

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA



TEMA:

“EVALUACIÓN DE LÍNEAS DIFERENCIALES PARA ROYA (*Puccinia* spp.) EN EL CULTIVO DE AVENA, TRIGO Y CEBADA, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA - IMBABURA”

Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR (A):

Orlando David Pinchao Guepud

DIRECTOR (A):

Ing. Doris Salome Chalampunte Flores, PhD.

Ibarra, 2023

**“EVALUACIÓN DE LÍNEAS DIFERENCIALES PARA ROYA (*Puccinia*
spp.) EN EL CULTIVO DE AVENA, TRIGO Y CEBADA, EN LA
GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA - IMBABURA”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Ing. Doris Chalampunte, PhD.
DIRECTOR



FIRMA

Ing. Jefferson Andrade, MSc.
MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Miguel Gómez, MSc.
PRESIDENTE TRIBUNAL



FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003897095		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Pinchao Guepud Orlando David		
DIRECCIÓN:	La Quinta del Olivo		
EMAIL:	odpinchaog@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0959111447

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Evaluación de líneas diferenciales para roya (<i>Puccinia</i> spp.) en el cultivo de avena, trigo y cebada, en la Granja Experimental La Pradera - Imbabura”
AUTOR (ES):	Orlando David Pinchao Guepud
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	29 / 06 / 2022
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Doris Salome Chalampunte Flores, PhD.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 19 días del mes de octubre de 2023

EL AUTOR:



.....
Orlando David Pinchao Guepud

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Orlando David Pinchao Guepud, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 19 días del mes de octubre de 2023



Ing. Doris Chalampunte, PhD.

DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 19 días del mes de octubre del 2023

Orlando David Pinchao Guepud: “Evaluación de líneas diferenciales para roya (*Puccinia* spp.) en el cultivo de avena, trigo y cebada, en la Granja Experimental La Pradera - Imbabura” /Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 19 días del mes de octubre del 2023, 77 páginas.

DIRECTOR (A): Ing. Doris Chalampunte, PhD.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar líneas diferenciales para roya (*Puccinia* spp.) en el cultivo de avena, trigo y cebada, en la Granja Experimental La Pradera – Imbabura.

Entre los objetivos específicos se encuentran: 1. Comparar la severidad de roya de la hoja (*Puccinia coronata*) en líneas de avena, (*Puccinia triticina*) trigo, (*Puccinia hordei*) cebada, y roya amarilla (*Puccinia striiformis*) en líneas de trigo y cebada. 2. Determinar la severidad de otras enfermedades en líneas diferenciales de avena, trigo y cebada. 3. Analizar el rendimiento y parámetros de calidad de grano de las líneas de avena, trigo y cebada.


.....

Ing. Doris Chalampunte, PhD.

Directora de Trabajo de Grado


.....

Orlando David Pinchao Guepud

Autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 HIPÓTESIS	5
1.5.1. Hipótesis nula (Ho).....	5
1.5.2. Hipótesis alternativa (Ha).....	5
CAPITULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Cultivo de Trigo	6
2.1.1 Importancia económica y social del trigo en Ecuador	6
2.1.2 Condiciones edafoclimáticas	6
2.1.3 Clasificación taxonómica	6
2.1.4 Morfología.....	7
2.1.5 Etapas fenológicas del cultivo.....	7
2.1.6 Enfermedades de importancia del trigo.....	9
2.1.7 Líneas y variedades de trigo resistentes a roya amarilla	9
2.2 Cultivo de cebada	11
2.2.1 Importancia económica y social de la cebada en Ecuador	11
2.2.2 Condiciones edafoclimáticas	11
2.2.3 Taxonomía.....	11
2.2.4 Morfología.....	12
2.2.5 Etapas de crecimiento.....	13
2.2.6 Enfermedades de importancia de la cebada	14

2.2.7 Variedades de cebada resistentes a roya amarilla en el Ecuador	15
2.3 Cultivo de avena.....	16
2.3.1 Importancia económica y social de la avena en el Ecuador	16
2.3.2 Condiciones edafoclimáticas	16
2.3.3 Taxonomía.....	16
2.3.4 Morfología.....	17
2.3.5 Etapas de crecimiento.....	17
2.3.6 Enfermedades de importancia de la avena	18
2.3.7 Líneas y variedades de avena resistentes a roya de la hoja en Ecuador	19
2.2. MARCO LEGAL	20
CAPITULO III	21
MARCO METODOLÓGICO	21
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
3.1.1. Ubicación geográfica.....	21
3.1.2. Características climáticas	22
3.2 MATERIALES.....	22
3.3 MÉTODOS.....	22
3.3.1. Unidad muestral	22
3.3.2. Análisis estadístico.....	24
3.4. VARIABLES EVALUADAS	24
3.4.1 Emergencia.....	24
3.4.2 Vigor de la planta	25
3.4.3 Hábito de crecimiento	25
3.4.4. Días al espigamiento	26
3.4.5 Altura de planta	27
3.4.6 Tipo de paja.....	28
3.4.7 Tamaño de espiga.....	28
3.4.8 Número de granos por espiga.....	29
3.4.9 Rendimiento de grano	30
3.4.10 Peso hectolítrico o específico	30
3.4.11 Peso de 1000 granos	31
3.4.12 Tipo y color de grano	31
3.4.13 Reacción a enfermedades	32
3.4.13.1. Mancha foliar	32
3.4.13.2. Severidad de roya amarilla.....	33

3.4.13.3. Tipo de reacción de roya amarilla	33
3.4.13.4. Severidad de roya de la hoja	34
3.4.13.5. Tipo de reacción de roya de la hoja.....	34
3.5. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO	35
3.5.1. Selección del lote.....	35
3.5.2. Preparación del suelo.....	35
3.5.3. Siembra.....	36
3.5.4. Fertilización.....	36
3.5.5. Control de malezas	37
3.5.6. Controles fitosanitarios.....	37
3.5.7. Cosecha	37
3.5.8. Trilla	38
3.5.9. Secado de la semilla	38
CAPÍTULO IV	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1. Emergencia.....	39
4.1.1. Emergencia de las líneas diferenciales de avena.....	39
4.1.2. Emergencia de las líneas diferenciales de trigo	39
4.1.3. Emergencia de las líneas diferenciales de cebada	40
4.2. Vigor de la planta	41
4.3. Hábito de crecimiento	42
4.4. Días al espigamiento	43
4.4.1. Días al espigamiento de la avena	43
4.4.2. Días al espigamiento del trigo.....	43
4.4.3. Días al espigamiento de la cebada.....	44
4.5. Altura de la planta	45
4.5.1. Altura de la planta de avena	45
4.5.2. Altura de la planta de trigo.....	45
4.5.3. Altura de la planta de cebada	46
4.6. Tipo de paja.....	47
4.7. Tamaño de espiga.....	48
4.7.1. Tamaño de espiga del trigo	48
4.7.2. Tamaño de espiga de la cebada	49
4.8. Número de granos por espiga.....	50
4.8.1. Número de granos por espiga del trigo	50

4.8.2. Número de granos por espiga de la cebada	51
4.9. Rendimiento de grano	51
4.9.1. Rendimiento de grano de la avena	51
4.9.2. Rendimiento de grano del trigo	52
4.9.3. Rendimiento de grano de la cebada.....	53
4.10. Peso hectolítrico o específico	54
4.10.1. Peso hectolítrico de la avena	54
4.10.2. Peso hectolítrico del trigo.....	55
4.10.3. Peso hectolítrico de la cebada	56
4.11. Peso de 1000 granos	57
4.11.1. Peso de 1000 granos de avena.....	57
4.11.2. Peso de 1000 granos de trigo.....	57
4.11.3. Peso de 1000 granos de cebada	58
4.12. Tipo de grano	59
4.13. Reacción a enfermedades	60
4.13.1. Roya de la hoja (<i>Puccinia coronata</i>) en avena	60
4.13.2. Mancha foliar (<i>Helminthosporium sativum</i>) en avena	62
4.13.3. Roya de la hoja (<i>Puccinia triticina</i>) en trigo.....	63
4.13.4. Roya amarilla (<i>Puccinia striiformis</i>) en trigo	65
4.13.5. Roya de la hoja (<i>Puccinia hordei</i>) en cebada.....	68
CAPÍTULO V	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
5.1 CONCLUSIONES.....	70
5.2 RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características morfológicas de la cebada.....	12
Tabla 2. Etapas de desarrollo de la cebada.....	18
Tabla 3. Caracterización del área de estudio.....	21
Tabla 4. Materiales, equipos, insumos y herramientas.....	22
Tabla 5. Unidades muestrales categorizadas por especie.....	23
Tabla 6. Medidas de cada unidad muestral.....	24
Tabla 7. Escala de evaluación de germinación en cereales.....	24
Tabla 8. Escala de evaluación de vigor de planta en cereales.....	25
Tabla 9. Escala de evaluación de hábito de crecimiento o porte en cereales.....	26
Tabla 10. Escala de evaluación de tipo de paja en cereales.	28
Tabla 11. Escala de evaluación para tipo de grano en cebada.....	31
Tabla 12. Escala de evaluación para tipo de grano en trigo.....	31
Tabla 13. Escala de evaluación para tipo de grano en avena.....	32
Tabla 14. Escala para determinar el tipo de reacción en royas.....	33
Tabla 15. Líneas de avena seleccionadas por no presentar signos de infección, poseer resistencia o moderada resistencia a roya de la hoja (<i>Puccinia coronata</i>).....	62
Tabla 16. Líneas de trigo seleccionadas por no presentar signos de infección, poseer resistencia o moderada resistencia a roya de la hoja (<i>Puccinia triticina</i>).....	65
Tabla 17. Líneas de trigo seleccionadas por no presentar signos de infección, poseer resistencia o moderada resistencia a roya amarilla (<i>Puccinia striiformis</i>).....	67
Tabla 18. Líneas de cebada seleccionadas por no presentar signos de infección, poseer resistencia o moderada resistencia a roya de la hoja (<i>Puccinia hordei</i>).....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del ciclo de desarrollo del trigo.....	9
Figura 2. Hoja y espiga con presencia de roya amarilla (<i>Puccinia striiformis</i>).....	14
Figura 3. Hojas con presencia de roya de la hoja (<i>Puccinia hordei</i>).....	14
Figura 4. Mapa de ubicación del área de estudio.....	21
Figura 5. Evaluación de la variable emergencia.....	24
Figura 6. Evaluación de vigor de la planta en cereales.....	25
Figura 7. Evaluación de hábito del crecimiento.....	26
Figura 8. Evaluación de días al espigamiento.....	27
Figura 9. Evaluación de altura de la planta.....	27
Figura 10. Evaluación de tipo de paja.....	28
Figura 11 Evaluación de tamaño de espiga.....	29
Figura 12. Evaluación del número de granos por espiga.....	29
Figura 13 Recolección de datos del rendimiento de grano.....	30
Figura 14. Recolección de datos del peso hectolítrico.....	30
Figura 15. Recolección de datos del peso de los 1000 granos.....	31
Figura 16. Escala de Saari-Prescott (0-9) para evaluar la intensidad de las enfermedades foliares en el trigo y la cebada.....	32
Figura 17. Porcentaje de la superficie foliar o de la espiga afectada por <i>S. nodorum</i>	32
Figura 18. Severidad para roya amarilla o lineal.....	33
Figura 19. Tipo de reacción para roya amarilla (<i>Puccinia striiformis</i>).....	33
Figura 20. Severidad para roya de la hoja.....	34
Figura 21. Tipo de reacción para roya de la hoja (<i>Puccinia triticina</i>).....	34
Figura 22. Lote escogido para la implementación del ensayo.....	35
Figura 23. Remoción del suelo con maquinaria.....	35
Figura 24. Siembra del ensayo.....	36
Figura 25. Fertilización en el momento de la siembra.....	36
Figura 26. Control de maleza.....	37
Figura 27. Cosecha de las líneas diferenciales de trigo.....	37
Figura 28. Trilla de la semilla.....	38
Figura 29. Secado y medición de la humedad de la semilla.....	38
Figura 30. Porcentaje de emergencia de avena.....	39
Figura 31. Porcentaje de emergencia de trigo.....	40
Figura 32. Porcentaje de emergencia de cebada.....	40

Figura 33. Vigor de la planta separado por especies.....	41
Figura 34. Hábito de crecimiento separado por especies.....	42
Figura 35. Días al espigamiento en las accesiones de avena.....	43
Figura 36. Días al espigamiento en las accesiones de trigo.....	44
Figura 37. Días al espigamiento en las accesiones de cebada.....	44
Figura 38. Altura de la planta en las accesiones de avena.....	45
Figura 39. Altura de la planta en las accesiones de trigo.....	46
Figura 40. Altura de la planta en las accesiones de cebada.....	46
Figura 41. Tipo de paja separada por especies.....	48
Figura 42. Tamaño de la espiga en las accesiones de trigo.....	49
Figura 43. Tamaño de la espiga en las accesiones de cebada.....	49
Figura 44. Número de granos por espiga en las accesiones de trigo.....	50
Figura 45. Número de granos por espiga en las accesiones de cebada.....	51
Figura 46. Rendimiento de grano en las accesiones de avena.....	52
Figura 47. Rendimiento de grano en las accesiones de trigo.....	53
Figura 48. Rendimiento de grano en las accesiones de cebada.....	54
Figura 49. Peso hectolítrico en las accesiones de avena.....	55
Figura 50. Peso hectolítrico en las accesiones de trigo.....	55
Figura 51. Peso hectolítrico en las accesiones de cebada.....	56
Figura 52. Peso de 1000 granos en las accesiones de avena.....	57
Figura 53. Peso de 1000 granos en las accesiones de trigo.....	58
Figura 54. Peso de 1000 granos en las accesiones de cebada.....	58
Figura 55. Tipo de grano separada por especies.....	59
Figura 56. Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de avena.....	60
Figura 57. Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de avena.....	61
Figura 58. Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de avena.....	61
Figura 59. Evolución de mancha foliar (<i>Helminthosporium sativum</i>) en avena.....	63
Figura 60. Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de trigo.....	63
Figura 61. Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de trigo.....	64
Figura 62. Evolución de la roya amarilla en el cultivo de trigo.....	66
Figura 63. Evolución de la roya amarilla en el cultivo de trigo.....	66
Figura 64. Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de cebada.....	68
Figura 65. Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de cebada.....	69

TÍTULO: “Evaluación de líneas diferenciales para roya (*Puccinia* spp.) en el cultivo de avena, trigo y cebada, en la Granja Experimental La Pradera – Imbabura”

Pinchao Orlando¹; Chalampunte Doris¹ PhD; Andrade Jefferson¹ MSc; Gómez Miguel¹ PhD;
Ing. Garófalo Xavier²; Ing. Noroña Patricio².

Universidad Técnica del Norte¹

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias²

odpinchaog@utn.edu.ec

RESUMEN

La avena, trigo y cebada se encuentran entre los principales cereales del mundo, debido a su importancia en la alimentación y a su bajo costo en relación con otros productos. El Ecuador requiere de importaciones para suplir la demanda de estos productos, esto debido a la baja producción a nivel nacional, a causa principalmente de las enfermedades, entre ellas la de mayor importancia, la roya. En colaboración del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y la Universidad Técnica del Norte se evaluó 52 líneas diferenciales de avena, 39 líneas de trigo y 15 líneas de cebada, con el objetivo de identificar materiales que presenten resistencia a la roya bajo las condiciones agroclimáticas de la Granja Experimental “La Pradera”, en la provincia de Imbabura. Para esto se realizó una investigación descriptiva, donde se evaluó 13 variables (siete cualitativas y seis cuantitativas). Se encontró que de las 106 líneas diferenciales que fueron estudiadas, las que registraron resistencia, moderada resistencia y/o ausencia de la enfermedad de roya de la hoja (*Puccinia* spp.) fueron 32 líneas de avena, 21 líneas de trigo y 4 líneas de cebada; por otra parte, con respecto a la roya amarilla (*Puccinia striiformis*), las líneas de cebada no presentaron síntomas de la enfermedad, sin embargo, 5 líneas de trigo si presentaron síntomas, no obstante, una línea fue resistente y cuatro moderadamente resistentes por lo cual todas las líneas pueden ser seleccionadas como material para continuar el proceso de mejoramiento genético.

