 ± 0,018	A 0,131 ± 0,011	B 0,118 ± 0,012	BC 0,111 ± 0,01	C 0,107 ± 0,01	D 0,096 ± 0,011
2206	A 0,054 ± 0,011	A 0,053 ± 0,01	D 0,031 ± 0,01	A 0,052 ± 0,007	A 0,049 ± 0,009	B 0,041 ± 0,006	B 0,042 ± 0,006	C 0,036 ± 0,005

Respecto a las variables fitosanitarias del follaje, los porcentajes de defoliación en la primera medición pasaron de un 70% de los árboles muestras con un porcentaje de defoliación entre 1 y 20%, a un 77.8% de los árboles muestras con un porcentaje entre 21 y 40% de defoliación en la última remediación.

Para el rodal de Roble, se comprobaron diferencias significativas para todas escenas en cada una de las bandas. Sin embargo centraremos el análisis en las últimas tres escenas (20130114, 20130130 y 20130303) más cercanas a las fechas de las remediciones en terreno, realizadas desde el 08/01/2013 al 23/04/2013.

Para las bandas del rango visible (484 a 662 nm), se observan diferencias significativas en las tres fechas. Como se mencionó anteriormente, los porcentajes de clorosis se mantuvieron constantes para los sectores. Esto podría estar indicando que la clasificación subjetiva de las categorías de clorosis que realice un profesional en terreno puede ser fuente de error por aplicar un criterio subjetivo o que las categorías definidas en son inapropiadas.

En las bandas del infrarrojo (835 a 2206 nm) no se detectaron diferencias significativas en las escenas de enero, pero estas se diferenciaron respecto de la escena de marzo (20130303). De acuerdo a las mediciones espectralradiométricas obtenidas en laboratorio, para un grupo de hojas aparentemente sanas, la firma espectral cambia y presenta diferencias estadísticamente significativas e imperceptibles a la vista del ser humano.

Este cambio en las bandas del infrarrojo estaría indicando un cambio desde el estado vivo/sano del árbol al estado seco/muerto. Para esto se debería continuar estudiando las variaciones detectadas mediante espectroradiometría en *Nothofagus*, asociados a cambios fisiológicos que presentes los árboles.

En el Cuadro 21 se entregan los estadígrafos y grupos homogéneos para el renoval de Raulí.

Cuadro 21. Reflectancia media \pm Desv. Estándar para la comparación de grupos homogéneos de fechas, por bandas (nanómetros) para el rodal de Raulí, Sector Puesco.

Banda (nm)	20120908	20120924	20121010	20121111	20121127	20130114	20130130	20130303
483	B 0,002 \pm 0,004	B 0,003 \pm 0,001	A 0,009 \pm 0,005	AB 0,006 \pm 0,007	A 0,01 \pm 0,01	B 0,004 \pm 0,008	AB 0,004 \pm 0,005	
560	C 0,018 \pm 0,009	B 0,023 \pm 0,007	A 0,041 \pm 0,008	0,016 \pm 0,003	CD 0,017 \pm 0,006	DE 0,015 \pm 0,005	E 0,014 \pm 0,004	F 0,008 \pm 0,004
662	A 0,032 \pm 0,013	B 0,019 \pm 0,006	B 0,018 \pm 0,005	C 0,009 \pm 0,003	C 0,01 \pm 0,006	C 0,01 \pm 0,005	C 0,009 \pm 0,003	D 0,007 \pm 0,003
835	E 0,179 \pm 0,042	D 0,249 \pm 0,056	A 0,43 \pm 0,082	B 0,317 \pm 0,048	B 0,322 \pm 0,059	C 0,272 \pm 0,026	C 0,268 \pm 0,045	D 0,238 \pm 0,044
1680	B 0,118 \pm 0,036	B 0,119 \pm 0,023	A 0,149 \pm 0,024	B 0,116 \pm 0,016	B 0,116 \pm 0,018	C 0,107 \pm 0,013	C 0,104 \pm 0,019	D 0,097 \pm 0,018
2206	A 0,063 \pm 0,02	C 0,055 \pm 0,011	B 0,057 \pm 0,009	D 0,044 \pm 0,006	D 0,046 \pm 0,007	E 0,04 \pm 0,006	E 0,039 \pm 0,007	F 0,036 \pm 0,008

En el muestreo fitosanitario, el 80% de los árboles muestras se mantuvo en la categoría 2 (verde pálido) casi constante durante las primeras tres mediciones y el porcentaje de defoliación estuvo representado en un 72% de los árboles muestras para la categoría 1 (No presenta síntomas).

Si bien los valores de reflectancia de las bandas del rango visible presentaron diferencias estadísticamente significativas, en las tres escenas, al igual que en Roble, en enero las bandas del infrarrojo no resultaron diferentes, pero si mostraron diferencias respecto a marzo. En los grupos homogéneos se puede inferir claramente que las variaciones de Raulí son menores que las de Roble, y que estos grupos se mantienen para todas las bandas del infrarrojo.

En el Cuadro 22 se entregan los estadígrafos y grupos homogéneos para el renoval de Coihue.

Cuadro 22. Reflectancia media \pm Desv. Estándar para la comparación de grupos homogéneos de fechas, por bandas (nanómetros) para el rodal de Coihue, Sector Cunco.

Banda (nm)	20120908	20120924	20121010	20121111	20130114	20130130	20130303
483		B 0,003 \pm 0,004	A 0,014 \pm 0,005	B 0,003 \pm 0,002	B 0,001 \pm 0,002		
560	DE 0,007 \pm 0,004	C 0,018 \pm 0,009	A 0,028 \pm 0,005	B 0,022 \pm 0,008	C 0,017 \pm 0,004	D 0,011 \pm 0,003	E 0,007 \pm 0,003
662	D 0,006 \pm 0,004	A 0,026 \pm 0,013	B 0,021 \pm 0,004	C 0,015 \pm 0,005	C 0,013 \pm 0,003	D 0,008 \pm 0,003	D 0,007 \pm 0,003
835	C 0,259 \pm 0,044	B 0,185 \pm 0,069	A 0,336 \pm 0,044	B 0,256 \pm 0,058	B 0,263 \pm 0,035	B 0,258 \pm 0,037	B 0,259 \pm 0,038
1680	B 0,077 \pm 0,015	A 0,109 \pm 0,046	A 0,112 \pm 0,016	A 0,098 \pm 0,025	B 0,074 \pm 0,01	B 0,073 \pm 0,012	B 0,073 \pm 0,012
2206	C 0,028 \pm 0,006	A 0,057 \pm 0,026	B 0,04 \pm 0,007	B 0,041 \pm 0,011	C 0,024 \pm 0,004	C 0,024 \pm 0,004	C 0,024 \pm 0,006

En el muestreo fitosanitario, en las variables fitosanitaria del follaje, la clorosis cambio del 64% de los árboles muestra en la categoría 1 (no presenta síntomas) al 93% de los árboles en la categoría 2 (verde pálido). Sin embargo, se puede observar que el renoval de Coihue no presenta diferencias significativas en las bandas del infrarrojo, es decir no presentó cambios en las condiciones sanitarias producto de plagas o enfermedades durante el periodo de remedaciones en terreno. De las tres especies estudiadas, en el rango visible se puede apreciar que Coihue es el que presenta menos variaciones en las bandas visibles verde (560nm) y rojo (662nm) y que los cambios entre escenas son más graduales, por ejemplo en el verde pasando del grupo C en la escena 20130114, al grupo D y después al grupo E en marzo. En la banda del rojo también el cambio es más gradual que en las otras dos especies de *Nothofagus*.