Palabras claves: fitomejoramiento, germoplasma, severidad de enfermedades, genes de resistencia, variedades

TITLE: Evaluation of differential lines for rust (*Puccinia* spp.) in the cultivation of oats, wheat and barley, at the La Pradera Experimental Farm – Imbabura

Pinchao Orlando¹; Chalampunte Doris¹ PhD; Andrade Jefferson¹ MSc; Gómez Miguel¹ PhD;
Ing. Garófalo Xavier²; Ing. Noroña Patricio².

Universidad Técnica del Norte¹

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias²

odpinchaog@utn.edu.ec

ABSTRACT

The oats, wheat and barley are among the main cereals in the world, due to their importance in food and their low cost in relation to other products. Ecuador requires imports to meet the demand for these products, this due to low production at the national level, mainly due to diseases, including the most important, rust. In collaboration with the Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias and the Universidad Técnica del Norte, 52 differential lines of oats, 39 of wheat and 15 of barley were evaluated, with the objective of identifying materials that present resistance to rust under the agroclimatic conditions of the “La Pradera” Experimental Farm, in the province of Imbabura. A descriptive investigation was carried out, where 13 variables were evaluated (7 qualitative and 6 quantitative). It was found that of the 106 differential lines that were studied, the ones that registered resistance, moderate resistance, or absence of leaf rust disease (*Puccinia* spp.) were 32 oat lines, 21 wheat lines and 4 barley lines. On the other hand, regarding the yellow rust (*Puccinia striiformis*), the barley lines did not present symptoms of the disease, however, 5 wheat lines did present symptoms, however, 1 line was resistant and 4 moderately resistant, therefore which all the lines can be selected as material to continue the process of genetic improvement.

Keywords: plant breeding, germplasm, disease severity, resistance genes, varieties

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Los cereales constituyen la principal fuente de energía en la dieta debido a su alto valor energético y a su bajo costo en comparación con otros alimentos. Aunque la forma y el tamaño de semillas es diferente, todos los granos de cereales tienen un valor nutritivo similar, generalmente aportan alrededor de 300 a 350 kilocalorías por cada 100 gramos, siendo una fuente importante de energía en la dieta (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá [INCAP], 2006).

El trigo (*Triticum aestivum* L.), es el cereal de mayor importancia a nivel global, para su cultivo se destinan 217 000 000 hectáreas (ha), y la producción mundial llega a 620 000 000 toneladas métricas (Tm) al año. Por otra parte, el Ecuador registra una superficie cosechada de trigo de 6 038 ha, con una producción de 10 898 Tm año⁻¹ y un rendimiento promedio de 1.8 Tm ha⁻¹, cabe mencionar que el consumo nacional de trigo supera los 450 000 Tm año⁻¹, motivo por el cual importa el 98% de los requerimientos internos de trigo. Uno de los factores que limita su producción en el país son las enfermedades, siendo la más importante la roya (*Puccinia* sp.) (Garófalo et al., 2011; Quishpe, 2011; Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2019; Corporación Financiera Nacional [CFN], 2022).

Las líneas diferenciales son germoplasma que poseen genes específicos conocidos con cierta resistencia a enfermedades de importancia como la roya, es por esto que el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP] a lo largo del tiempo ha venido identificando líneas diferenciales, para posteriormente realizar cruzamientos en el programa de mejoramiento genético y desarrollar variedades resistentes y adaptadas a las condiciones agroecológicas de la Sierra ecuatoriana (Ponce et al., 2020).

La última variedad de trigo desarrollada por la entidad es INIAP-Imbabura 2014, la cual cuenta con características de grano color rojo, potencial genético de rendimiento de 6 t ha⁻¹; y presenta altos niveles de resistencia a enfermedades como la roya amarilla, roya de la hoja, fusarium de la espiga y Helmintosporiosis, determinantes en el desarrollo del cultivo (Quishpe, 2011; Falconí et al., 2014; Ponce et al., 2020).

Por otra parte, la cebada (*Hordeum vulgare* L.) ocupa el cuarto lugar en importancia en el mundo. Según la FAO (2013) se sembraron más de 49 millones de hectáreas con un rendimiento medio de 2.9 t ha⁻¹. A nivel nacional se destinan 48 000 ha para el cultivo de cebada, con una productividad promedio de 0,71 t ha⁻¹. Cabe señalar que el país importa hasta 40 000 t año⁻¹, por un valor superior a US\$ 10 millones, para suplir la demanda de la industria cervecera (Banco Central del Ecuador [BCE], 2014; González et al., 2016; Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2019).

Con el fin de aumentar la productividad y disminuir costos de producción, el INIAP se ha ocupado de la investigación de líneas de cebada resistente a enfermedades principalmente a la roya amarilla, para esto se ha puesto interés en los genes Rps4; Rps HF; RpsAst, RpsVa1; RpsVa2, Rps2; y se ha descubierto que algunas variedades locales (Raya Loja), variedades mejoradas (I-Guaranga 2010, I-Cañari 2003 e I-Shyri 2000) y líneas avanzadas muestran resistencia a roya amarilla en el Ecuador (Ayo, 2015).

La última variedad de cebada desarrollada por la entidad es la INIAP-Alfa 2021, la cual se originó por el cruzamiento entre la línea STANDER-BAR y la línea CALI92/ROBUST, esta fue introducida por el Programa de Cereales de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP en el año 2007, posteriormente fue evaluada y seleccionada en campos experimentales y campos de productores de la Sierra, esta variedad posee resistencia parcial a roya de la hoja (*Puccinia hordei*), roya amarilla (*Puccinia striiformis*) y resistencia a enanismo de los cereales (BYDV) (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2022).

Otro cereal de importancia es la avena (*Avena sativa* L.), siendo el sexto cereal más importante del mundo, tiene una producción anual de 26 millones de toneladas de grano. Además, la cantidad de consumo per cápita de avena es mayor en el continente americano, con un promedio de 2,15 kg por persona por año (Amaro et al., 2010; Fundación Española de la Nutrición [FEN], 2017).

Con el propósito de mejorar el rendimiento y suplir la demanda, se han realizado múltiples estudios para distinguir líneas diferenciales y variedades resistentes a roya de la hoja (*Puccinia coronata*), se ha logrado distinguir que los genes Pc38, Pc 39, Pc 50 y Pc 51 se encuentran presentes en el germoplasma actualmente difundido y que individualmente o en conjunto pueden brindar resistencia a los cultivares que los posean (Campos et al., 2006).

Una variedad de avena muy difundida es la INIAP - Fortaleza 2020, la cual proviene de la cruce entre las líneas 79BORDENAVE, SELECTION/KENYA y SR LINE. Esta línea fue desarrollada en la Estación Experimental Santa Catalina en el año 1988 y evaluada hasta el 2015 en esta estación, año en el cuál es enviada a la Estación Experimental del Austro para continuar con el proceso de mejoramiento hasta el año 2020 (Jiménez et al., 2020).

1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La importancia de la roya *Puccinia* spp. en trigo se debe a la gran variabilidad de razas y a las condiciones climáticas de temperatura, precipitación y humedad relativa favorables para el desarrollo del patógeno que puede provocar pérdidas de hasta un 80% en el rendimiento del cultivo. Además, cualquier variedad resistente al hongo causal estará expuesta a perder su resistencia en pocos años, debido a la aparición de nuevas razas del hongo (Quishpe, 2011).

En Ecuador, la superficie cultivada de la cebada ha disminuido de 48 874 hectáreas en el 2002 a 20 824 hectáreas en el 2012, una razón importante de la reducción de la superficie cultivada son las epidemias de roya amarilla (*Puccinia striiformis*), ya que pueden llegar a ocasionar pérdidas hasta de 90% en variedades susceptibles (Ayo, 2015).

Por otra parte, la roya de la hoja (*Puccinia coronata*) es la enfermedad foliar más importante de la avena (*Avena sativa*), las pérdidas por la roya de la hoja de la avena son variables, y dependen de la interacción genotipo - ambiente, del año, de la resistencia y ciclo del cultivar, de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y las características climáticas asociadas al desarrollo del cultivo según las fechas de siembra. En general, la reducción en el rendimiento de granos oscila entre 10 y 40 %, en casos extremos pueden alcanzar hasta el 70 – 90 % (Formento y Kuttel, 2022).

Año tras año, los cultivares de avena presentan comportamientos erráticos lo que conduce a fuertes reclamos por parte de los productores y asesores, que incorporan genotipos de reciente inscripción como resistentes y rápidamente se tornan altamente susceptibles, como el caso de Elizabet INTA o Paloma INTA (Di Nucci de Bedendo et al., 2019).

1.3 JUSTIFICACIÓN

Las líneas diferenciales son germoplasma que poseen genes específicos conocidos con cierta resistencia a enfermedades de importancia como la roya, sin embargo, es necesario evaluarlas constantemente debido a que con el pasar del tiempo estas líneas que una vez fueron resistentes, pueden perder la resistencia genética debido a la evolución de la virulencia del hongo. Una manera de realizar este trabajo es evaluar las líneas diferenciales bajo condiciones favorables para la presencia de una enfermedad, esto permitirá conocer en forma rápida si se ha roto la resistencia de un gen conocido (Ponce et al., 2020; Lovatto et al., 2021).

Anualmente se inscriben en el Instituto Nacional de Semillas (INASE), cultivares de avena que quiebran rápidamente su resistencia, aun cuando el programa de mejoramiento nacional incorpora en forma permanente nuevos genes Pc. Por este motivo es fundamental seguir buscando nuevas líneas con nuevos genes de resistencia (Pc) que otorguen una resistencia más duradera (Lovatto et al., 2021).

Asimismo, cultivares de trigo en Ecuador y en todo el mundo deben ser reemplazadas cada vez que pierden su resistencia a las enfermedades prevalentes, por tal motivo se maneja el Programa de Cereales del INIAP, el cual dispone de fuentes de resistencia, que deben ser eficientemente exploradas, para esto es necesario identificarlas y caracterizarlas (Quishpe, 2011).

En esta investigación se evaluará la resistencia a roya (*Puccinia* sp.) de las líneas diferenciales de avena, trigo y cebada obtenidas del Programa de Semillas del INIAP, las que eventualmente podrían ser nuevas variedades de trigo o fuentes de resistencia para desarrollar programas de mejoramiento genético, siendo una práctica muy útil para desarrollar un cultivo eficiente, que pueda crecer con un menor costo de producción debido a la disminución de fungicidas y principalmente dejando un menor impacto negativo en el medio ambiente.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar líneas diferenciales para roya (*Puccinia* spp.) en el cultivo de avena, trigo y cebada, en la Granja Experimental La Pradera – Imbabura.

1.4.2 Objetivos específicos

- Comparar la severidad de roya de la hoja (*Puccinia coronata*) en líneas de avena, (*Puccinia triticina*) trigo, (*Puccinia hordei*) cebada, y roya amarilla (*Puccinia striiformis*) en líneas de trigo y cebada.
- Determinar la severidad de otras enfermedades en líneas diferenciales de avena, trigo y cebada.
- Analizar el rendimiento y parámetros de calidad de grano de las líneas de avena, trigo y cebada.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis nula (H₀):

No hay efecto de la roya (*Puccinia* spp.) en las líneas diferenciales de avena, trigo y cebada evaluadas en Chaltura.

1.5.2. Hipótesis alternativa (H_a):

Al menos una de las líneas diferenciales de avena, trigo o cebada presenta resistencia a roya (*Puccinia* spp.) en la localidad de Chaltura.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Cultivo de Trigo

2.1.1 Importancia económica y social del trigo en Ecuador

En Ecuador, el trigo es un cultivo importante en la economía del país. Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador, en el 2019 se sembraron alrededor de 72 073 hectáreas de trigo, con una producción de 206 553 toneladas (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2020).

La producción de trigo en Ecuador también contribuye a la generación de empleo y al desarrollo rural. Según un informe de la Corporación Financiera Nacional (2018), el cultivo de trigo es una fuente importante de empleo en las zonas rurales del país, y su producción puede ser una herramienta para el desarrollo económico y social en estas regiones.

Además, la producción de trigo en Ecuador ha sido objeto de programas de fomento y apoyo por parte del gobierno, con el objetivo de impulsar la productividad y mejorar la competitividad del sector agrícola. Según el MAG (2020), el gobierno ha implementado programas de financiamiento y asistencia técnica para los productores de trigo en el país.

2.1.2 Condiciones edafoclimáticas

El cultivo de trigo se desarrolla de manera óptima a una altitud de 4 500 metros sobre el nivel del mar, sin embargo, alrededor del mundo se produce trigo con buenos resultados a una altitud comprendida entre 2 200 y 2 600 m s.n.m., rango que incluye diversos tipos de clima, lo cual refleja una heterogeneidad en el comportamiento fenológico. Adicionalmente, el cultivo necesita una temperatura media anual comprendida entre los 15 y 23° C y una precipitación lluviosa de 750 a 900 milímetros anuales (Acuayte et al., 2018).

2.1.3 Clasificación taxonómica

Sánchez (1994) presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Liliopsida*

Orden: *Poales*

Familia: *Poaceae*

Subfamilia: *Pooideae*

Tribu: *Triticeae*

Género: *Triticum*

Especie: *aestivum*

2.1.4 Morfología

Según Céspedes et al. (2018) las partes de la planta de trigo se pueden describir de la siguiente manera:

- **Raíz.-** El trigo presenta una raíz fasciculada o raíz en cabellera, es decir, con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad.
- **Tallo.-** El tallo del trigo es de tipo herbáceo, compuesto por una caña hueca con 2 a 4 nudos que se alargan hacia la parte superior, alcanzando entre 0.5 a 1.20 metros de altura, es poco ramificado.
- **Hojas.-** Las hojas del trigo tienen una forma linear-lanceolada (alargadas, rectas y terminadas en punta) con vaina, lígula y aurículas bien definidas.
- **Inflorescencia.-** La inflorescencia es una espiga compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas 20 a 30 espiguillas en forma alterna y laxa o compacta
- **Granos.-** Los granos son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. El endospermo, es un depósito de alimentos para el embrión, que representa el 82% del peso del grano.

2.1.5 Etapas fenológicas del cultivo

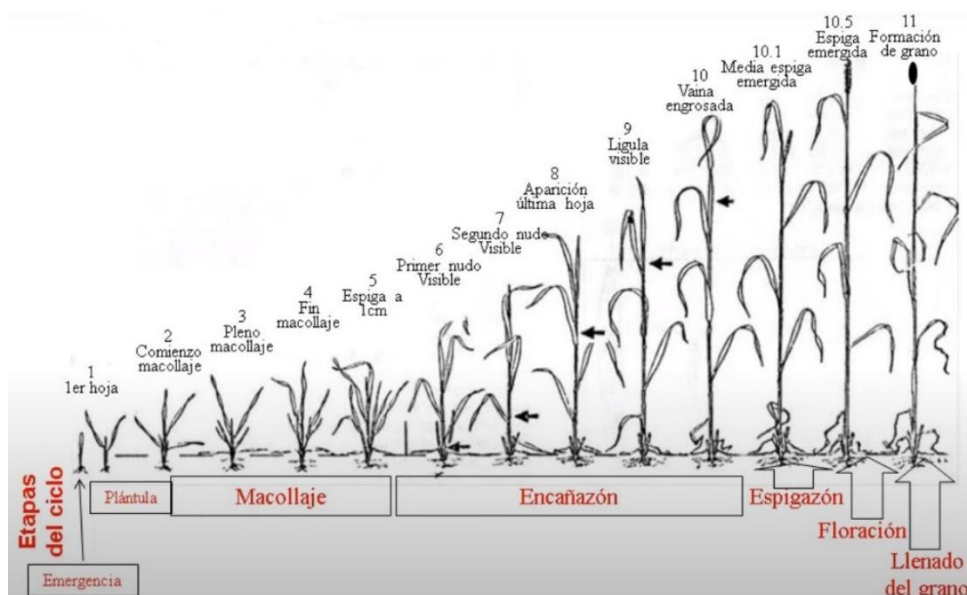
Según Miller (2000) reconocer las etapas fenológicas del trigo (Figura 1) es importante para adecuar las decisiones de manejo, a continuación, se describen las diversas etapas:

- **Emergencia y formación del macollo principal.** - Es la etapa de crecimiento desde la emergencia de trigo hasta la formación de hojas (1–3) que sobresalen del tallo principal.
- **Comienzo de macollaje.** - Un macollo es un tallo que se origina en la axila de una hoja o en el nudo del coleoptile. Los macollos comparten la misma masa radical con el tallo principal. Una vez establecidos los macollos primarios, de sus axilas se originan los macollos secundarios; los terciarios se desarrollan luego de las axilas los secundarios, y así sucesivamente.
- **Macollos formados.** - En el caso de trigos con latencia, éstos pueden continuar macollando por algunas semanas. Durante este estadio, se completa el crecimiento de aquellos macollos que contribuyen al rendimiento potencial.

- **Comienzo de crecimiento erecto, alargamiento de vainas.** - Durante este estadio, la mayoría de los macollos ya se han formado. Aquellos trigos con hábito rastrero durante el desarrollo vegetativo comienzan a elongarse y las vainas de las hojas comienzan a engrosarse.
- **Vainas de hojas erectas.** - En este estadio, la planta adquiere una posición totalmente erecta. Las variedades con latencia de crecimiento rastrero o postrado, cambian su hábito de crecimiento rastrero a erecto, que es causado por el pseudotallo formado a partir de la vaina de las hojas.
- **Primer nudo visible.** - En este estadio, el primer nudo crece y aparece por arriba de la superficie del suelo. Por arriba de este nudo se encuentra la espiga, que es empujada finalmente hacia arriba. Se comienza a formar el vástago principal. La espiga está completamente diferenciada.
- **Segundo nudo visible.** - Esta etapa se caracteriza por el crecimiento rápido de la espiga y la aparición del segundo nudo sobre la superficie del suelo.
- **Hoja bandera visible.** - Este estadio de crecimiento comienza cuando la última hoja (hoja bandera) empieza a emerger. La hoja bandera es de gran importancia ya que conforma aproximadamente el 75% del área foliar que efectivamente contribuye al llenado del grano. Cuando emerge la hoja bandera al menos hay tres nudos visibles sobre la superficie; ocasionalmente se puede observar un cuarto nudo.
- **Lígula de la hoja bandera visible.** - Este estadio comienza cuando la hoja bandera emergió por completo del verticilo. A partir de este estadio, las hojas se refieren a la hoja bandera. La planta de trigo produce típicamente entre 7 y 9 hojas verdaderas.
- **Estado de bota.** - La espiga, totalmente desarrollada, se visualiza fácilmente en la porción hinchada de la vaina foliar por debajo de la hoja bandera. La mayoría de las flores son polinizadas antes que aparezcan las anteras.
- **Maduración.** - La floración ocurre 4 a 5 días después de la espigazón. En cambio, el período de llenado de grano varía de acuerdo con el clima. Típicamente es de 30 días en ambientes con estrés severo; y puede exceder los 50 días en ambientes de alto rendimiento y sin estrés.

Figura 1

Etapas del ciclo de desarrollo del trigo



Fuente: Miller (2000)

2.1.6 Enfermedades de importancia del trigo

Las enfermedades más importantes en la Sierra de Ecuador del trigo son: Roya amarilla o lineal (*Puccinia striiformis*), Roya de la hoja (*Puccinia triticina*), Fusarium de la espiga (*Fusarium spp.*) y Carbón volador (*Ustilago tritici*) (Garófalo et al., 2011).

La roya amarilla o lineal es producida por el hongo *Puccinia striiformis* que aparece formando líneas amarillas en las hojas, paralelas a las nervaduras. Estas líneas están conformadas de pústulas producidas por el mismo hongo. La enfermedad se manifiesta a partir de 70-90 días después de la siembra. La roya amarilla también ataca a la espiga. A esta enfermedad también se la conoce como "royal" y se desarrolla a temperaturas entre 10 y 15° C, con una elevada humedad ambiental ocasionada por lluvia o rocío (Garófalo et al., 2011).

La roya de la hoja o parda es producida por el hongo *Puccinia triticina* cuyo síntoma principal es la presencia de pequeñas pústulas aisladas con esporas de color anaranjado, ubicadas sobre las láminas foliares. En infecciones fuertes se observan también sobre las vainas de las hojas. El desarrollo y diseminación de la roya de la hoja es favorecida por ambientes húmedos y templados (Garófalo et al., 2011).

2.1.7 Líneas y variedades de trigo resistentes a roya amarilla

La mayoría de las líneas resistentes a roya amarilla han tenido como fuente de resistencia a genes de herencia simple, pero la pérdida continua del efecto de estos genes o de sus combinaciones, ha obligado a buscar alternativas en el manejo de la resistencia no

específica a este hongo, debido a que este patógeno tiene la capacidad de mutar y evolucionar hacia mayor virulencia, lo que ocasiona que se rompa rápidamente la resistencia (Villaseñor et al., 2009).

Una alternativa para lograr mayor durabilidad de la resistencia a roya amarilla es mediante la formación de genotipos de trigo que posean resistencia durable, basada en genes que confieren resistencia de desarrollo lento de la enfermedad (slow rusting); el efecto de un gen de resistencia de desarrollo lento en el progreso de la enfermedad fluctúa de pequeño a moderado, pero la combinación de dos o más genes de efectos aditivos resulta en un alto nivel de resistencia (Villaseñor et al., 2009).

Según Rodríguez et al., (2019) los genes que confieren resistencia a royas en trigo se clasifican en tres categorías:

- Los que confieren resistencia en todas las etapas de crecimiento, ésta se manifiesta desde plántula y se mantiene durante todo el ciclo de crecimiento en ausencia de virulencia.
- Los genes que sólo confieren resistencia en planta adulta (RPA), cuya resistencia se hace más efectiva en la hoja bandera, que son de raza específica.
- Los genes que confieren resistencia parcial, a menudo como resistencia de campo y son parciales; es decir, se expresan fenotipos con diferentes niveles de infección a la enfermedad; este tipo de resistencia es conocida como resistencia de raza no específica.

En el caso de la roya amarilla se deben combinar de 4 a 5 genes de efecto aditivo o de raza no específica para reducir el progreso de la enfermedad a niveles bajos, donde sólo se puedan observar porcentajes mínimos de severidad (de 5 a 10 % de infección en hoja bandera) (Rodríguez et al., 2019).

En el Ecuador se han adaptado las siguientes variedades:

- INIAP-Imbabura 2014.- Es una línea de trigo harinero desarrollada en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo (CIMMYT) en México, registrada con el nombre de TINAMOU, con el siguiente historial de selección: CM 81812-12Y-06PZ-4Y-1M-0Y-5M-0Y-3SJ-0Y-0E-0E-0E. Esta línea ha mostrado una buena adaptación en todas las zonas trigueras de las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Azuay, en altitudes comprendidas entre 2 000 – 3 000 m, con precipitaciones de 400 a 500 mm distribuidas durante el ciclo del cultivo (Falconí et al., 2014).
- INIAP-Vivar 2010.- proviene del Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo (CIMMYT) en México, donde fue registrada como BERKUT, con un historial de selección: CMSS96M05638T-040Y-26M-010SY-010M-010SY-4M-0Y-011Y. Esta línea se adapta a las zonas de producción de cereales del austro ecuatoriano ubicadas entre los 2 400 y 3 000 m de altitud, en el cantón Saraguro (Loja), y los cantones El Tambo, Cañar y Suscal (Cañar) (Coronel et al., 2010).

2.2 Cultivo de cebada

2.2.1 Importancia económica y social de la cebada en Ecuador

La razón de la importancia de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) se debe a su amplia adaptación ecológica y a su diversidad de aplicaciones. Entre tanto, que la importancia social y económica de la cebada se basa en su uso diversificado como alimento para consumo humano (Ponce et al., 2019).

La cebada es después del maíz, el cereal de más amplia distribución en la Sierra ecuatoriana y se ha difundido ampliamente en el callejón Interandino entre los 2 400 y 3 500 m s.n.m. (Falconí et al., 2013). El área potencial sin limitaciones ecológicas alcanza las 150 mil hectáreas y con ciertas limitaciones ecológicas unas 50 mil hectáreas, dándonos un total de 200 mil hectáreas potenciales para su cultivo (Ponce et al., 2019).

En el Ecuador, según las estadísticas del INEC-ESPAC, en el año 2018, la superficie dedicada al cultivo de cebada fue 10 124 hectáreas con una producción anual de 13 674 toneladas, mientras que las importaciones superan las 66 mil toneladas por año. El cultivo se encuentra distribuido en todas las provincias de la Sierra (Ponce et al., 2019).

Las provincias con mayor área sembrada son: Cotopaxi (2 640 ha), Carchi (2 419 ha), Pichincha (1 197 ha) e Imbabura (976 ha) (INEC-ESPAC, 2018). El Ecuador, en la actualidad, presenta un rendimiento de grano por superficie cosechada de 1.3 t ha⁻¹ y un área cultivada que apenas supera las 10 000 ha (FAOSTAT, 2019).

2.2.2 Condiciones edafoclimáticas

De manera general, la cebada tiene un buen desarrollo entre los 2 400 y 3 500 m s.n.m., con una temperatura mínima de 6° C para la germinación, 16° C para la floración y 20° C para la maduración. En cuanto al suelo, la cebada prefiere suelos con texturas arenosas, en tanto que los suelos arcillosos y con exceso de humedad le son desfavorables, sin embargo, si se realiza un laboreo y se maneja la humedad se puede obtener altos rendimientos (Navarrete, 2015).

2.2.3 Taxonomía

Ponce et al., (2020) presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: *Plantae*

Subreino: *Tracheobionta*

Superdivisión: *Spermatophyta*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Liliopsida*

Subclase: *Commelinidae*

Orden: *Cyperales*

Familia: *Poaceae*

Género: *Hordeum*






Especie: *vulgare*

2.2.4 Morfología

La cebada es una planta de hojas estrechas y color verde claro. Se estima que un 60% del peso de las raíces se encuentra en los primeros 25 cm del suelo. Las flores tienen tres estambres y un pistilo de dos estigmas. El fruto es un cariósido, con las glumillas adheridas, salvo en el caso de la cebada desnuda (Ponce et al., 2020). Las principales características morfológicas de la cebada se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1

Características morfológicas de la cebada

Parte	Características	Imagen
Grano	El grano es una cariósido oval, acanalado con extremos redondeados, está generalmente cubierto por la palea y la lemma adheridas a este, o puede ser desnudo; puede ser de color blanco, amarillo, azul, negro, etc.	
Espigas	Las espigas pueden ser barbadas, sin barbas (múticas) y también pueden ser lisas o dentadas. La espiga está formada por espiguillas, las cuales están dispuestas de a tres en forma alterna a ambos lados del raquis.	
Hojas	Las hojas son lineales, lanceoladas y compuestas de una vaina, una lámina, una lígula y dos aurículas. Son glabras (no pubescentes) y rara vez pubescentes; su ancho varía entre 5 y 15 mm. Las vainas envuelven el tallo completamente. La lígula y especialmente las aurículas, distinguen a la cebada de otros granos de cereales: son glabras, envuelven el tallo y puede estar pigmentadas con antocianinas.	
Tallos	Son erectos y huecos, con 5 a 7 entrenudos cilíndricos o juntas, separados por los nudos, que llevan las hojas, las cuales se colocan opuestas a sus vecinas a lo largo del tallo. La altura de los tallos depende de la variedad y oscila desde 0,50 a 1,20 cm.	
Raíces	El sistema radicular es fasciculado, fibroso y alcanza una profundidad de hasta 1,20 m. Posee dos tipos de raíces: seminales y adventicias. Las raíces seminales de las plántulas se desarrollan desde la germinación a la etapa de macollaje. Las raíces adventicias o de la corona, aparecen con el macollamiento y cumplen con la función de anclar la planta y proporcionar agua y nutrientes.	

Fuente: Ponce et al. (2020)

2.2.5 Etapas de crecimiento

Según Ponce et al. (2020), el ciclo de crecimiento de la cebada tiene las siguientes etapas: germinación, establecimiento de plántulas, producción de hojas, macollamiento, elongación del tallo, polinización y desarrollo del grano y madurez, cada etapa se detalla a continuación:

- **Germinación.** - La emergencia se producirá entre los 5 a 10 días según la temperatura y humedad del suelo. La temperatura mínima para la germinación de la cebada es 1 a 2 grados centígrados. Después de que la semilla absorbe humedad, emerge la raíz primaria (radícula). La radícula crece hacia abajo, proporcionando anclaje y absorción de agua y nutrientes y eventualmente desarrolla ramificaciones laterales.
- **Establecimiento de la plántula y producción de hojas.** - Una vez que la plántula ha emergido, el coleóptilo deja de alargarse y aparece la primera hoja verdadera. Las hojas aparecen cada 3 a 5 días dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales. De ocho o nueve hojas normalmente se forman en el tallo principal, en variedades con maduración tardía generalmente se forman más hojas.
- **Macollamiento o formación de tallos.** - Cuando la plántula tiene tres hojas, los tallos generalmente comienzan a emerger. La capacidad de macollar de las plantas de cebada es un método importante de adaptación al cambio climático. Cuando las condiciones ambientales son favorables o si se reduce la densidad de plantas, es posible una compensación mediante la producción de más tallos. Bajo condiciones culturales normales, los macollos emergen durante un lapso de 2 semanas, alcanzando el número total dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales.
- **Elongación del tallo o encañado y espigamiento.** - El encañado inicia con la aparición del primer nudo, determinándose antes de su presencia sobre la superficie del suelo. En ese momento es posible visualizar la futura espiga, la cual se encuentra justo sobre dicho nudo, presentando un tamaño de aproximadamente 5 mm. De ahí en adelante se produce un rápido crecimiento de los tallos, los cuales, durante la etapa de encañado, van estructurándose con base en la formación de nuevos nudos y entrenudos.
- **Polinización.** - La polinización en la cebada ocurre generalmente justo antes o durante la aparición de la espiga en el embuchamiento. La polinización comienza en la porción central de la espiga y avanza hacia la punta y la base.
- **Desarrollo del grano y maduración.** - Una vez que la espiga emerge y la polinización ocurre, los granos empiezan a desarrollarse. La longitud del grano de cebada se establece en primer lugar, seguido por su anchura.

2.2.6 Enfermedades de importancia de la cebada

En el Ecuador las enfermedades más limitantes en el cultivo de cebada son las royas, caracterizadas por ser patógenos policíclicos que pueden mutar rápidamente; otras enfermedades importantes son: escaldadura, virus del enanismo de la cebada, Septoria y carbón (Ponce et al., 2020).

La roya amarilla es producida por el hongo *Puccinia striiformis* Westend. f. sp. *hordei* y puede atacar tanto al follaje como a las espigas. Se caracteriza por su color amarillo y crecimiento rectilíneo o estriado en dirección de las nervaduras de las hojas (Figura 2). Este patógeno puede reducir el rendimiento hasta en un 70%. La mejor manera de combatirlo es usando variedades resistentes a este patógeno (Ponce et al., 2020).