Análisis de factores topográficos y climáticos modelados en SIG, con la presencia de plagas y enfermedades que afectan al bosque nativo de *Nothofagus*.

Como se indicó anteriormente, en las remedaciones de las parcelas permanentes no se identificaron grandes problemas de presencia de plagas, a excepción de *Hylamorpha elegans* (Burmeister) que estaría causando algunos problemas de defoliación, pero como no se ha realizado una evaluación económica, no se podría definir si correspondería efectivamente a una plaga en renovales de Roble. Así, los mayores porcentajes que se presentaron corresponden a las variables del estado fitosanitario del follaje, específicamente en defoliación y clorosis. A continuación se entregan los resultados obtenidos para el cumplimiento de este objetivo.

Para el modelamiento de los factores topográficos (Altitud, Exposición y Pendiente) se utilizaron los Modelos Digitales de Elevación ASTER GDEM¹

En la Figura 50 se muestran los mapas de altitud, porcentaje de pendiente y exposición.

¹ “ASTER GDEM es un producto de METI y NASA

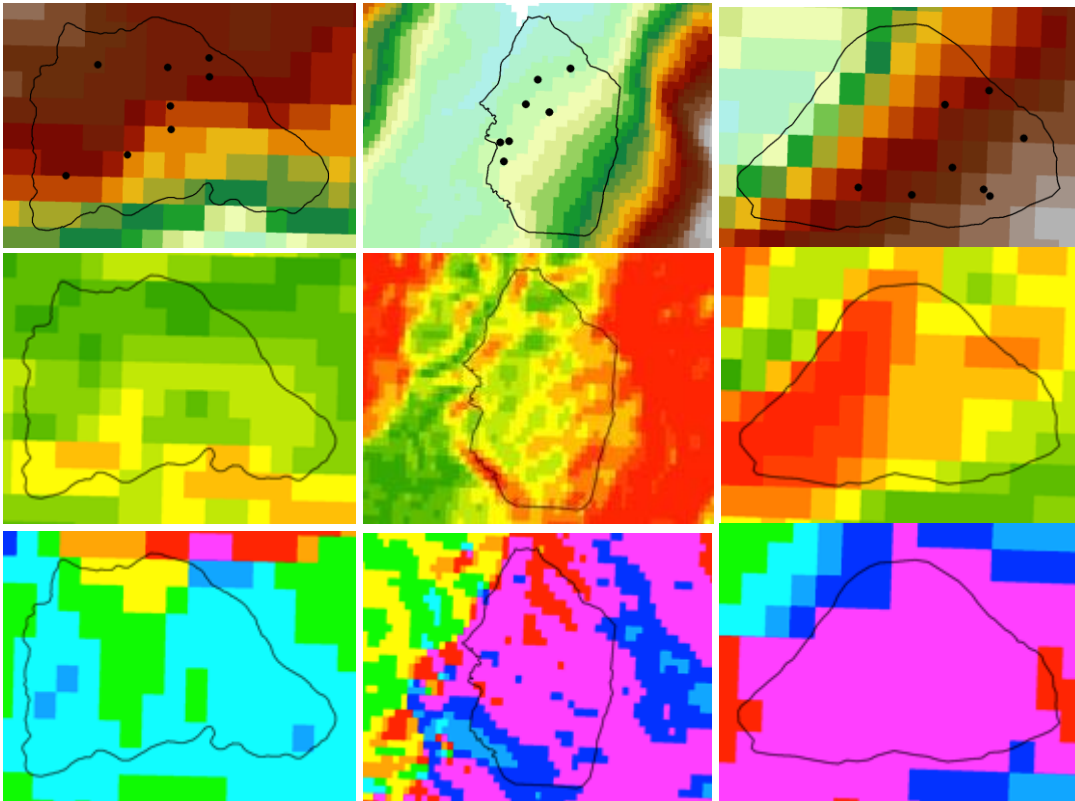


Figura 50. Mapas de Altitud, Porcentaje de Pendiente y Exposición para los rodales de Roble, Raúl y Coihue.

Los archivos del MDE se buscaron en <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/> y se descargan en formato ZIP, y corresponden a las siguientes hojas, según se identifican en el Cuadro 23:

Cuadro 23. Archivos de Modelos Digitales de Elevación por sector

Sector	Archivo	Localización
Angol	ASTGTM2_S38W071.zip	S38-S37, W073-W072
Cunco	ASTGTM2_S39W072.zip	S39-S38, W072-W071
Puesco	ASTGTM2_S40W072.ZIP	S40-S39, W072-W071

Los valores de T°min, max, media, precipitación se grafican en la Figura 51 y en el Cuadro 24 se muestran los mismos parámetros y se incluye también la Humedad relativa en porcentaje.