Figura 2

Hoja y espiga con presencia de roya amarilla (Puccinia striiformis)



Fuente: Ponce et al. (2020)

La roya de la hoja en la cebada es producida por *Puccinia hordei*. Se caracteriza porque las pústulas tienen forma circular o ligeramente elíptica y su distribución no sigue ningún patrón, el color de las pústulas fluctúa entre el anaranjado y el café anaranjado (Figura 3). Este patógeno puede reducir el rendimiento hasta en un 50%. La mejor manera de combatirlo es usando variedades resistentes a este patógeno (Ponce et al., 2020).

Figura 3

Hojas con presencia de roya de la hoja (Puccinia hordei)



Fuente: Ponce et al. (2020)

2.2.7 Variedades de cebada resistentes a roya amarilla en el Ecuador

En Ecuador se han entregado un total de 14 variedades mejoradas de cebada, aplicando todas las técnicas de selección, consiguiendo germoplasma con características deseables, de alto rendimiento, resistente a enfermedades y con calidad industrial. Estas variedades mejoradas fueron entregadas a los productores cerealeros de la Sierra ecuatoriana a su debido tiempo y son fruto del trabajo continuo de los Investigadores del Programa de Mejoramiento de Cereales del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

En promedio el proceso de generación y desarrollo de una nueva variedad mejorada conlleva entre 10 y 15 años de trabajo de investigación, evaluación y selección, antes de que llegue a manos del usuario final, los productores (Ponce et al., 2020). Algunas de las variedades puestas a disposición a los agricultores por parte del INIAP se detallan a continuación:

- INIAP-Alfa 2021.- Esta variedad está lista para su cosecha luego de 160 a 180 días, desde su siembra. El promedio de rendimiento es de 3.5 toneladas por hectárea; es de espiga de seis hileras. La planta llega a 90 y 100 centímetros. Resiste a las principales enfermedades que atacan al cultivo de cebada, como la roya amarilla y roya de la hoja. Puede ser cultivada en Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo y Azuay, en campos entre los 2 000 a 3 200 metros, con temperaturas de 13 a 24 °C (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2022).
- INIAP-ÑUSTA-2016.- es una variedad de cebada de grano descubierto, evaluada y seleccionada por el Programa de Cereales del INIAP para la Sierra sur ecuatoriana. Esta variedad de grano descubierto presenta seis hileras, con un potencial genético de rendimiento promedio de 4.38 t/ha. y 13 % de proteína. Presenta altos niveles de tolerancia a: roya amarilla (*Puccinia Striiformis*), roya de la hoja (*Puccinia hordei*), escaldadura (*Rynchosporium secalis*) y virus del enanismo amarillo de la cebada (Barley Yellow Draft Viruses) BYDV. Además, posee el siguiente historial de selección: CM 98-860-Cy-Y·G H-2M-QY·QY-OM-0E (INIAP, 2016).

2.3 Cultivo de avena

2.3.1 Importancia económica y social de la avena en el Ecuador

En el Ecuador el cultivo de la avena (*Avena sativa* L.) tiene buenas características geográficas, climáticas y de suelos, que le permiten una adecuada adaptación y desarrollo, sembrándose en todo el callejón Interandino en especial en las provincias de Azuay, Cotopaxi, Chimborazo, Loja, Tungurahua y El Oro (parte alta) (Pinto, 2012).

Según el Plan Nacional de Desarrollo Agropecuario 2 018 - 2 021 del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador, la avena es considerada uno de los principales cultivos de grano en el país y tiene un alto potencial económico. Se destaca su valor como materia prima para la industria alimentaria y el mercado de productos derivados de la avena (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018).

La avena es un cultivo de importancia en Ecuador debido a su valor como alimento nutritivo, su contribución a la seguridad alimentaria, su potencial económico, su papel en la sostenibilidad agrícola y sus beneficios ambientales. Su cultivo y consumo pueden promover el desarrollo agrícola sostenible y mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales en el país (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018).

2.3.2 Condiciones edafoclimáticas

La avena se puede cultivar en un amplio rango de condiciones climáticas. Sin embargo, presenta una mejor adaptación en temperaturas templadas a frías, con fotoperiodos largos y una regular distribución de las precipitaciones durante su ciclo de crecimiento (Salas, 2016).

La avena se adapta a variados tipos de suelos, las mayores respuestas productivas se obtienen en suelos medios a profundos (idealmente 40 o más centímetros), bien estructurados, idealmente de tipo granular de texturas medias (franco a franco limoso) a ligeramente arcillosas (franco arcilloso-limoso), con un nivel de pH ligero a moderadamente ácido (5,3 a 5,7), de buen drenaje y fertilidad media a alta (Salas, 2016).

No se recomienda su siembra en suelos delgados (10 a 20 cm), livianos o arenosos con baja capacidad de retención de humedad y pH superior a 6. El bajo contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo limitan su capacidad productiva (Salas, 2016).

2.3.3 Taxonomía

La clasificación taxonómica es la siguiente citado por Guerrero, (2012).

Reino : *Plantae*

División : *Magnoliophyta*

Clase : *Liliopsida*

Orden : *Poales*

Familia : *Poaceae*

Subfamilia : *Pooideae*

Tribu : *Aveneae*

Género : *Avena*

Especie : *sativa*

2.3.4 Morfología

La morfología de la planta de avena se puede describir de la siguiente manera:

- Posee un sistema radicular potente, con raíces más abundantes y profundas respecto a los demás cereales (Arias, 2008).
- Los tallos son gruesos y rectos, pero con poca resistencia al vuelco; tiene, en cambio, un buen valor forrajero, la longitud de éstos puede variar de medio metro hasta metro y medio. Están formados por varios entrenudos que terminan en gruesos nudos (Arias, 2008).
- En la unión del limbo y el tallo tienen una lígula, pero no existen estípulas. La lígula tiene forma oval y color blanquecino; su borde libre es dentado (Watson, 2011).
- El limbo de la hoja es estrecho y largo, de color verde más o menos oscuro; es áspero al tacto y en la base lleva numerosos pelos. Los nervios de la hoja son paralelos y bastante marcados (Watson, 2011).
- Wiersema (2007) señala que la inflorescencia es una panícula con un racimo de espiguillas de dos o tres flores, situadas sobre largos pedúnculos. La dehiscencia de las anteras se produce al tiempo de abrirse las flores sin embargo, existe cierta proporción de flores que abren sus glumas y glumillas antes de la maduración de estambres y pistilos, como consecuencia se producen degeneraciones de las variedades seleccionadas. El fruto es en cariósipide, con las glumillas adheridas.

2.3.5 Etapas de crecimiento

Las etapas de crecimiento y desarrollo, sin importar la variedad, localización o estación del año, son a menudo identificadas por el número de hojas desarrolladas. Las etapas de desarrollo se basan en un sistema común usado para todos los cereales de grano pequeño, el cual se le asignan número de cero al nueve (Tabla 2) (Reeves y Sraon, 1976).

Tabla 2*Etapas de desarrollo de la cebada*

Etapas de desarrollo	Días aproximados después de la germinación	Características
0	Primera etapa visible	Germinación: hinchamiento de la semilla y germinación a través de la superficie del suelo.
1	1	Desarrollo de las plántulas: salida para llegar a ser visible
2	5	Amacollamiento: iniciación y desarrollo de nuevos brotes.
3	37	Elongación del tallo: los nudos son visibles encima del suelo.
4	48	Embucho: la panícula se ubica en una vaina de la hoja bandera
5	58	Panícula: existe un extendimiento de la hoja bandera.
6	60	Floración: el polen es diseminado y existe un desarrollo de semilla.
7	68	Grano lechoso: llenado del grano, desarrollando un líquido lechoso.
8	74	Grano masoso: los granos alcanzan a ser firmes.
9	80	Madurez fisiológica: granos completamente desarrollados.

Fuente: Reeves y Sraon (1976)

2.3.6 Enfermedades de importancia de la avena

Según Mathias y Fernández (2019), la avena (*Avena sativa* L.) es reconocida por su mayor tolerancia a enfermedades, en comparación con otros cereales como trigo y cebada. Sin embargo, la variabilidad climática y condiciones ambientales específicas favorecen su desarrollo. Las principales enfermedades se detallan a continuación.

- **Roya de la hoja** (*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*). - Produce pérdidas de rendimiento, bajo peso hectólitro y extracción de grano, y tendadura. Pústulas naranjas y polvorientas en la superficie de la hoja, que producen urediosporas. A medida que avanza la madurez, se desarrolla el estado de esporas negras invernales (Teliosporas). En condiciones favorables puede infectar la vaina y las espiguillas en las panojas.
- **Manchas foliares por Septoria** (*Septoria avenae*). - Manchas redondas a alargadas o con forma de diamantes sobre las hojas, con borde café opaco, con puntos negros (Picnidios) en las manchas por debajo de la epidermis. La distribución de manchas es uniforme en las hojas afectadas. Con primaveras lluviosas pueden infectar el tallo (tallos negros), las glumas y granos (manchado).

2.3.7 Líneas y variedades de avena resistentes a roya de la hoja en Ecuador

Con el fin de estabilizar el rendimiento y reducir costos, se han realizado múltiples estudios para distinguir líneas avanzadas y variedades resistentes a roya de la hoja (*Puccinia coronata*), a continuación, se presentan algunas de ellas:

- INIAP-Fortaleza 2020. - dirigida a los productores de la Sierra Sur ecuatoriana, ha sido seleccionada a través de procesos participativos, con agricultores y ganaderos de las provincias de Cañar, Azuay y Loja. INIAP-Fortaleza 2020 es una avena que sirve para la producción tanto de forraje como de grano, presenta características deseables de productividad, calidad y resistencia a enfermedades. Proviene de la cruce entre las líneas 79BORDENAVE, SELECTION/KENYA y SR LINE cuyo historial de selección es 88-19-2E-15E-4E-1E-0E-0E-0E. Esta línea fue desarrollada por el Programa de Cereales de la Estación Experimental Santa Catalina (Jiménez et al., 2020).
- INIAP – 82. - es una es una variedad que destaca por su producción de masa verde, altura del tallo y ciclo vegetativo, posee las características agronómicas: hábito de crecimiento erecto, mantiene un buen macollaje, inflorescencia en panoja, grano, ovoide y lleno, ciclo vegetativo de 180 días; su rendimiento va de 1 300 a 5 000 kg ha⁻¹ (28 a 110 qq ha⁻¹); es tolerante a la roya negra del tallo y el virus del enanismo amarillo; se adapta a altitudes comprendidas entre 2 800 y 3 300 m s.n.m., la cantidad de semilla a utilizarse para obtención de la semilla 65 kg se debe aprovechar 140 lb ha⁻¹, para la producción de forraje 100 kg, se siembra 220 lb ha⁻¹; la dosis más adecuada de fertilización es 200 kg ha⁻¹ (4,4 qq ha⁻¹) de la fórmula 10-30-10 a la siembra y, a los 45 días, en la fase de macollamiento, debe agregarse 45 kg ha⁻¹ de urea (INIAP, 1984).

2.2. MARCO LEGAL

La presente investigación se realizó por medio de los parámetros de las leyes y artículos que rigen al país, como lo declara la constitución del Ecuador reafirmada en el 2008, la cual reconoce plenamente a la naturaleza como titular de derecho, tanto así, que en su Art. 71, manifiesta que “La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos”.

Es así que el plan de desarrollo 2021 - 2025 “Creación de oportunidades”, instituye en el Objetivo 3. “Fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícola, industrial, acuícola y pesquero, bajo el enfoque de economía circular.”, la cual implica mejorar la competitividad y productividad agrícola, acuícola, pesquera e industrial, incentivando el acceso a infraestructura adecuada, insumos y uso de tecnologías modernas y limpias, además de impulsar la soberanía y seguridad alimentaria para satisfacer la demanda.

Además, la Asamblea Nacional del Ecuador estableció la Ley Orgánica del Régimen Alimentario (LORSA, 2011) que regulan los derechos del buen vivir Sumak Kawsay, donde se estableció políticas agroalimentarias para fortalecer la agrobiodiversidad respetando sus normas conocimientos y formas de producción tradicionales y ancestrales, además su protección consiste en asociación de cultivos, la investigación, sostenimiento de especies, creación de bancos de semillas que promuevan la agrobiodiversidad.

CAPITULO III

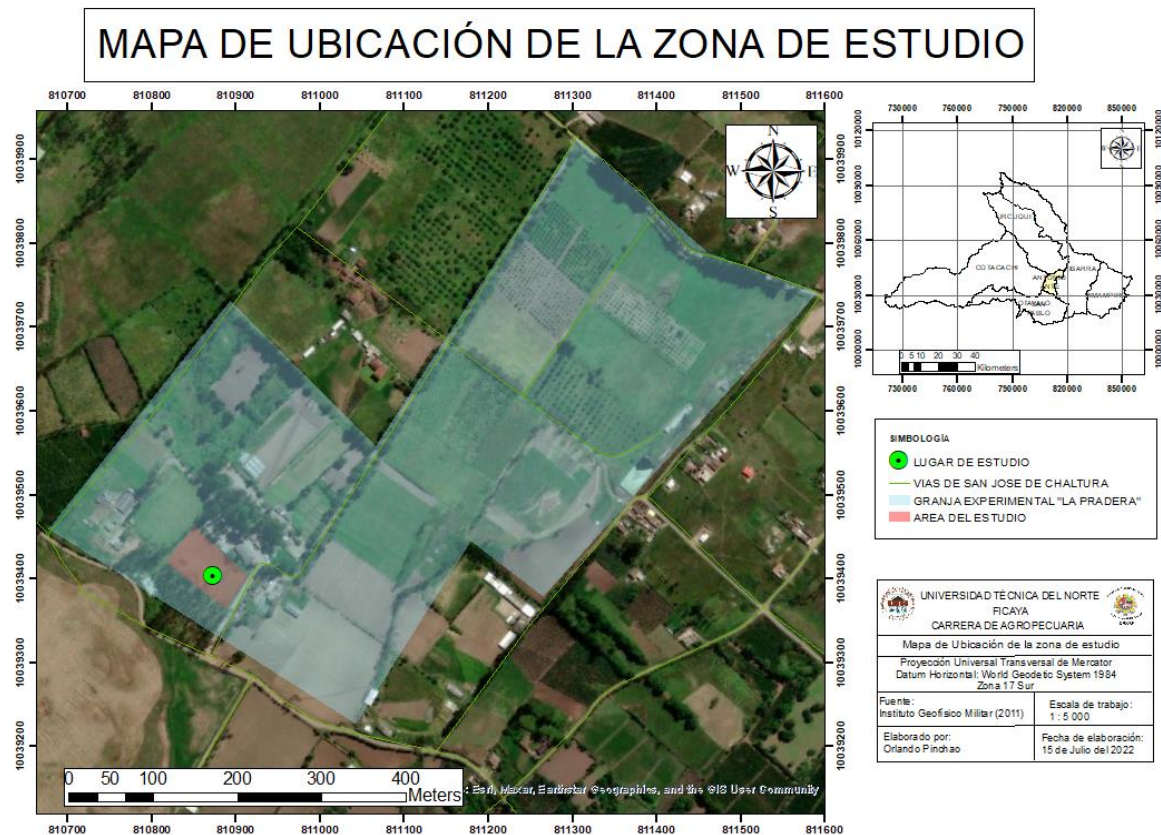
MARCO METODOLÓGICO

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en la Granja Experimental “La Pradera”, campus de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la parroquia San José de Chaltura en el cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura (Figura 4).

Figura 4

Mapa de ubicación del área de estudio.



3.1.1. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica y las características del lugar de estudio se detallan en la tabla 3.