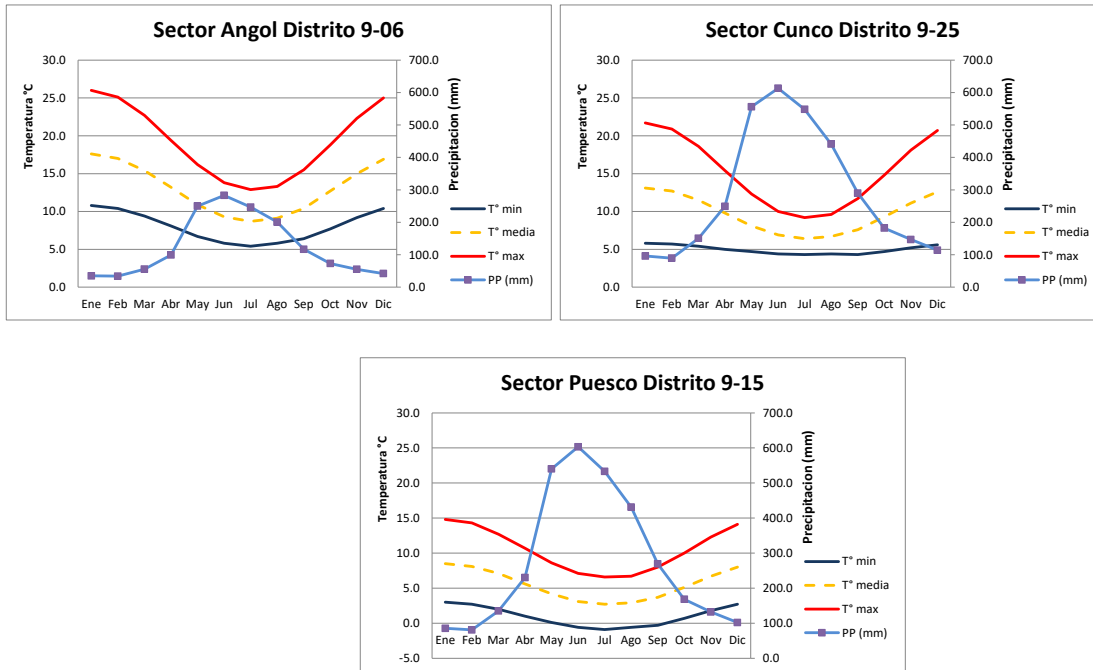


Figura 51. Gráficos de precipitación y temperaturas min, media y máxima por sector.

Cuadro 24. Antecedentes climáticos para los distritos correspondientes a los 3 sectores.

mes	Angol Roble Distrito 9-06					Puesco Raulí Distrito 9-15					Cunco Coihue Distrito 9-25				
	T° min	T° media	T° max	PP (mm)	H.rel (%)	T° min	T° media	T° max	PP (mm)	H.rel (%)	T° min	T° media	T° max	PP (mm)	H.rel (%)
Ene	10.8	17.6	26.0	35.0	74.0	5.8	13.1	21.7	96.0	60.0	3.0	8.5	14.8	85.5	51.0
Feb	10.4	17.0	25.1	33.9	75.0	5.7	12.7	20.9	89.6	61.0	2.7	8.1	14.3	81.0	52.0
Mar	9.4	15.4	22.7	55.6	78.0	5.4	11.5	18.6	150.7	64.0	2.0	7.1	12.7	135.0	56.0
Abr	8.1	13.2	19.4	99.1	81.0	5.0	9.8	15.4	249.3	67.0	1.0	5.6	10.7	230.1	61.0
May	6.7	10.9	16.2	249.9	85.0	4.7	8.1	12.3	556.1	71.0	0.1	4.2	8.6	540.3	65.0
Jun	5.8	9.3	13.8	282.9	87.0	4.4	6.9	10.0	613.1	73.0	-0.6	3.1	7.1	603.3	69.0
Jul	5.4	8.7	12.9	246.9	88.0	4.3	6.4	9.2	548.1	74.0	-0.9	2.7	6.6	533.3	70.0
Ago	5.8	9.1	13.3	200.9	87.0	4.4	6.7	9.6	441.1	73.0	-0.6	2.9	6.7	431.2	68.0
Sep	6.4	10.4	15.5	117.0	84.0	4.3	7.6	11.7	290.0	70.0	-0.3	3.7	8.0	269.1	65.0
Oct	7.7	12.7	18.8	73.0	80.0	4.7	9.3	14.8	182.0	66.0	0.7	5.1	10.0	168.1	60.0
Nov	9.2	15.0	22.3	55.0	77.0	5.2	11.1	18.1	147.0	63.0	1.8	6.7	12.3	132.1	55.0
Dic	10.4	16.9	25.0	42.0	75.0	5.6	12.6	20.7	114.0	61.0	2.7	8.0	14.1	102.0	52.0

Análisis de correlaciones parciales de Variables Fitosanitarias, Topográficas y Agroclimáticas.

Se evaluaron las correlaciones parciales entre las variables fitosanitarias del follaje (Defoliación y clorosis) con las variables agroclimáticas y topográficas (altitud, pendiente y exposición)

En Figura 52 se muestran la dispersión de los porcentajes de árboles por categorías de defoliación promedio para los tres sectores.

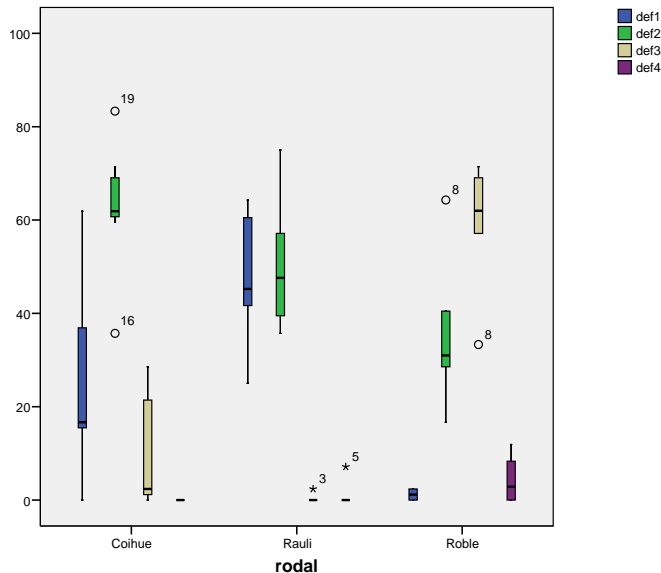


Figura 52. Gráfico de caja con representación de cuartiles, media y valores extremos.

Como se mencionó anteriormente, por la instalación de parcelas permanentes en tres sectores, las correlaciones y análisis de regresión, quedarían acotados a sólo tres distritos agroclimáticos, por lo tanto los resultados obtenidos corresponden a una primera aproximación a modo de análisis exploratorio.

En el Cuadro 25 se muestran las correlaciones parciales de las variables temperatura máxima (TMXM) y precipitación (PP) de los meses de enero, febrero y marzo con la variable Defoliación en las cuatro categorías. Se debe centrar la discusión en las variables correlacionadas con la Defoliación y omitir las correlaciones entre las variables climáticas, ya que por provenir del mismo modelamiento a nivel regional, presentarán buenos coeficientes de correlación, por lo tanto en los modelos de regresión ajustados sólo se incluirá una sola de cada variable climática.

Se observa en el Cuadro 25 que las variables de temperatura están autocorrelacionadas entre sí, al igual que las variables de precipitación, por lo que se mencionaba anteriormente.

Sin embargo, es interesante ver que los niveles Def1 (entre 1 y 20% de defoliación) y Def3 (entre 41 y 60% de defoliación) están bien correlacionadas con las variables de temperatura con un nivel de significancia del 0,01. Del mismo modo los niveles Def1, Def 2 (entre 21 y 40%) están bien correlacionadas con la precipitación, con niveles de significancia del 0,01.

Cuadro 25. Coeficiente de correlación de Pearson para correlaciones bivariadas de variables climáticas con porcentajes de Defoliación.

		Correlaciones									
		TMXM_01	TMXM_02	TMXM_03	PP_01	PP_02	PP_03	DEF1	DEF2	DEF3	DEF4
TMXM_01	Correlación de Pearson	1	1,000**	1,000**	-,658**	-,672**	-,664**	-,799**	-,239	,815**	,314
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,002	,001	,001	,000	,310	,000	,178
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
TMXM_02	Correlación de Pearson	1,000**	1	1,000**	-,662**	-,676**	-,668**	-,800**	-,242	,818**	,316
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,001	,001	,001	,000	,303	,000	,174
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
TMXM_03	Correlación de Pearson	1,000**	1,000**	1	-,680**	-,694**	-,686**	-,803**	-,256	,828**	,326
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,001	,001	,001	,000	,275	,000	,160
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
PP_01	Correlación de Pearson	-,658**	-,662**	-,680**	1	1,000**	1,000**	,630**	,596**	-,875**	-,518*
	Sig. (bilateral)	,002	,001	,001		,000	,000	,003	,006	,000	,019
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
PP_02	Correlación de Pearson	-,672**	-,676**	-,694**	1,000**	1	1,000**	,639**	,592**	-,881**	-,517*
	Sig. (bilateral)	,001	,001	,001	,000		,000	,002	,006	,000	,019
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
PP_03	Correlación de Pearson	-,664**	-,668**	-,686**	1,000**	1,000**	1	,633**	,595**	-,878**	-,518*
	Sig. (bilateral)	,001	,001	,001	,000	,000		,003	,006	,000	,019
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DEF1	Correlación de Pearson	-,799**	-,800**	-,803**	,630**	,639**	,633**	1	-,038	-,807**	-,323
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,003	,002	,003		,874	,000	,164
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DEF2	Correlación de Pearson	-,239	-,242	-,256	,596**	,592**	,595**	-,038	1	-,551*	-,565**
	Sig. (bilateral)	,310	,303	,275	,006	,006	,006	,874		,012	,009
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DEF3	Correlación de Pearson	,815**	,818**	,828**	-,875**	-,881**	-,878**	-,807**	-,551*	1	,525*
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,012		,018
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DEF4	Correlación de Pearson	,314	,316	,326	-,518*	-,517*	-,518*	-,323	-,565**	,525*	1
	Sig. (bilateral)	,178	,174	,160	,019	,019	,019	,164	,009	,018	
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

** - La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* - La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

A continuación se muestran los resultados de las correlaciones con variables topográficas y Humedad relativa (Cuadro 26).

Cuadro 26. Coeficiente de correlación de Pearson para correlaciones bivariadas de variables climáticas con porcentajes de Defoliación.

		Correlaciones								
		Altitud	pendiente	HRMM_01	HRMM_02	HRMM_03	DEF1	DEF2	DEF3	DEF4
Altitud	Correlación de Pearson	1	-,335	,628**	,628**	,652**	-,424	-,668**	,741**	,527*
	Sig. (bilateral)		,149	,003	,003	,002	,063	,001	,000	,017
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20
pendiente	Correlación de Pearson	-,335	1	,197	,197	,179	-,480*	,348	,195	-,029
	Sig. (bilateral)	,149		,405	,405	,449	,032	,133	,410	,903
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20
HRMM_01	Correlación de Pearson	,628**	,197	1	1,000**	,999**	-,808**	-,383	,905**	,411
	Sig. (bilateral)	,003	,405		,000	,000	,000	,095	,000	,072
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20
HRMM_02	Correlación de Pearson	,628**	,197	1,000**	1	,999**	-,808**	-,383	,905**	,411
	Sig. (bilateral)	,003	,405	,000		,000	,000	,095	,000	,072
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20
HRMM_03	Correlación de Pearson	,652**	,179	,999**	,999**	1	-,805**	-,399	,911**	,421
	Sig. (bilateral)	,002	,449	,000	,000		,000	,081	,000	,064
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DEF1	Correlación de Pearson	-,424	-,480*	-,808**	-,808**	-,805**	1	-,038	-,807**	-,323
	Sig. (bilateral)	,063	,032	,000	,000	,000		,874	,000	,164
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DEF2	Correlación de Pearson	-,668**	,348	-,383	-,383	-,399	-,038	1	-,551*	-,565**
	Sig. (bilateral)	,001	,133	,095	,095	,081	,874		,012	,009
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DEF3	Correlación de Pearson	,741**	,195	,905**	,905**	,911**	-,807**	-,551*	1	,525*
	Sig. (bilateral)	,000	,410	,000	,000	,000	,000	,012		,018
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DEF4	Correlación de Pearson	,527*	-,029	,411	,411	,421	-,323	-,565**	,525*	1
	Sig. (bilateral)	,017	,903	,072	,072	,064	,164	,009	,018	
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Como es de esperar, existen buenos coeficientes de correlación entre la altitud y la humedad relativa. Si bien la variable altitud proviene de fuentes de información distintas al estudio agroclimático, en este caso desde modelos digitales de elevación a una resolución espacial de 30m, es de esperar que también estén autocorrelacionadas.

Se presentan buenos coeficientes de correlación entre la altitud y las categorías de Def2 y Def3, al 0,01 de nivel de significancia. También se debe notar los altos coeficientes de correlación entre los niveles de Def1 y Def3 a un 0,01 de nivel de significancia.

Análisis de los resultados entomológicos del estudio.

Los resultados logrados en el estudio corroboran que los bosques de raulí de Puesto, coigüe de Curacalco Cunco y Angol no presentan actualmente daño por acción de plagas, sin embargo existen algunos insectos que merece el realizar los análisis y realizar medidas preventivas para evitar la proliferación y así una posible plaga . Se encuentran muy bien desde el punto de vista de insectos depredadores, parasitoides e insectos descomponedores de madera que aseguran una adecuada sanidad del bosque.

Desde el punto de vista de los insectos plaga, los principales corresponden a *Holopterus chilensis* en roble, *Cheloderus childreni* en coigüe dado que son insectos barrenadores de la madera haciendo inutilizable la primera troza comercial de árbol (Artigas, 1994, Arias, 2000; Díaz, 2010). Debe hacerse hincapié, que estos insectos no fueron encontrados al estado adulto en los bosques estudiados y, que su observación en los árboles correspondió a orificios de salida antiguos y algunos donde existía aserrín de las larvas de estas especies, que permitió diagnosticar su presencia.

En Raulí no se observó *Holopterus* al estado adulto, solamente se apreciaron galerías en troncos cortados presumiblemente corresponderían a la larva del insecto, en este respecto el único autor que considera que *Holopterus chilensis* ataca raulí corresponde a Artigas (1994). *Holopterus chilensis* y *Cheloderus childreni* según Rojas *et al.* (2010) y Lanfranco *et al.* (2002) son considerados barrenadores primarios de allí su importancia en estudiarlos en el proyecto (Anexo 3, Cuadro 1 y 2).