Tabla 3

Caracterización del área de estudio

Ubicación del área de estudio	Descripción
Provincia	Imbabura
Cantón	Antonio Ante
Parroquia	San José de Chaltura
Lugar	Granja Experimental “La Pradera”
Altitud	2 163 m s.n.m.

3.1.2. Características climáticas

La parroquia de San José de Chaltura presenta un clima templado con las siguientes características climáticas:

- Temperatura baja: 9.5 °C
- Temperatura media: 16 °C
- Temperatura máxima: 24 °C
- Precipitación media anual: 750 mm año⁻¹
- Humedad relativa: 72%

3.2 MATERIALES

Los materiales de campo, equipos, insumos y herramientas que se utilizaron en la investigación se detallan a continuación (Tabla 4).

Tabla 4

Materiales, equipos, insumos y herramientas

Materiales	Equipos	Insumos	Herramientas manuales
Libreta de campo	Computadora	Fertilizantes	Azadón
Balanza	Impresora	Herbicidas	Palancón
Cinta métrica			Rastrillo
Lupa			Pala recta
Madera			Estacas
Rótulo			Piola

3.3 MÉTODOS

La presente investigación fue de tipo descriptiva, para la cual se evaluaron 7 variables cualitativas y 6 variables cuantitativas, el material evaluado fueron 52 líneas diferenciales de avena, 39 líneas diferenciales de trigo y 15 líneas diferenciales de cebada, las cuales son provenientes de Canadá, cada línea posee un gen distinto conocido que ha desarrollado resistencia a roya en el país del que proviene, sin embargo, se desconoce cómo se manifieste el gen bajo diferentes condiciones edafoclimáticas y bajo posibles diferentes razas de roya que se encuentren en la zona.

3.3.1. Unidad muestral

Para el ensayo la unidad muestral correspondió a cada una de las líneas diferenciales de avena, trigo y cebada. El pedigree o gen de cada línea se detalla en la tabla 5.

Tabla 5*Unidades muestrales categorizadas por especie*

<i>Avena sativa</i>		<i>Triticum aestivum</i>		<i>Hordeum vulgare</i>	
Unidad muestral	Pedigree/Gen	Unidad muestral	Pedigree/Gen	Unidad muestral	Pedigree/Gen
SA1	Pc 38	ST1	Avocet-YRA	SC1	HB522
SA2	Pc 39	ST2	Avocet+YRA	SC2	Mahigan
SA3	Pc 40	ST3	YR/6*AOC	SC3	Topper
SA4	Pc 45	ST4	Sietre Cerros T66 (Yr2)	SC4	KAO-32-12
SA5	Pc 46	ST5	YR5/6*AOC	SC5	Heils Franken
SA6	Pc 48	ST6	YR6/6*AOC	SC6	Emir
SA7	Pc 50	ST7	YR7/6*AOC	SC7	Astrix
SA8	Pc 51	ST8	YR8/6*AOC	SC8	Hiproly
SA9	Pc 52	ST9	YR9/6*AOC	SC9	Varundha
SA10	Pc 54	ST10	YR10/6*AOC	SC10	Abed Binder 12
SA11	Pc 56	ST11	YR15/6*AOC	SC11	Trumpf
SA12	Pc 58	ST12	YR17/6*AOC	SC12	Mazurka
SA13	Pc 59	ST13	YR18/3*AOC	SC13	Bigo
SA14	Pc 62	ST14	YR24/3*AOC	SC14	I5
SA15	Pc 64	ST15	YR26/3*AOC	SC15	Bancroft
SA16	Pc 68	ST16	YR27/6*AOC		
SA17	Pc 91	ST17	YRSP/6*AOC		
SA18	Pc 94	ST18	YRCV/6*AOC		
SA19	Pc 96	ST19	Yr28		
SA20	Pc 97	ST20	Yr29		
SA21	AC Assiniboia	ST21	Yr31		
SA22	Harmon	ST22	ACBarrie		
SA23	Marion	STS23	CDCTeal		
SA24	AC Medallion	ST24	Lillian		
SA25	AC Morgan	ST25	AC Avonlea		
SA26	MN841801	ST26	CDC Alsask		
SA27	AC Mustang	ST27	CDC GO		
SA28	Calibre	ST28	AC Interpid		
SA29	CDC Boyer	ST29	Carberry		
SA30	CDC Dancer	ST30	Produra		
SA31	CDC Minstrel	ST31	Yr26/6*Avocet S		
SA32	CDC Orrin	ST32	AC Certa		
SA33	CDC Pro-Fi	ST33	Ultima		
SA34	CDC Seabiscuit	ST34	Pronghorn		
SA35	CDC Sol-Fi	ST35	Bunker		
SA36	CDC Weaver	ST36	Brevis		
SA37	Derby	ST37	Zak		
SA38	Furlong	ST38	Yr43		
SA39	HiFi	ST39	Yr44		
SA40	Jordan				
SA41	Leggett				
SA42	Lu				
SA43	OT3037				
SA44	OT3039				
SA45	OT3044				
SA46	Pinnacle				
SA47	Ronald				
SA48	Souris				
SA49	Stainless				
SA50	Summit				
SA51	SW Betania				
SA52	Triactor				

Las dimensiones de cada unidad muestral del ensayo se detallan en la tabla 6.

Tabla 6

Medidas de cada unidad muestral

Datos	Medidas
Largo de la unidad muestral	1.2 m
Ancho de la unidad muestral	0.25 m
Área de la unidad muestral	0.3 m ²

3.3.2. Análisis estadístico.

Se utilizó el software INFOSTAT para realizar un análisis estadístico descriptivo, se hizo uso de los datos cualitativos y cuantitativos recolectados del ensayo para ingresarlos al programa y formar gráficas que permitieran comprender las variables a evaluar.

3.4. VARIABLES EVALUADAS

Se evaluaron siete variables cualitativas y seis variables cuantitativas, detalladas a continuación.

3.4.1 Emergencia

La emergencia consistió en estimar el número de plantas emergidas en la parcela o campo experimental. Este parámetro fue subjetivo y se evaluó visualmente, expresándolo como bueno, regular y malo, con sus respectivos porcentajes (Tabla 7) (Ponce-Molina et al., 2019).

Tabla 7

Escala de evaluación de germinación en cereales

Escala	Descripción
Buena	81-100% plantas germinadas.
Regular	60-80% plantas germinadas.
Malo	<60% plantas germinadas.

Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

Este parámetro se valoró en la etapa de desarrollo Z 12 o Z 13 según la escala de Zadoks: dos o tres hojas desarrolladas (Figura 5) (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 5

Evaluación de la variable emergencia



Nota: Germinación mala (2 surcos a la izquierda), regular (2 surcos en el medio) y buena (2 surcos a la derecha) en plantas de trigo.

3.4.2 Vigor de la planta

La evaluación del vigor tiene como objetivo evaluar la expresión genética propia de cada material. El vigor es la fuerza con la que crecen las plantas en una parcela, basados en el desarrollo general del cultivo (tamaño de planta, tamaño de hoja, población, entre otros). Para esta evaluación se tomó en cuenta la escala para evaluar el vigor, extraído del manual de parámetros de evaluación y selección de cereales (Tabla 8) (Ponce-Molina et al., 2019).

Tabla 8

Escala de evaluación de vigor de planta en cereales.

Escala	Nomenclatura	Descripción
1	Bueno	Plantas y hojas grandes, bien desarrolladas
2		Escala intermedia
3	Regular	Plantas y hojas medianamente desarrolladas
4		Escala intermedia
5	Malo	Plantas pequeñas y hojas delgadas

Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

Este parámetro es subjetivo y se evaluó visualmente (Figura 6), comparando el desarrollo general de las plantas, entre líneas y/o parcelas. Se valoró en la etapa de desarrollo Z 14 o Z 15 según la escala de Zadoks: cuatro a cinco hojas desarrolladas, antes del inicio del macollamiento (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 6

Evaluación de vigor de la planta en cereales



Nota: Vigor regular (2 surcos a la izquierda), bueno (2 surcos en el medio) y malo (2 surcos a la derecha) en plantas de trigo.

3.4.3 Hábito de crecimiento

Este factor está relacionado con la forma en que crece la planta, básicamente en cuanto a la disposición de las hojas y tallos durante el desarrollo en etapas iniciales. Para este parámetro se utilizó una escala de tres descriptores, mismos que están relacionados a la disposición de las hojas (Tabla 9) (Ponce-Molina et al., 2019).

Tabla 9

Escala de evaluación de hábito de crecimiento o porte en cereales

Escala	Nomenclatura	Descripción
1	Erecto	Hojas dispuestas verticalmente hacia arriba.
2	Intermedio (Semierecto o semipostrado)	Hojas dispuestas diagonalmente, formando un ángulo de 45°.
3	Postrado	Hojas dispuestas horizontalmente, sobre la superficie del suelo

Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

La etapa de evaluación de esta variable en el cultivo según la escala de Zadoks es desde la Z 20 a la Z 29, es decir en el macollamiento. Este parámetro es subjetivo y se evaluó visualmente (Figura 7) (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 7

Evaluación de hábito del crecimiento



Nota: Escala 1 (2 surcos a la izquierda), Escala 2 (2 surcos en el medio) y Escala 3 (2 surcos a la derecha) en plantas de trigo.

3.4.4. Días al espigamiento

Este parámetro se realizó en forma visual, tomando en cuenta el número de días desde la siembra hasta que espigó el 50% de la parcela (Figura 8). La etapa de evaluación de esta variable en el cultivo según la escala de Zadoks es la Z 55, es decir, cuando la mitad de la inflorescencia se encuentra emergida. Se realizó hacer lecturas continuas debido a que los materiales florecen en diferentes días (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 8

Evaluación de días al espigamiento



Nota: Surcos de avena con más del 50% de inflorescencia emergida.

3.4.5 Altura de planta

Este parámetro se midió desde la superficie del suelo hasta el extremo de la espiga en centímetros, empleando una regleta, excluyendo las aristas (Figura 9). El momento de la evaluación fue cuando el cultivo alcanzó la madurez comercial. La etapa de evaluación de esta variable en el cultivo según la escala de Zadoks es la Z 91: cariósido duro, difícil de dividir (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 9

Evaluación de altura de la planta



Nota: Medición de la altura de avena en campo.

3.4.6 Tipo de paja

Según Ponce-Molina et al. (2019), la etapa de desarrollo del cultivo para el registro de este parámetro, según la escala de Zadoks es la Z 91, cariósipide duro. Para este parámetro se empleó una escala de 1 al 3, descrita en la tabla 10.

Tabla 10

Escala de evaluación de tipo de paja en cereales

Escala	Nomenclatura	Descripción
1	Tallo Fuerte	Tallos gruesos, erectos y flexibles, que soportan el viento y el acame.
2	Tallo Intermedio	Tallos no muy gruesos erectos y medianamente flexibles que soportan parcialmente el acame.
3	Tallo Débil	Tallos delgados e inflexibles, que no soportan el viento y el acame.

Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

Según Ponce-Molina et al. (2019), esta evaluación depende mucho del criterio del técnico del evaluador y de las condiciones reinantes durante el periodo de desarrollo del cultivo (Figura 10).

Figura 10

Evaluación de tipo de paja



Nota: Tallo fuerte (surcos de la izquierda), tallo intermedio (surcos del medio) y tallo débil (surcos de la derecha).

3.4.7 Tamaño de espiga

Para este parámetro se tomó 10 espigas al azar de cada parcela y se midió desde la base de la espiga hasta el extremo de esta, sin incluir las aristas, con el uso de una cinta métrica (Figura 11). La evaluación se realizó cuando el cultivo alcanzó la madurez comercial (Ponce-Molina et al., 2019).

Este es uno de los componentes que nos permite estimar la productividad del cultivo. La etapa de desarrollo del cultivo, para el registro de este parámetro, según la escala de Zadoks es la Z 92, misma que muestra una cariósida dura (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 11

Evaluación de tamaño de espiga



Nota: Medición de las espigas en campo.

3.4.8 Número de granos por espiga

Es el número de granos que alcanzó la espiga durante su desarrollo completo. Este parámetro es visual, para ello se tomó al azar 10 espigas y se contó manualmente el número de granos llenos de cada espiga, la evaluación se realizó cuando el cultivo alcanzó la madurez comercial (Figura 12). Este es uno de los componentes que nos permite estimar la productividad del cultivo (Ponce-Molina et al., 2019).

La etapa de desarrollo del cultivo, para el registro de este parámetro según la escala de Zadoks es la Z 92, misma que muestra una cariósida dura lo que quiere decir que no se marca con la uña (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 12

Evaluación del número de granos por espiga



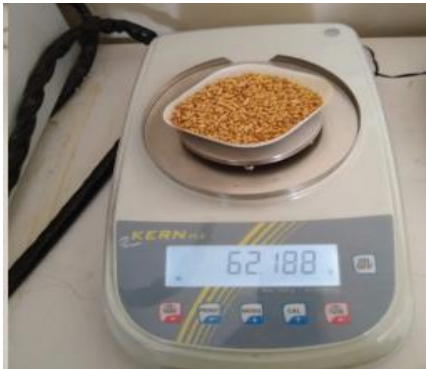
Nota: Conteo del número de granos por espiga en campo.

3.4.9 Rendimiento de grano

Para esta variable se pesó en su totalidad la producción de cada línea diferencial, se consideró que el grano se encuentre limpio y cuente con el rango de humedad adecuado (alrededor del 13%) (Figura 13). Este valor dado en g/parcela se lo transformó a Tn/ha para calcular el rendimiento potencial estimado, además, se le restó un 10% esto debido a que en extensiones más grandes de terreno se producen pérdidas en la cosecha. (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 13

Recolección de datos del rendimiento de grano



Nota: Utilización de la gramera para conocer los gramos por parcela.

3.4.10 Peso hectolítrico o específico

Es el peso del grano en un volumen específico, esto quiere decir que mientras mayor peso se alcanza mejor es la calidad del producto. Este peso se determinó en kilogramos por hectolitro (kg/hL), para ello se empleó una balanza para peso específico o hectolítrico (Figura 14) (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 14

Recolección de datos del peso hectolítrico



Nota: Utilización de la balanza para peso hectolítrico.

3.4.11 Peso de 1000 granos

Consistió en el peso que alcanzan 1000 granos seleccionados al azar; mientras mayor es el peso, mayor es el rendimiento potencial del cultivo. Para ello se empleó una balanza electrónica configurada en gramos (Figura 15) (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 15

Recolección de datos del peso de los 1000 granos



Nota: Utilización del contador de granos.

3.4.12 Tipo y color de grano

Es la calificación que recibe el grano de acuerdo con su color, forma, tamaño, uniformidad o daño. Se evaluó una vez que el grano estuvo totalmente seco. Según el cultivo, se empleó las siguientes escalas propuestas por el Programa de Cereales del INIAP, detalladas en las tablas 11, 12 y 13.

Tabla 11

Escala de evaluación para tipo de grano en cebada.

Escala	Descripción
***	Grano grande, grueso, redondo, blanco o crema
**	Grano mediano, redondo, blanco o amarillo
*	Grano mediano, alargado, crema o amarillo
+	Grano pequeño, delgado, manchado, chupado

Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

Tabla 12

Escala de evaluación para tipo de grano en trigo.

Escala	Descripción
1	Grano grueso, grande, bien formado, limpio
2	Grano mediano, bien formado, limpio
3	Grano pequeño, delgado, manchado, chupado

Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

Tabla 13

Escala de evaluación para tipo de grano en avena.