Otra especie de importancia en *Nothofagus*, lo constituye *Hylamopha elegans* (Anexo 3, Cuadro 2) insecto defoliador que aparece a finales de primavera y parte del verano (Artigas, 1994; Cerda *et al.*, 2002; Lanfranco, 2010), especie que fue encontrada en altas cantidades atraídos a la trampa de luz en los tres sectores en estudio. El daño estimado en nuestro estudio por adultos de esta especie está en un 30% aproximado de defoliación, ello es porque, no fue posible alcanzar las copas de los árboles, no permitiendo una evaluación exacta. En esta especie sus larvas atacan praderas (Cerda *et al.*, 2002) y dado que en las cercanías de los bosque en estudio existía praderas el insecto podía completar su ciclo en los árboles.

Respecto a los insectos benéficos (Anexo 3, Cuadro 2) existió una amplia gama de insectos con acción benéfica en el bosque, desde insectos que descomponen madera, polinizadores, hasta insectos estercoleros (Anexo 3, Cuadro 1, 2 y 31) hacen que los bosques estudiados estén un equilibrio perfecto, a menos, que sea alterado este equilibrio (Peña, 2006).

Además se observó la presencia de mariposas (polinizadoras) como *Mathania leucothea* (Anexo 3, Cuadro 1) que aunque la larva sea fitófaga, los adultos son polinizadores (Peña y Ugarte, 1997).

Cabe hacer mención que los bosque con estos componentes siempre estarán en un buen estado sanitario y serán perdurables en la medida que no sean perturbados con acciones como roces, introducción de plantas exóticas o animales domésticos (Alfaro, 2010).

Una sorpresa para el grupo de trabajo del proyecto lo constituyó el hecho, de que aparecieran ácaros como *Tetranychus urticae* (Anexo 3, Cuadro 1) (González, 1989, Prado 1991), que se conocen como plagas de cultivos agrícolas, causando un importante daño foliar que inclusive podría hacer caer la hoja antes de tiempo, o que afecta fuertemente la fotosíntesis del árbol, situación esta última que es necesaria de evaluar en otro proyecto. También aparecieron en los muestreos, ácaros depredadores de ácaros fitófagos como *T. urticae* pertenecientes a la Familia Phytoseiidae, los que también deben ser evaluados en futuros proyectos. Cabe mencionar que al no poder acceder a las copas de los árboles, fue difícil dimensionar el daño que pueden llegar a causar los ácaros fitófagos.

PROPUESTAS SILVÍCOLAS

Como se ha señalado, bajo las condiciones actuales en las que se encuentran los rodales evaluados y la incidencia de insectos y enfermedades los daños bióticos y abióticos caracterizados en los tres rodales no constituyen plagas o enfermedades. Por otra parte, no se puede decir que la pérdida de volumen por defoliación que alcanzó un 12% en roble, un 2.8% en el rodal de Raulí y un 6,56% en Coihue, esté afectando el crecimiento de un bosque ya que la defoliación estaría ocurriendo al final del crecimiento y en los meses de estrés hídrico.

Los antecedentes obtenidos en el presente estudio permiten realizar las siguientes recomendaciones para los tres rodales:

Renoval de Roble

De los tres rodales estudiados, el Renoval de Roble es de baja productividad y no tiene las características deseables para realizar un manejo. Si bien, está en el límite de densidad (arb/ha) para ser considerado un rodal normal según Puente *et al.* (1979), la distribución de calidad y estructura volumétrica de productos y la composición de especies deja pocas posibilidades de ejecutar un raleo comercial.

En la situación actual del rodal de Roble sin manejo y con la composición de especies y distribución diamétrica que se mostró en el Cuadro 2 y Figura 1, si la defoliación afecta el crecimiento considerablemente, es probable que acelere la dinámica: los Avellanos de las clases diamétricas de 10 a 24 cm cerrarán el dosel, no habrá regeneración de Roble y las especies acompañantes (Laurel y Lingue) junto con Avellano codominarán el dosel. De acuerdo a la autoecología del Roble, este sólo regenerará en claros con suelo mullido o praderas en los bordes del rodal. Avellano, Laurel y Lingue tendrán la mayor regeneración y aumentarán su densidad. Posteriormente, Laurel y Lingue serán las únicas especies que dominen el dosel superior.

Una alternativa sería considerar realizar un raleo dejando dentro de la densidad de entresaca, los 127 arb/ha de clase de calidad 11. El principal producto a extraer en un raleo con un 30% de extracción del área basal sería leña de Avellano, Laurel y Lingue (poca demanda y muy bajo precio). Es decir, con las actuales condiciones del rodal, la baja demanda de productos de raleo como en este caso, principalmente leña, y con restricción de uso aun cuando provenga de planes de manejo y esté certificada, no resulta un rodal atractivo para realizarle manejo.

Otra opción de raleo sería seleccionar los árboles de roble de Sanidad 2 y Sanidad 3 según la distribución de área basal por clase de calidad mostrada en el Cuadro 27.

Cuadro 27. Área Basal (m²/ha) por Sanidad y Forma.

Especie	Forma	Sanidad 1			Sanidad 2			Sanidad 3	
		1	2	3	1	2	3	2	3
Avellano		0	1	6	0	0	0		0
Laurel-Lingue		0	1	1	1	0	0		
Roble		3	5	2	1	4	2	1	1
Total general		4	7	9	2	4	2	1	1

Las clases de Calidad 21, 22, 23, 32 y 33, acumulan aproximadamente 9 m²/ha, lo que permitiría extraer 293 arb/ha con 45m³/ha de volumen pulpable. La densidad residual sería de 993 arb/ha de los cuales 353 arb/ha son robles (87 arb/ha en clase 11, 213 arb/ha clase 12 y 53 arb/ha en clase 13).

Sin embargo, lo más recomendable, sería establecer una masa forestal mediante regeneración o enriquecimiento con plantación para tener en el futuro una densidad a manejar.

Para los rodales de Villarrica con presencia de *Holopterus*, se pudo comprobar que uno de los problemas es el anegamiento en invierno, con casi un metro de agua sobre el nivel del suelo. Uno de esos rodales fue visitado antes de iniciar este proyecto y presentaba un alto porcentaje de clorosis y defoliación en el mes de octubre. Se ha realizado un manejo, sin poder disminuir el problema de *Holopterus*, ya que el raleo, por una parte ha permitido extraer los árboles de mala sanidad, probablemente afectando el balance hídrico, extendiendo más aún los períodos de anegamiento.

Primero se debería modificar las condiciones del sitio asociados a los niveles freáticos. Cualquier obra tendiente a mejorar las condiciones freáticas del suelo requiere maquinaria pesada y son faenas de alto costo. Una alternativa más económica sería enriquecer esos rodales con especies resistentes al anegamiento, como Aliso o Álamo. También se debería instalar trampas de luz para bajar la población de *Holopterus*, como se hace en España con el *Cerambyx cerdo* L. 1758 (especie protegida con carácter de plaga). Otra técnica aplicable es utilizar árboles cebo, dejando individuos para que ovipositen las hembras, los que luego se retiran manteniendo controlada la población. Con el tiempo, la mayor evapotranspiración por incorporar especies resistentes a anegamientos mejorará el sitio y el mayor crecimiento concentrado en los árboles de entresaca, los hará más resistentes al ataque de *Holopterus*.

Renoval de Raulí

El renoval de Raulí, es un rodal que ya está bajo esquema de manejo productivo, donde se ha ejecutado un raleo con extracción de un 30% de área basal hace un par de años, con extracción de productos aserrable y pulpable. Las posibles pérdidas por defoliación corresponden a un 2,8% del volumen proyectado. *Hylamorphia elegans* no se considera plaga ya que los aumentos de crecimiento producidos por el raleo, compensarían las bajas pérdidas por defoliación.

Es probable que un raleo más intensivo no logre reducir totalmente las pérdidas, por lo que sería más eficiente evaluar los actuales niveles de raleo complementados con instalación de trampas de luz que permitiría reducir en parte la población *H. elegans*, aunque como se mencionó anteriormente, en este caso, las pérdidas serían marginales.

Renoval de Coihue

Es el que presenta mayor volumen aserrable (22.8%, 126m³/ha) y pulpable (36.1% 199 m³/ha). Las posibles pérdidas proyectadas por defoliación corresponden a un 6.56% (42.1 m³/ha).

Se debe recordar que durante el desarrollo de los renovales se origina una fuerte competencia, produciéndose una mortalidad natural, la que normalmente selecciona aquellos individuos con menor tasa de crecimiento, posición sociológica inferiores, problemas sanitarios o habilidad competitiva, y no selecciona aquellos individuos que tienen la mejor sanidad o mejores características comerciales, como forma cilíndrica, tamaño de ramas, etc.

Diversos estudios señalan que la mortalidad natural en porcentaje del número de árboles por hectárea puede ser del orden de 0.8% a 3.6% anual. (Ortega y Gesan, 1988; Núñez y Peñaloza, 1985; Rodríguez, 1993)

En el caso del renoval de Coihue, con una densidad inicial de 1154 arb/ha, con un IMA en volumen de 9.1 m³/ha/año, el volumen proyectado es de 643 m³/ha. Con la densidad inicial de 1154 arb/ha y con un IMA en diámetro de 0.45 cm, el volumen proyectado sin mortalidad es de 875 m³/ha. Con un 3% anual de mortalidad natural, la densidad proyectada a 10 años sería de 877 arb/ha y un volumen de 665 m³/ha. Este valor es cercano a los 643 m³/ha lo que indica que un IMA de 9.1 m³/ha/año estaría reflejando la mortalidad natural.

Es decir, una pérdida de 210m³ en el período proyectado de 10 años, con lo que cada año, se estarían perdiendo 21m³/ha por mortalidad natural. A esto se le debe sumar el volumen perdido por disminución del crecimiento por defoliación, aunque es muy probable que estos efectos estén mezclados.

En este caso, las mayores pérdidas se dan por mortalidad natural (21m³/ha/año), por lo que un raleo es fundamental para rescatar los productos que hoy se están convirtiendo en Material leñoso en

Descomposición (Coarse Woody Debris). Este rodal tampoco constituiría grandes pérdidas por plagas o enfermedades.

La propuesta para mejorar esta condición es que para reducir las pérdidas por mortalidad natural y/o pérdidas por disminución del crecimiento por defoliación, la intervención silvicultural más frecuente realizada en renovales es el “raleo”, el que consiste en eliminar algunos individuos de la población. El raleo puede cumplir varios objetivos, entre los que se destacan:

- Liberar a los individuos de la competencia directa (reduciendo la mortalidad natural).
- Concentrar los crecimientos en un menor número de individuos (más vigorosos, más resistentes a plagas y enfermedades, y por lo tanto con menos problemas sanitarios).
- Favorecer la frecuencia de individuos con características comerciables deseables (productos aserrables de clase de calidad 11).

Si bien hoy no está siendo manejado, la distribución diamétrica de 10 a 50 cm permite un raleo que reduciría las pérdidas principalmente por mortalidad natural, más que por defoliación.

En el Cuadro 28 resumen se presentan las actividades y propuestas silvícolas para las situaciones descritas en los rodales con parcelas permanentes y situaciones del premuestreo.

Cuadro 28. Resumen de actividades para reducir pérdidas por defoliadores/barrenadores

Renoval	Rodal de Densidad Baja o Sitios con restricciones	Rodal de Densidad Normal o Alta
Roble <i>H. elegans</i>	Estimar población de <i>H. elegans</i> según superficie de praderas y monitorear/controlar con trampas de luz o manejo de praderas. Aumentar cantidad árboles futuros de entresaca con plantación bajo dosel. Raleo 30% A. basal	Raleo 30% A. basal
Roble <i>H. chilensis</i>	Mejorar condiciones de sitios con problemas de anegamiento. Enriquecer con Aliso o Álamo / Canales de Drenaje. Trampas de Luz y Troncos/árboles Cebo. Edad del Raleo y % de Área basal a extraer según mejoras de niveles freáticos.	Trampas de Luz Troncos/árboles Cebo Raleo 30% A. basal
Raulí <i>H. elegans</i>	Estimar población de <i>H. elegans</i> según superficie de praderas y monitorear/controlar con trampas de luz o manejo de praderas. Raleo 30% A. basal	Raleo 30% A. basal
Raulí <i>H. chilensis</i>	Trampas de Luz Troncos/árboles Cebo Raleo 30% A. basal	Trampas de Luz Troncos/árboles Cebo Raleo 30% A. basal
Coihue <i>H. elegans</i>	Estimar población de <i>H. elegans</i> según superficie de praderas y monitorear/controlar con trampas de luz o manejo de praderas. Raleo 30% A. basal	Raleo 30% A. basal
Coihue <i>Ch. childreni</i>	Trampas de Luz Troncos/árboles Cebo Raleo 30% A. basal	Trampas de Luz Troncos/árboles Cebo Raleo 30% A. basal

COMENTARIOS A LAS OBSERVACIONES DEL INFORME

Se destaca en negrita las observaciones y comentarios entregados en el informe del evaluador externo y se complementa con nuevos antecedentes incorporados en el informe corregido.

A. Evaluación del Objetivo 6 “Proponer medidas silvícolas para las principales plagas y enfermedades asociadas al bosque nativo”

R: Para la determinación de plagas y enfermedades se incorporaron los siguientes antecedentes al informe

- Estimación del volumen bruto (m^3_{scc}) para esquema de trozado con productos aserrable, pulpable y leña mediante función de ahusamiento con modelo de Coffré (1983) ajustado con datos de ensayos silviculturales (Lara *et al.*, 2001).
- Estimación de período óptimo de crecimiento mediante análisis econométrico de crecimiento juvenil de *Nothofagus nervosa* (Crego, 1999).
- Estimación de disminución del volumen comercial de acuerdo al porcentaje de defoliación (Rais *et al.*, 2010)
- Gráficos ombrotérmicos para determinar meses de estrés hídrico según el criterio de Gausson (1952)

En los tres sectores donde se establecieron parcelas permanentes, los agentes bióticos y abióticos no constituyen actualmente plagas o enfermedades.