Escala	Descripción
**	Grano excelente, grueso, grande, amarillo o blanco
*	Grano mediano, grueso, blanco o amarillo
+	Grano pequeño, delgado, manchado, chupado

Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

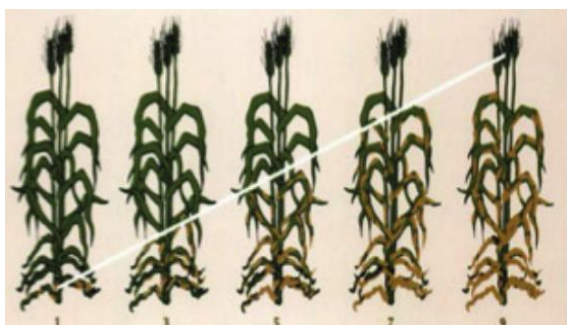
3.4.13 Reacción a enfermedades

3.4.13.1. Mancha foliar

Se emplea la escala de Doble Dígito de Saari-Prescott (0-9) para enfermedades foliares en trigo y cebada en el cual se representa el avance vertical de la enfermedad identificada por el primer dígito, 0-9 (Figura 16) y una estimación de la gravedad del daño representada por el segundo dígito, expresada en porcentaje (Figura 17).

Figura 16

Escala de Saari-Prescott (0-9) para evaluar la intensidad de las enfermedades foliares en el trigo y la cebada.



Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

Figura 17

*Porcentaje de la superficie foliar o de la espiga afectada por *S. nodorum*.*



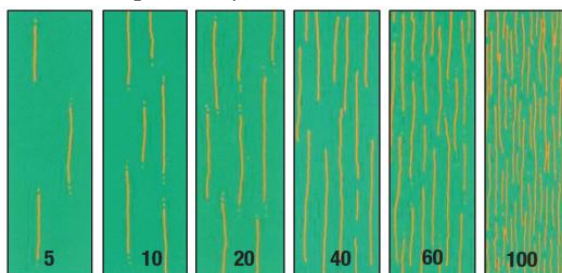
Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

3.4.13.2. Severidad de roya amarilla

Para la evaluación sanitaria de roya amarilla, se empleó la escala proporcionada por el CIMMYT para la severidad (porcentaje de roya en las plantas), la cual se basa en observaciones visuales con el uso de intervalos (Figura 18), según la gravedad de la infección (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 18

Severidad para roya amarilla o lineal



Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

3.4.13.3. Tipo de reacción de roya amarilla

Para determinar el tipo de reacción a royas se usa la siguiente escala (Tabla 14):

Tabla 14

Escala para determinar el tipo de reacción en royas.

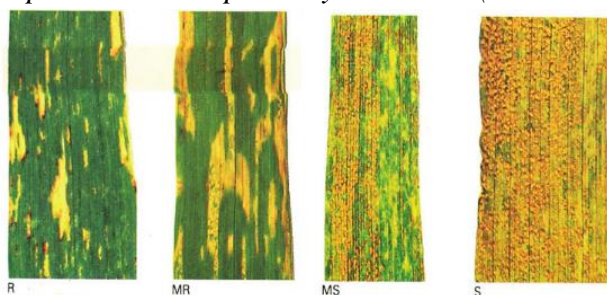
Reacción	Descripción
0	Ningún síntoma visible en la planta.
R	Clorosis o necrosis visibles sin presencia de uredias.
MR	Pequeñas uredias rodeadas por áreas cloróticas o necróticas.
M	Uredias de variados tamaños, algunos con clorosis, necrosis o los dos.
MS	Uredias de tamaño medio posiblemente rodeados de clorosis.
S	Grandes uredias generalmente con poca o ninguna clorosis o necrosis.

Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

La siguiente imagen muestra de manera más detallada el tipo de reacción (Figura 19).

Figura 19

*Tipo de reacción para roya amarilla (*Puccinia striiformis*).*



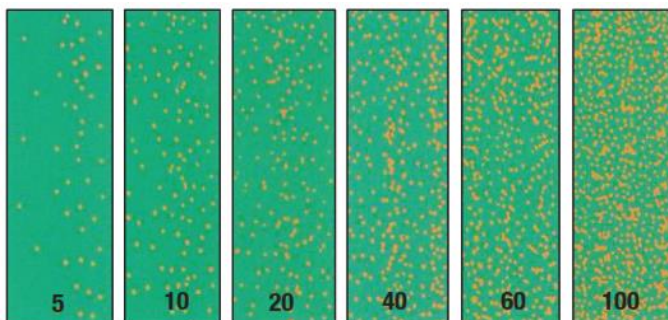
Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

3.4.13.4. Severidad de roya de la hoja

Para la evaluación de roya de la hoja, se empleó la escala proporcionada por el CIMMYT para la severidad (porcentaje de roya en las plantas), la cual se basa en observaciones visuales con el uso de intervalos (Figura 20), según la gravedad de la infección (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 20

Severidad para roya de la hoja



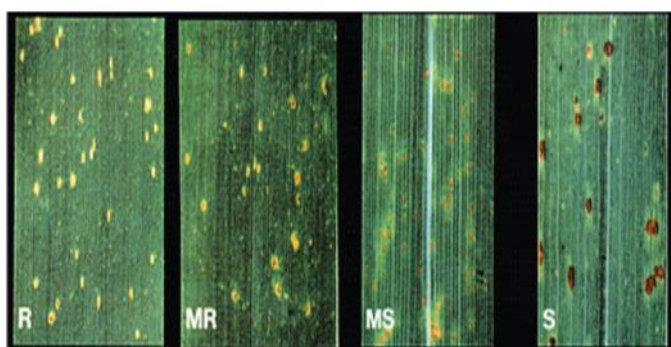
Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

3.4.13.5. Tipo de reacción de roya de la hoja

Para determinar esta variable se usó la escala para determinar el tipo de reacción en royas (Tabla 14), mostrada anteriormente. Para una mejor comprensión visual se muestra el tipo de reacción en la Figura 21.

Figura 21

*Tipo de reacción para roya de la hoja (*Puccinia triticina*).*



Fuente: Ponce-Molina et al. (2019)

3.5. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

3.5.1. Selección del lote

Para la selección del lote se consideró los siguientes aspectos: no haber sido cultivado con ningún cereal (cebada, trigo, avena y/o centeno) en el ciclo o campaña anterior; no haber sido empleado como "era" para trillar trigo u otro cereal en el ciclo anterior; terreno con una pendiente no superior al 5% (Figura 22) (Garófalo et al., 2011).

Figura 22

Selección del lote para la implementación del ensayo



3.5.2. Preparación del suelo

Se realizó con anticipación (un mes antes de la siembra), esto para garantizar que exista una adecuada descomposición de las malezas, residuos y/o abono orgánico (estiércoles), a incorporarse al lote. La remoción del suelo durante la preparación, contribuyó a controlar plagas presentes en el terreno (Figura 23) (Garófalo et al., 2011).

Figura 23

Preparación del terreno con la maquinaria



3.5.3. Siembra

Para la siembra el INIAP facilitó semilla procedente de Canadá, la cual se encontraba desinfectada. Posteriormente, se sembró de forma manual a una densidad de 5 gr de semilla para dos surcos de 1 metro, se consideró que el suelo tuviera una adecuada humedad (capacidad de campo), para garantizar una buena germinación de la semilla. La profundidad de siembra fue de aproximadamente 5 cm, para evitar el ahogamiento y pérdida de la semilla (Figura 24) (Garófalo et al., 2011).

Figura 24

Siembra del ensayo



3.5.4. Fertilización

La fertilización se basó en la recomendación básica de nutrientes, es decir 200 kg / ha de 10-30-10 al momento de la siembra, y posteriormente al macollamiento (30-45 días después de la siembra) 150 kg / ha de urea. Es decir, se aplicó 6 gr de 10-30-10 por unidad muestral de 0.3 m² en la siembra y 4.5 gr de úrea en el macollamiento (Figura 25) (Garófalo et al., 2011).

Figura 25

Fertilización en el momento de la siembra



3.5.5. Control de malezas

El control químico consistió en la aplicación de un herbicida específico para malezas de hoja ancha, metsulfurón-metil en la etapa del macollamiento en la etapa de Zadoks (Z 20), en dosis recomendada por el fabricante (Figura 26).

Figura 26

Control de maleza



3.5.6. Controles fitosanitarios

En el ensayo de investigación se evaluó la incidencia y severidad de las principales enfermedades, por lo que no se realizó aplicaciones de agroquímicos para el control de enfermedades.

3.5.7. Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual, usando una hoz una vez que las plantas han llegado a su madurez de campo (Figura 27).

Figura 27

Cosecha de las líneas diferenciales de trigo



3.5.8. Trilla

La trilla se realizó de forma mecánica utilizando una trilladora para experimentos (Figura 28). El grano trillado fue almacenado en fundas de tela con su debida etiqueta con la información del ensayo.

Figura 28

Trilla de la semilla



3.5.9. Secado de la semilla

Posterior a la cosecha y trilla, se procedió al secado de la semilla dejándola a temperatura ambiente, hasta obtener una humedad de grano de no mayor al 13% (Figura 29). Posteriormente se realizó la limpieza del grano, para luego almacenar el grano en fundas de tela.

Figura 29

Secado y medición de la humedad de la semilla



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de las 106 líneas de avena, trigo y cebada las cuales fueron proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), bajo las condiciones agroclimáticas de Chaltura.

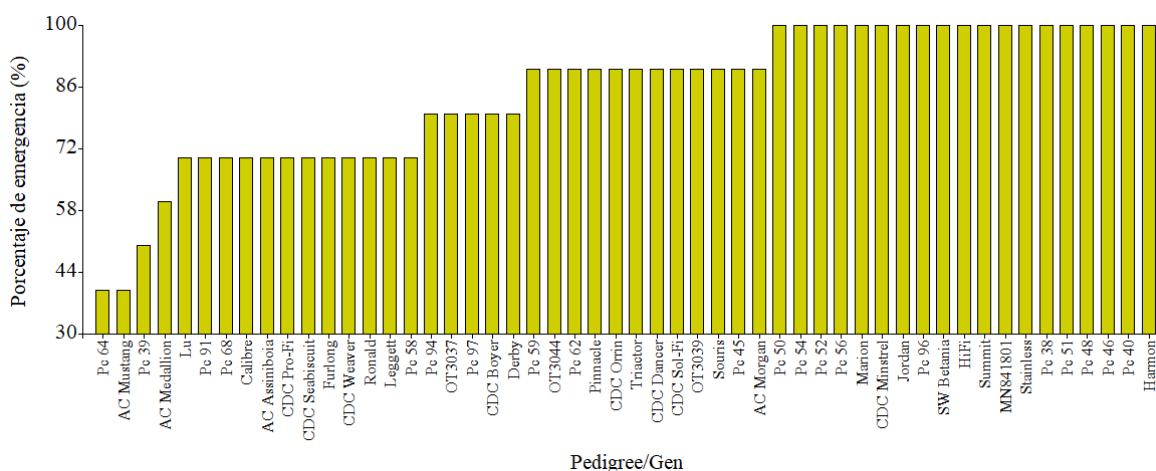
4.1. Emergencia

4.1.1. Emergencia de las líneas diferenciales de avena

De las 52 líneas de avena evaluada, el 69% (36 líneas) presentaron buen porcentaje de emergencia, esto quiere decir que existió más del 80% de plantas emergidas en la unidad de evaluación; mientras que el 23% (12 líneas) presentaron una emergencia regular, lo cual quiere decir que presentó un porcentaje de emergencia en el rango de 60 al 80%; por último, el 8% (4 líneas) presentaron una emergencia mala, lo cual quiere decir que presentó un porcentaje de emergencia menor al 60% (Figura 30).

Figura 30

Porcentaje de emergencia de avena

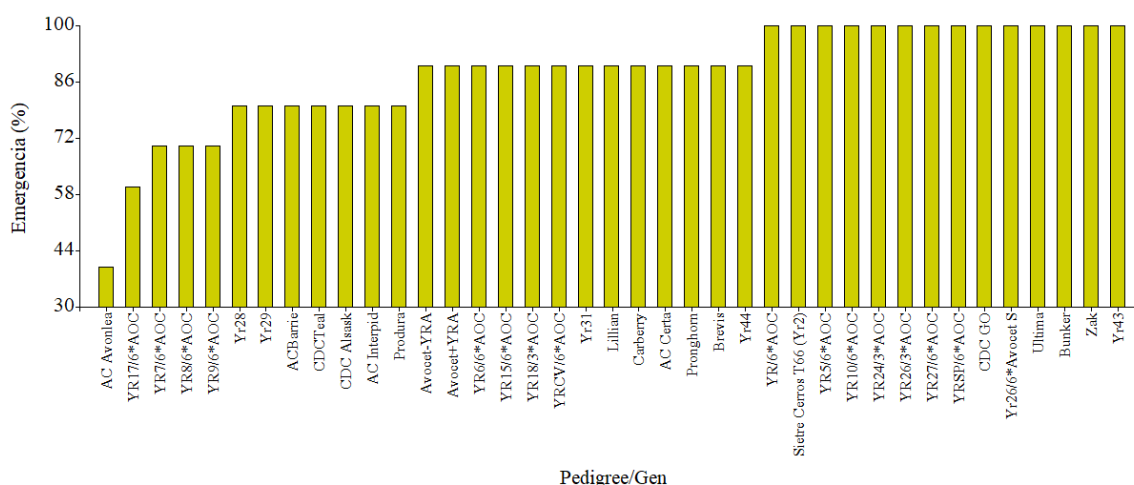


4.1.2. Emergencia de las líneas diferenciales de trigo

De las 39 líneas de trigo evaluado, el 87% (34 líneas) presentaron buen porcentaje de emergencia, esto quiere decir que existió más del 80% de plantas emergidas en la unidad de evaluación; mientras que el 10% (4 líneas) presentaron una emergencia regular, lo cual quiere decir que presentó un porcentaje de emergencia en el rango de 60 al 80%; por último, el 3% (1 línea) presentaron una emergencia mala, lo cual quiere decir que presentó un porcentaje de emergencia menor al 60% (Figura 31).

Figura 31

Porcentaje de emergencia de trigo

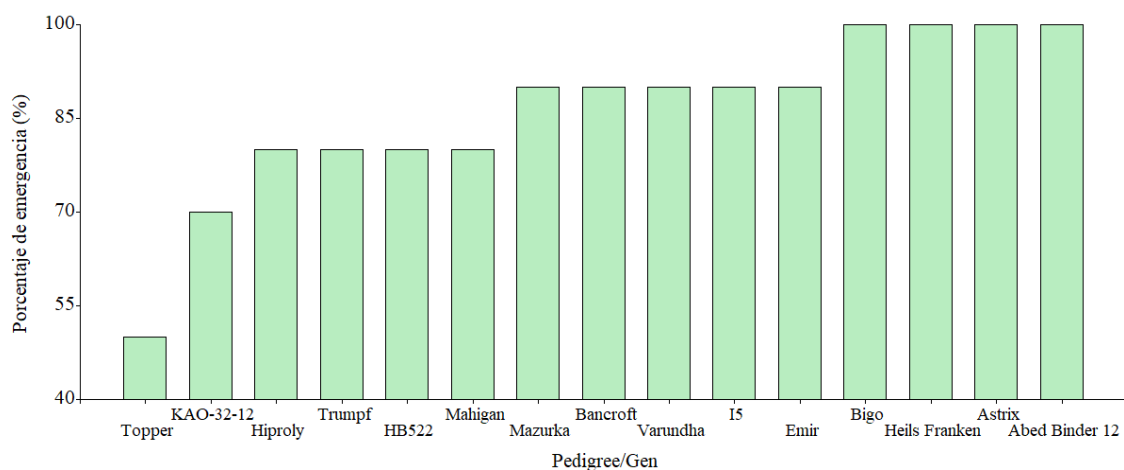


4.1.3. Emergencia de las líneas diferenciales de cebada

De las 15 líneas de cebada evaluadas, el 86% (13 líneas) presentaron buen porcentaje de emergencia, esto quiere decir que existió más del 80% de plantas emergidas en la unidad de evaluación; mientras que el 7% (1 línea) presentó una emergencia regular, lo cual quiere decir que presentó un porcentaje de emergencia en el rango de 60 al 80%; por último, el 7% (1 línea) presentó una emergencia mala, lo cual quiere decir que presentó un porcentaje de emergencia menor al 60% (Figura 32).

Figura 32

Porcentaje de emergencia de cebada



Un estudio en el cual se evaluaron las mismas líneas diferenciales en la localidad de Naguán en la provincia de Bolívar, se obtuvieron para la avena porcentajes de germinación dentro del rango del 80 al 100%, lo cual quiere decir que en su totalidad tuvieron una buena emergencia, esto difiere de las líneas evaluadas en Chaltura ya que se obtuvieron porcentajes más bajos (69% con buena emergencia). En relación con las líneas de trigo, el porcentaje

con buena emergencia en Chaltura es de 87%, a diferencia de Naguán que presenta un 100% de líneas con buena emergencia. Por último, el 86% de las líneas de cebada en Chaltura presentan una buena germinación, porcentaje similar a la localidad de Naguán, que presenta un 93.3% con buena germinación. (Heredia, 2022).

Según Ponce-Molina et al. (2019), la causa principal de que Naguán presente porcentajes de emergencia más elevados se debería a que la localidad tendría mejores condiciones en cuanto a las precipitaciones y la temperatura.

4.2. Vigor de la planta

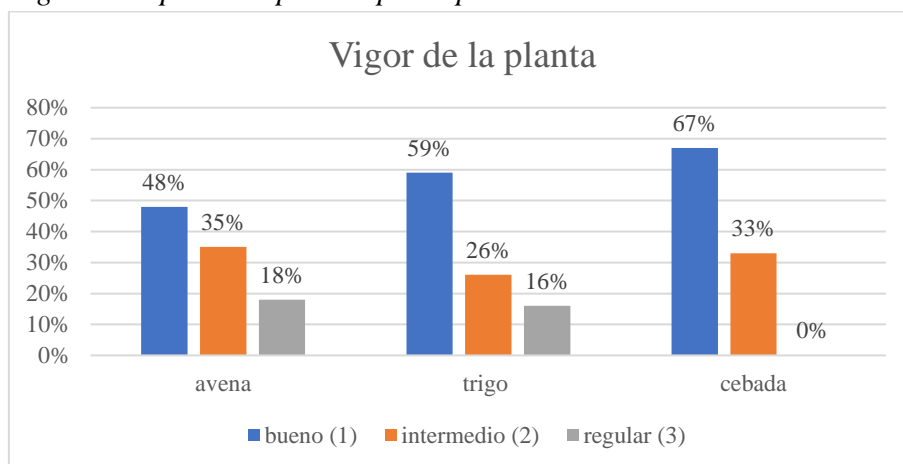
En cuanto al vigor de la planta en las accesiones de avena, se determinó que el 48% de accesiones presentaron un buen vigor (1), es decir, plantas y hojas grandes bien desarrolladas; mientras que el 35% un vigor intermedio entre bueno y regular (2); por otra parte, el 18% un vigor regular (3), es decir plantas y hojas medianamente desarrolladas.

En cuanto al vigor de la planta en las accesiones de trigo, se determinó que el 59% de accesiones presentaron un buen vigor (1), es decir, plantas y hojas grandes bien desarrolladas; mientras que el 26% un vigor intermedio entre bueno y regular (2); por otra parte, el 16% un vigor regular (3), es decir plantas y hojas medianamente desarrolladas.

En cuanto al vigor de la planta en las accesiones de cebada, se determinó que el 67% de accesiones presentaron un buen vigor (1), es decir, plantas y hojas grandes bien desarrolladas; mientras que el 33% restante un vigor intermedio entre bueno y regular (2), es decir plantas y hojas medianamente desarrolladas (Figura 33).

Figura 33

Vigor de la planta separado por especies



Estos resultados nos determinan que los tres cereales, tuvieron una buena adaptación a la zona, al menos hasta la etapa Z14 (cuatro a cinco hojas desarrolladas) que fue el momento en el cual se realizó la evaluación de esta variable. Estos datos cualitativos dependen mucho de las condiciones bioclimáticas existentes y la disponibilidad de nutrientes proporcionada a la planta (Ponce-Molina et al., 2019).

Un estudio realizado en la localidad de Naguán obtuvo un comportamiento similar, se destaca el buen vigor en ambas localidades, en Naguán el trigo presentó un 46.20% con buen vigor, mientras que en Chaltura presentó un 48%; por otra parte, en Naguán la cebada presentó un 66.7% con buen vigor, mientras que en Chaltura presentó un 67%, claramente se evidencia un comportamiento similar, siendo los que mejor se adaptan y presentan un mayor vigor; la avena por otra parte, se llegó a adaptar de manera idónea en Chaltura ya que presentó un 48% de plantas con un buen vigor, sin embargo, en la localidad de Naguán el porcentaje fue inferior, siendo del 21.2% de plantas con buen vigor (Ponce-Molina et al., 2019; Heredia, 2022).

4.3. Hábito de crecimiento

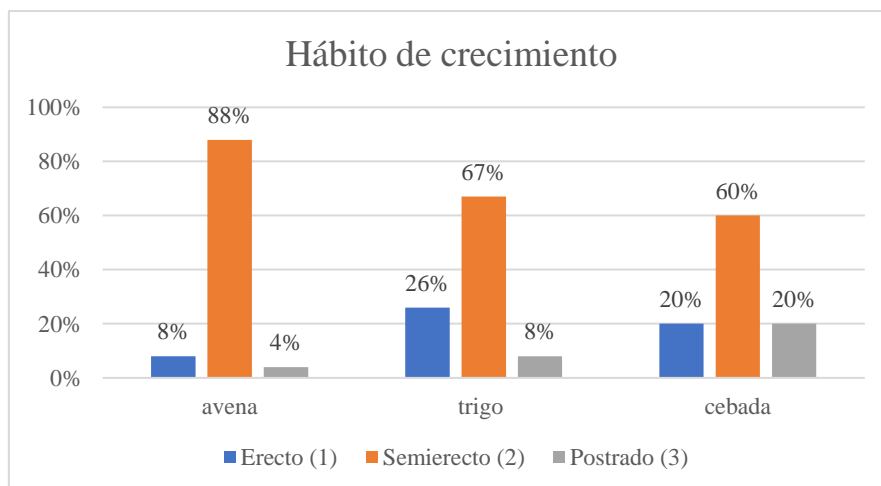
En cuanto a la variable hábito de crecimiento en las 52 líneas diferenciales de avena, el 8% presentó un porte erecto, es decir hojas dispuestas verticalmente hacia arriba; por otra parte, el 88% presentó un porte semierecto o semipostrado (2), es decir hojas dispuestas diagonalmente, formando un ángulo de 45%; finalmente un 4% presentó un porte postrado (3), es decir hojas dispuestas horizontalmente, sobre la superficie del suelo.

En cuanto a la variable hábito de crecimiento en las 39 líneas diferenciales de trigo, el 26% presentó un porte erecto, es decir hojas dispuestas verticalmente hacia arriba; por otra parte, el 67% presentó un porte semierecto o semipostrado (2), es decir hojas dispuestas diagonalmente, formando un ángulo de 45%; mientras que un 8% presentó un porte postrado (3), es decir hojas dispuestas horizontalmente, sobre la superficie del suelo.

En cuanto a la variable hábito de crecimiento en las 15 líneas diferenciales de cebada, el 20% presentó un porte erecto, es decir hojas dispuestas verticalmente hacia arriba; por otra parte, el 60% presentó un porte semierecto o semipostrado (2), es decir hojas dispuestas diagonalmente, formando un ángulo de 45%; finalmente un 20% presentó un porte postrado (3), es decir hojas dispuestas horizontalmente, sobre la superficie del suelo (Figura 34).

Figura 34

Hábito de crecimiento separado por especies



Estos resultados nos muestran que los tres cereales, tienen un mayor porcentaje de tallos semierecto (escala 2), esto concuerda con un estudio realizado en la localidad de Naguán, en donde predominaron los tallos semierectos con un 96.2% para la avena, 76.9% para el trigo y 86.7% para la cebada. Factores como la temperatura, precipitación, fotoperiodo y nutrientes del suelo pueden estar ligados a los resultados de esta variable, sin embargo, no existe mucha variación en cuanto al hábito de crecimiento en la localidad de Naguán y Chaltura, por lo cual este comportamiento está ligado a la constitución genética del germoplasma (Ponce-Molina et al., 2019; Heredia, 2022).

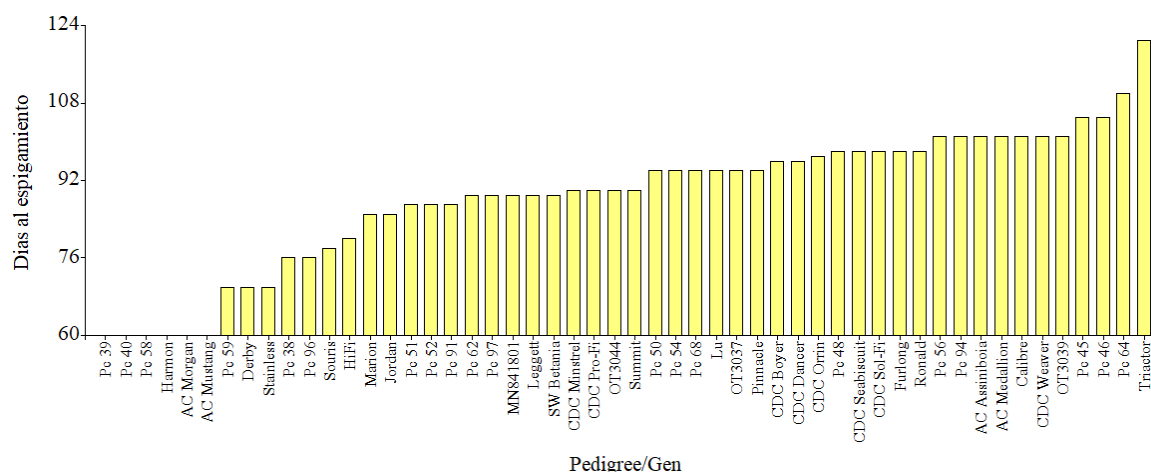
4.4. Días al espigamiento

4.4.1. Días al espigamiento de la avena

Con respecto a la variable días al espigamiento en las accesiones de avena, se determinó que 7 accesiones que equivale al 13% registraron precocidad con un rango de 70 a 80 días, destacándose la Pc 59, Derby y Stainless como las más precoces; mientras que 14 accesiones que equivale al 27% espigaron en un rango de 80 a 90 días, este rango corresponde al ideal; 21 accesiones tardías que representan el 40% germinaron en el rango de 90 a 101 días, corresponden al rango en el cual espigaron la mayor parte de accesiones; por último las accesiones que más tardaron en espigar fueron 4 lo cual representa un 8%, siendo la triactor la más tardía con 121 días. El restante 12% no llegó a espigar. Estos resultados nos indica claramente los diferentes comportamientos de los genotipos de avena evaluados (Figura 35).

Figura 35

Días al espigamiento en las accesiones de avena



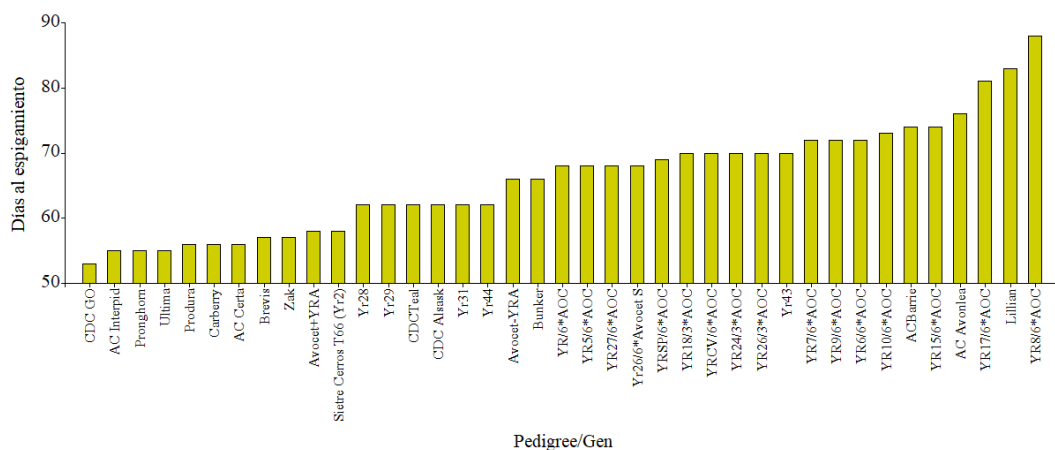
4.4.2. Días al espigamiento del trigo

Con respecto a la variable días al espigamiento en las accesiones de trigo, se determinó que 11 accesiones que equivale al 28% registraron precocidad con un rango de 53 a 58 días, destacándose la CDC GO como la más precoz; mientras que 24 accesiones que

equivale al 62% espigaron en un rango de 62 a 74 días, siendo el rango en el cual espigaron la mayor parte de accesiones; por último las accesiones más tardías fueron 4 lo cual representa el 10% restante, siendo la más tardía la YR8/6*AOC que espigó a los 88 días (Figura 36).

Figura 36

Días al espigamiento en las accesiones de trigo

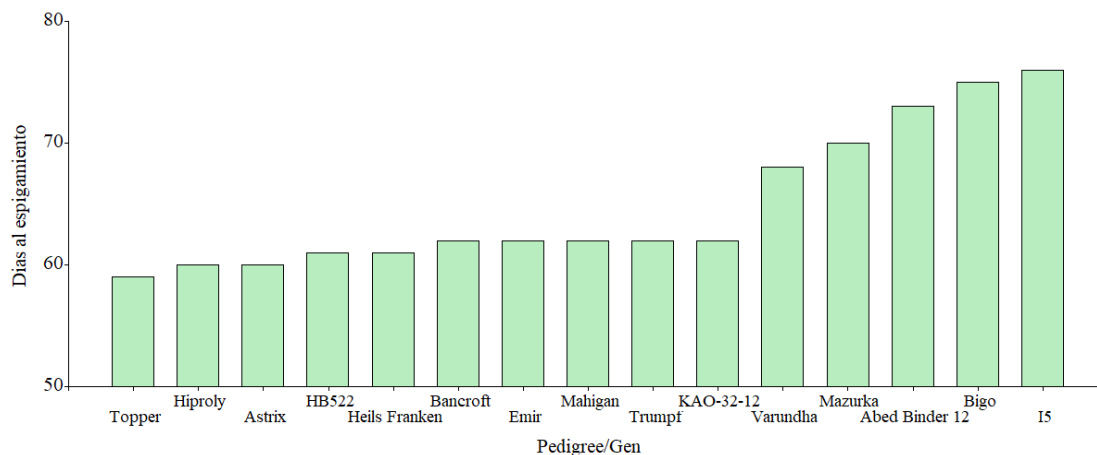


4.4.3. Días al espigamiento de la cebada

Con respecto a la variable días al espigamiento en las accesiones de cebada, todas las líneas fueron precoces (menor a 85 días), sin embargo, se determinó que 10 accesiones que equivale al 67% registraron una mayor precocidad con un rango de 59 a 62 días, destacándose la Topper como la más precoz; además, 5 líneas, lo cual representa el 33% restante, espigaron en un mayor tiempo, en un rango de 68 a 76 días siendo la más tardía del grupo la I5 (Figura 37).