“La prospección de daños y enfermedades, se centró en el follaje y, secundariamente, en el fuste de las especies de *Nothofagus*.

R: Para la prospección fitosanitaria se utilizó el Formulario de Antecedentes Dendrométricos y Fitosanitarios del Sistema de Monitoreo de Sanidad en Bosque Nativo de CONAF. Este formulario considera 6 variables fitosanitarias de la copa y 6 variables fitosanitarias del fuste.

Respecto de la prospección en el follaje, se menciona, entre otros, ataque por *H. elegans*, el cual se estimó que alcanza un 30% de defoliación,....sin considerar el tercio superior de las copas...”

R: La metodología propuesta por los investigadores no consideró muestrear el tercio superior de la copa por razones obvias: las altura de comienzo de copa (HCC) de los árboles: 6.2 m para Roble, 12.6 m en Raulí y 14 m en Coihue. Para el muestreo del tercio inferior de la copa se utilizó escalera sueca de 6 metros y en algunos casos, extensión mediante tijerón de poda de 3m.

“...pero sin mencionar si esta y/o las otras defoliaciones detectadas, se podrían traducir en un menor crecimiento del árbol o, incluso, en la muerte de este y, por ende, en un problema de impacto económico, más aún si se toma en cuenta que el ataque se repite en forma periódica.”

R: Los nuevos antecedentes bibliográficos incorporados en la corrección del informe permitieron aclarar esta observación, determinándose que las pérdidas de volumen proyectado a 10 años fueron de 9.1% ($19.2 m^3/ha$) para Roble, 2.8% ($12.6 m^3/ha$) para Raulí y 6.5% ($42.1 m^3/ha$) para Coihue.

En relación al impacto económico, este va a depender, por una parte, de la estructura volumétrica del bosque, y por otro lado, del objetivo del mismo. En este sentido, una pérdida de 9.1% en un bosque de mala calidad, con una baja producción de volumen concentrada en productos de menor precio, como la leña, no será comparable al mismo porcentaje de pérdida en un bosque altamente productivo con una alta proporción de producto aserrable. De la misma manera, las pérdidas económicas no tendrán el mismo significado si se trata de bosques productivos que de bosques de preservación.

“En cuanto a la prospección en el fuste, pese a que se detectó la presencia de canchales y tumores, así como de aserrín y de galerías, antiguas y recientes, ocasionadas por insectos, no se efectuó un muestreo o revisión intensiva, considerando por ejemplo el volteo de algunos ejemplares, teniendo en cuenta que este tipo de daños, representa una de las mayores limitantes para el aprovechamiento final del recurso.”

R: De acuerdo a la metodología propuesta por los investigadores, no se consideró realizar volteo de árboles principalmente por costos y debido a que se estaba prospectando propiedad privada, donde sólo se solicitó autorización para establecer parcelas permanentes.

Sin embargo, en otros estudios que se centren en insectos taladradores se debería considerar un muestreo de árboles mediante volteo y trozado. Considerando que, de acuerdo a Prodan *et al.*, (1997), al clasificar un árbol en pie en la clase de calidad 11, existe un 60% de acierto, se deberían muestrear por volteo al menos 30 árboles por rodal.

“Además, las galerías larvales ocasionadas por estos agentes, conllevan la presencia de hongos patógenos, los que generan pudrición central del fuste, limitando más aún el aprovechamiento de este, sin embargo este daño no aparece como detectado ni evaluado.”

R: Se evaluó mediante la variable Orificios Pequeños y en los rodales de las parcelas permanentes no presentaron síntomas el 82.7% de los árboles de roble, el 100% de los árboles de Raulí y el 88.6% de la densidad de Coihue.

En los antecedentes del premuestreo (entregados en el informe de avance o primer informe) los porcentajes de árboles sin presencia de orificios grandes fueron de 48.5% (Cunco), 68.7% (Pucón), 84.4% (Carahue), por mencionar algunos sectores.

Los porcentajes de árboles sin presencia de orificios pequeños fueron de 27% (Panguipulli), 36% (Villarrica), 53.8% (Carahue), 70.5% (Pucón), 77.6% (Cunco), 91.3% (Curarrehue).

B. Las 2 situaciones mencionadas en el punto anterior, llevan a subestimar la condición sanitaria del recurso, por cuanto se considera que la sanidad del bosque es buena,...

R: Se adaptó la metodología de unidad de muestreo PRODAN (sexto árbol) a unidad de muestreo convencional de 250m² debido a que se observaron variaciones (sobreestimación) en los parámetros generales en el premuestreo realizado en 50 puntos (150 parcelas PRODAN). En las parcelas permanentes se registró la sanidad y forma (1 a 3) para todos los árboles de la parcela, para mayor confiabilidad de los parámetros poblaciones fitosanitarias inferidos a partir de los 6 árboles muestras por parcela.

De acuerdo a esta clasificación, los árboles de Sanidad 1 corresponden al 68% en Roble, 77% en Raulí y 59% en Coihue.

Con los nuevos análisis incorporados en el presente informe, se complementa la información entregada con anterioridad y se concluye que en los tres rodales estudiados mediante las parcelas permanentes los agentes bióticos y abióticos en la actualidad no constituyen plagas o enfermedades. El principal problema del rodal de roble es la baja densidad de Roble y la baja cantidad de árboles de Clase de Calidad 11 (Sanidad 1 – Forma 1) principalmente debido a la forma de los fustes, y a la composición de especies que no permite obtener productos de mayor valor, para lo cual se propone aumentar la densidad de árboles de calidad 11 mediante plantación bajo dosel o mediante regeneración, con un fuerte control de la población de *H. elegans* mediante trampas de luz y manejo de praderas.

“...motivando con ello que no se propongan medidas silvícolas, tendientes a mejorar su condición a través de medidas curativas y/o preventivas, para el manejo sanitario de estos problemas. “

Como se mencionó anteriormente, los rodales en los cuales se centró el estudio con parcelas permanentes los agentes de daños bióticos y abióticos están presentes y no constituyen plagas. En el nuevo informe se incorporaron recomendaciones generales en base a los rodales estudiados realizando una proyección del porcentaje de pérdida de volumen en base al porcentaje de defoliación.

“C. Considerando que la sustentabilidad del recurso forestal se basa en el conocimiento que se tenga de él, ya que sólo con este conocimiento se podrá mitigar y también prevenir los impactos ambientales, sociales y económicos provocados por el deterioro sanitario de estos bosques, se considera de importancia el poder recabar más antecedentes, acerca de las situaciones mencionadas, para así enriquecer las conclusiones del Proyecto, así como la propuesta de futuras acciones”

La sustentabilidad es un concepto que varios autores consideran utópico, y desde fines de los 90's se ha presentado un modelo Bioregional o el concepto de Bioregionalismo práctico (Howard y Straussfogel, 1999).

Dentro de este concepto, en el subsistema de los recursos biofísicos, el estudio realizado se ha centrado fundamentalmente en una prospección para aumentar el conocimiento del estado fitosanitario de los renovales de *Nothofagus*. Es primera vez que se ejecuta un estudio integrado que realiza una identificación sistemática de hongos, bacterias e insectos, incorporando el uso de teledetección y la espectroradiometría como una herramienta biotecnológica en la identificación de porcentaje de pérdida de superficie foliar e identificación de enfermedades por agentes abióticos, como apoyo a la prospección mediante sensores remotos para la identificación de plagas y enfermedades mediante imágenes satelitales.

Las propuestas de futuras acciones se incluyen al final de las conclusiones

CONCLUSIONES

La prospección realizada en bosques de renovales de Roble-Raulí-Coigüe presentes en diferentes sectores de la Región de la Araucanía, permitió concluir lo siguiente.

Los hongos aislados desde las muestras vegetales de las diferentes especies evaluadas y desde los diversos sectores muestreados asociadas al bosque nativo de *Nothofagus*, no inciden en la sanidad de las especies forestales Roble-Raulí-Coigüe, aun cuando se presentaron algunos hongos patógenos.

Las bacterias asociadas al bosque nativo probablemente cumplen la función de protección, sin embargo cuando se produce las heridas por mordeduras de insectos, las bacterias al igual que los hongos saprófitos inician una serie de actividades enzimáticas y lignocelulolíticas, lo cual se evidencia por los diferentes síntomas en una misma hoja dañada.

Después de los análisis realizados, se puede indicar que no existe una incidencia que retrate un tipo de enfermedad en árboles nativos por zona.

El cálculo NDVI ofrece técnicas para poder estimar la ausencia o presencia de alguna característica vegetal, lo que nos permite diferenciar las regiones donde se encuentren las zonas más altas con absorción de clorofila y su Reflectancia.

El análisis de porcentajes de daño asignados visualmente comparados con las firmas espectrales permite señalar que hubo coincidencia en los caso de muestras sanas y muy dañadas, los rangos intermedios aun no pudieron ser relacionados con tanta exactitud.

En relación a la presencia de insectos plagas, los resultados logrados en este estudio indican que su incidencia es actualmente baja en los bosques de Raulí y Coihue de los sectores evaluados, lo cual se ve favorecido por la alta presencia de insectos depredadores, parasitoides e insectos descomponedores de madera que mantienen una adecuada sanidad del bosque.

Desde el punto de vista de los insectos plaga, *Holopterus chilensis* en roble, *Cheloderus childreni* y en coigüe no fueron encontrados al estado adulto en los bosques estudiados y, su observación en los árboles correspondió a la presencia de orificios de salida antiguos y en algunos casos por la existencia de aserrín de las larvas de dichas.

En Raulí no se observó *Holopterus* al estado adulto, solamente se apreciaron galerías en troncos cortados las que presumiblemente corresponderían a la larva del insecto.

Hylamopha elegans insecto defoliador de gran importancia en *Nothofagus*, fue encontrada en altas cantidades atraídos a la trampa de luz en los tres sectores en estudio, el daño estimado en nuestro estudio por la presencia de adultos de esta especie se estima en un 30% aproximado de defoliación, debido a que no fue posible alcanzar las copas de los árboles, lo que no permitió una evaluación exacta.

Se observo una amplia gama de insectos con acción benéfica en el bosque, desde insectos que descomponen madera, polinizadores, hasta insectos estercoleros hacen que los bosques estudiados se encuentren en perfecto equilibrio.

Relevante fue observar la presencia de una gran cantidad de ácaros como *Tetranychus urticae*, plagas de cultivos agrícolas, donde causan importante daño, sin embargo esto es necesario de evaluar en otro proyecto, así como la presencia de ácaros depredadores de ácaros fitófagos como *T. urticae* pertenecientes a la Familia Phytoseiidae, los que también deben ser evaluados en futuros proyectos.

De acuerdo a los resultados obtenidos se propone realizar evaluaciones periódicas de la incidencia tanto de hongos fitopatógenos como de insectos plagas y defoliadores, lo que permitirá tener un registro del estado de las poblaciones, así como realizar medidas preventivas que permitan mitigar su incidencia.

Para los rodales de Rauli y Coihue estudiados, de densidad normal el raleo es el manejo que sirve para todos los objetivos silvícolas, es decir intervenir el bosque mediante cortas sanitarias, aumentar la producción, permitir extraer volumen que se perdería por mortalidad natural y asegura la sanidad del bosque, generando ingresos económicos.

Los rodales de roble que están cercanos a los límites inferiores de densidad normal, pero primordialmente con grados de alteración o baja calidad, requerirían un mayor esfuerzo para que sean considerados como rodales interesantes de manejar, primero recuperando los niveles de sanidad que indiquen un menor riesgo de aparición de plagas y convertirlos a rodales productivos.

El caso de los rodales en los que se identificó *Holopterus chilensis*, primero se requiere bajar los niveles freáticos para mejorar las condiciones de drenaje del sitio, por ejemplo enriqueciendo con Aliso o Alamo, o realizando canales de drenaje. El raleo sanitario se debería hacer de acuerdo a las mejoras en el balance hídrico o recarga de las napas.

Se propone continuar con el estudio de relación de daño visualizado en las muestras vegetales por espectroradiometría para afinar los detalles de visualización del daño asignado, entre otros.

Las propuestas de futuras acciones se enmarcan dentro de las siguientes líneas de investigación:

- Estimar pérdidas de volumen por daño potencial por insectos defoliadores o barrenadores. Utilizando la Cartografía del Monitoreo del Bosque Nativo, caracterizar polígonos del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue, mediante estimación de Área Basal y Densidad a partir de imágenes satelitales. Definir objetivos de manejo y esquema de productos a obtener. Modelar costo de transporte a industrias forestales básicas según metodología de Galindo (2012).
- Estudio temporal de enfermedades forestales, identificación de agentes abióticos, mediciones espectroradiométricas y % de pérdida foliar por agentes de daño.
- Evaluación de la pérdida del crecimiento de árboles juveniles de *Nothofagus* por efecto del estrés hídrico y % de defoliación. Con espectroradiometría en longitudes del rango visible, e infrarrojo cercano y medio (400-1600nm)
- Estimación de Índice de Área Foliar (IAF) , pérdida de superficie foliar y relación con índices vegetacionales mediante imágenes satelitales OLI (Landsat 8) o Fasat-Charlie