Figura 37

Días al espigamiento en las accesiones de cebada



En términos generales en la localidad de Chaltura, la avena fue la que demoró más días en espigar teniendo un mayor porcentaje de los 90 a 101 días, mientras que el trigo y la cebada fueron más precoces al presentar un mayor porcentaje en el rango de 62 a 74 y 59 a 62 respectivamente, lo cual nos demuestra que tuvieron una buena adaptación a la zona al igual que en la localidad de Naguán en donde para la avena registró un promedio de 103 días al espigamiento, mientras que para el trigo y la cebada presentaron 75 días como promedio (Heredia, 2022).

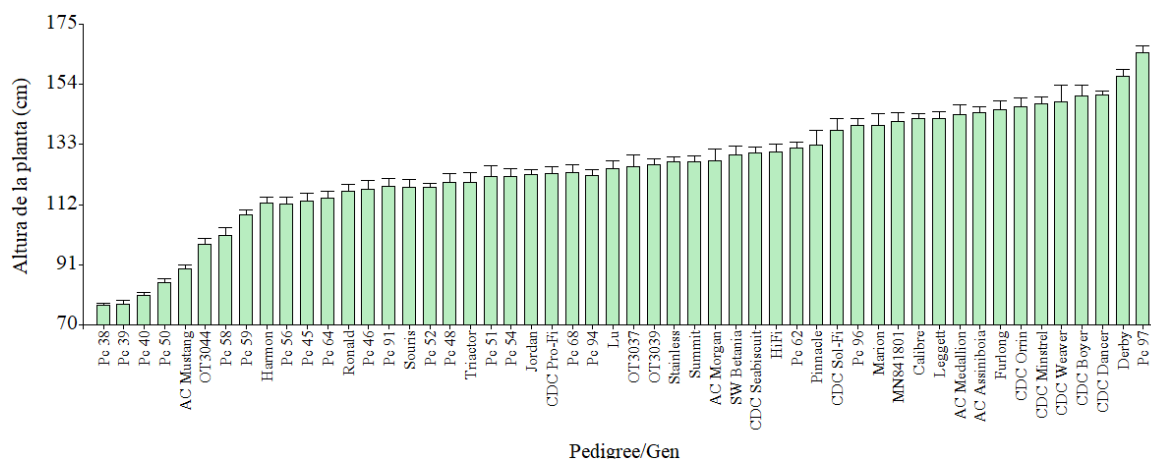
4.5. Altura de la planta

4.5.1. Altura de la planta de avena

Los resultados del análisis de varianza indican que para la variable altura existe diferencia significativa ($p < 0.0001$). Además, se determinó que un 15.38% (8 accesiones) presentaron una altura promedio de 76.7 a 108.6 cm (menor altura en relación con el resto de líneas de avena); no obstante el 53.84% (28 accesiones) dieron una altura promedio comprendida en un rango de 112.3 a 132.9 cm, siendo este el rango de altura en que se encuentra la mayoría de accesiones. Por último, el 30.76% (16 accesiones) presentaron una mayor altura comprendida en el rango de 137.9 a 165.2 cm. Cabe mencionar que la línea que se destaca por su altura es la Pc97, al contrario de la Pc38 que presentó la menor altura con 76.70 cm (Figura 38).

Figura 38

Altura de la planta en las accesiones de avena



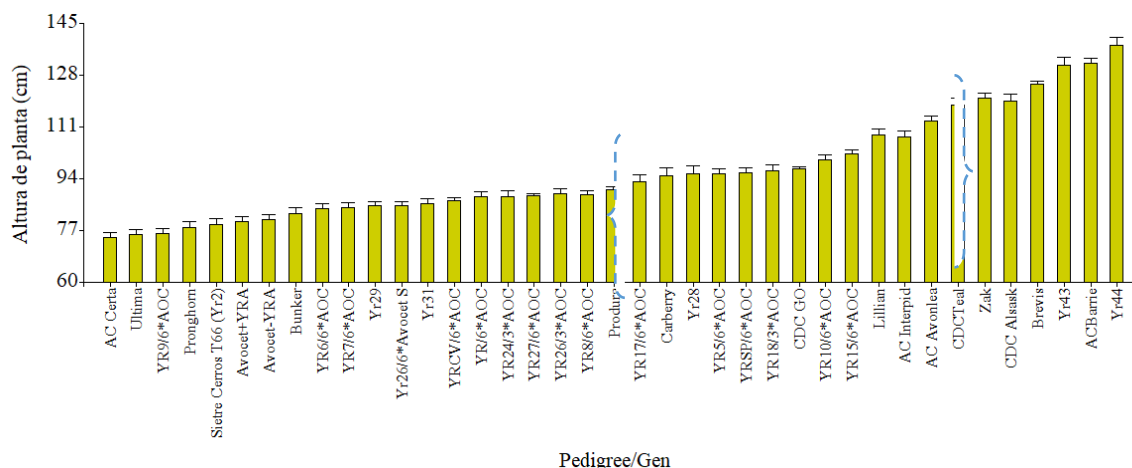
4.5.2. Altura de la planta de trigo

Los resultados del análisis de varianza indican que para la variable altura existe diferencia significativa ($F=96,47$; $gl=38, 342$; $p < 0.0001$). Además, se determinó que un 46.15% (18 accesiones) presentaron una altura denominada semienana comprendida entre 60 a 90 cm, siendo este el rango de altura en que se encuentra la mayoría de accesiones; mientras que, el 38.46% (15 accesiones) mostraron una altura normal comprendida entre 90 a 120 cm; finalmente, el 15.38% (6 accesiones) presentaron una altura alta superior a 120

cm. Se destaca Yr44 como la de mayor altura con 137.97 cm, al contrario de la AC Certa que presentó la menor altura con 74.60 cm (Figura 39) (Garófalo et al., 2021).

Figura 39

Altura de la planta en las accesiones de trigo

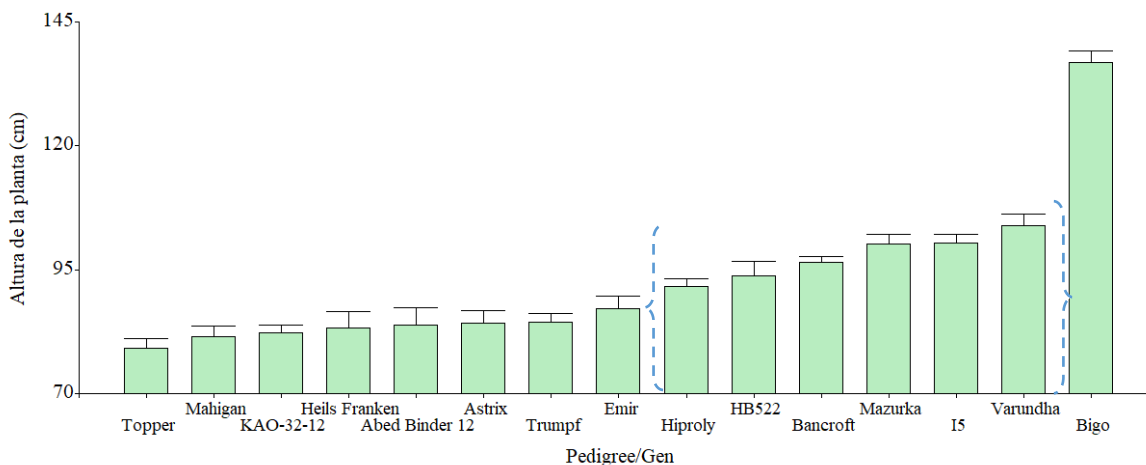


4.5.3. Altura de la planta de cebada

Los resultados del análisis de varianza indican que para la variable altura existe diferencia significativa ($F=39,25$; $gl=14,126$; $p<0.0001$). Además, se determinó que un 53.3% (8 accesiones) presentaron una altura denominada semienana comprendida entre 60 a 90 cm, siendo este el rango de altura en que se encuentra la mayoría de accesiones; el 40% (6 accesiones) mostraron una altura normal comprendida entre 90 a 120 cm; por último el 6.7% restante corresponde a la Bigo que presentó una altura promedio de 136.90 cm siendo la de mayor altura y considerada como alta (120 cm en adelante), al contrario de la Topper que presentó la menor altura con 79.10 cm (Figura 40) (Garófalo et al., 2021).

Figura 40

Altura de la planta en las accesiones de cebada



En la localidad de Naguán para la avena, el mayor porcentaje (32.7%) corresponde al rango de 132 a 140 cm, a diferencia de la localidad de Chaltura en donde el 53.84% corresponde al rango de 112.3 a 132.9 cm; por otra parte, el trigo en Naguán el mayor porcentaje (53.8%) corresponde al rango de 101 a 110 cm, diferente a Chaltura en donde se registró mayoritariamente (46.15%) una altura semienana en un rango de 60 a 90 cm; por último, la cebada en la localidad de Naguán el mayor porcentaje (46.7%) corresponde al rango de 106 a 109 cm, diferente a Chaltura en donde se registró mayoritariamente (53.3%) una altura semienana comprendida en un rango de 60 a 90 cm. Se evidencia una altura inferior en la localidad de Chaltura para la avena, trigo y cebada (Heredia, 2022). Ponce-Molina et al. (2019), detalla que los factores que intervienen en la altura son los pisos altitudinales, condiciones climáticas, sequía, nubosidad o temperatura.

4.6. Tipo de paja

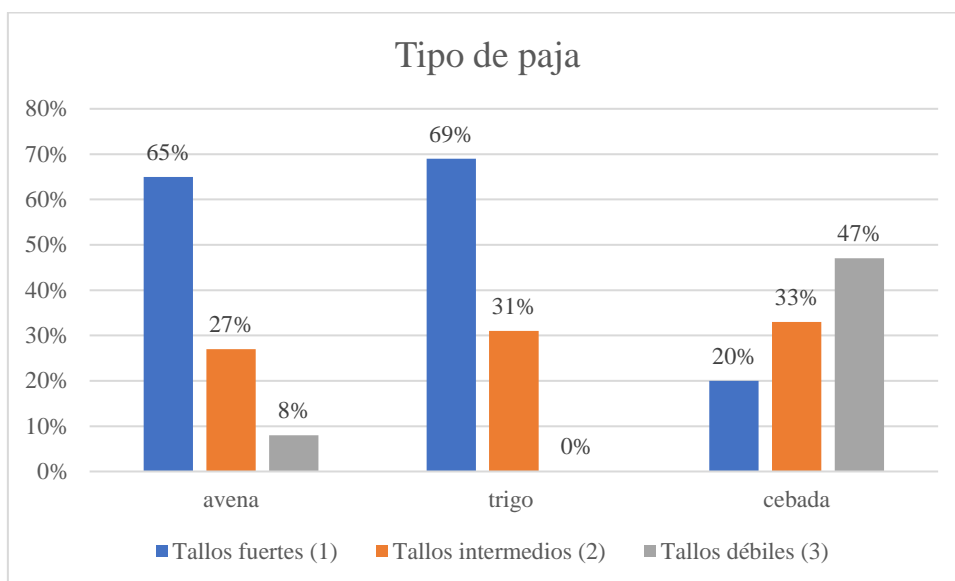
Para la variable tipo de paja en las 52 accesiones de avena, se determinó que el 65% de las accesiones presentaron tallos fuertes (1), es decir gruesos, erectos y flexibles, que soportan el viento y el acame; el 27% de las accesiones presentaron tallos intermedios (2), es decir tallos no muy gruesos, erectos y medianamente flexibles, que soportan parcialmente el viento y el acame; por último, el 8% de las accesiones presentaron tallos débiles (3), es decir tallos delgados e inflexibles, que no soportan el viento y el acame (Ponce-Molina et al., 2019).

Para la variable tipo de paja en las 39 accesiones de trigo, se determinó que el 69% de las accesiones presentaron tallos fuertes (1), es decir gruesos, erectos y flexibles, que soportan el viento y el acame; mientras que el 31% de las accesiones presentaron tallos intermedios (2), es decir tallos no muy gruesos, erectos y medianamente flexibles, que soportan parcialmente el viento y el acame (Ponce-Molina et al., 2019).

Para la variable tipo de paja en las 15 accesiones de cebada, se determinó que el 20% de las accesiones presentaron tallos fuertes (1), es decir gruesos, erectos y flexibles, que soportan el viento y el acame; el 33% de las accesiones presentaron tallos intermedios (2), es decir tallos no muy gruesos, erectos y medianamente flexibles, que soportan parcialmente el viento y el acame; por último, el 47% de las accesiones presentaron tallos débiles (3), es decir tallos delgados e inflexibles, que no soportan el viento y el acame (Figura 41) (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 41

Tipo de paja separada por especies



En la localidad de Naguan en las líneas diferenciales de avena, trigo y cebada predomina el tallo intermedio (59.6%, 61.5% y 80% respectivamente), mostrando diferencia con las líneas evaluadas en Chaltura, en donde existió variación, en el caso de la avena y trigo predomina el tallo fuerte (65 y 69%), y en la cebada en predomina el tallo débil (47%). La causa de este comportamiento puede estar ligada a factores como: alta precipitación, pisos altitudinales, condiciones climáticas, densidad, nubosidad, viento y fotoperíodo (Ponce-Molina et al., 2019; Heredia, 2022).

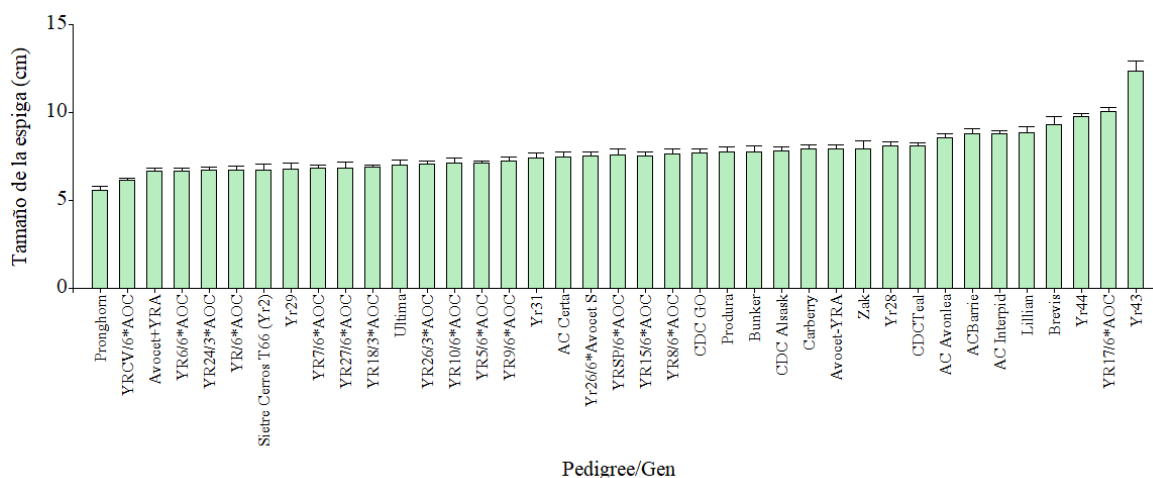
4.7. Tamaño de espiga

4.7.1. Tamaño de espiga del trigo

Los resultados del análisis de varianza indican que para la variable tamaño de la espiga existe diferencia significativa ($F=20,36$; $gl=38,342$; $p<0.0001$). En cuanto a la evaluación de 39 líneas diferenciales de trigo en lo que se refiere al tamaño de la espiga se registró que el 5.12% (2 accesiones) tuvieron una medida promedio de 5.59 a 6.14 cm. Por otra parte, se encontró que el 69.23% (27 accesiones), es decir la mayor parte de accesiones tuvieron una medida promedio de la espiga comprendida en el rango de 6.65 a 7.95 cm; mientras que el 23.07% (9 accesiones) se mantuvieron en el rango de 8.08 a 10.06 cm; por último, la Yr43 correspondiente al 2.56% restante registró un mayor tamaño de espiga con 12.33 cm (Figura 42).

Figura 42

Tamaño de la espiga en las accesiones de trigo

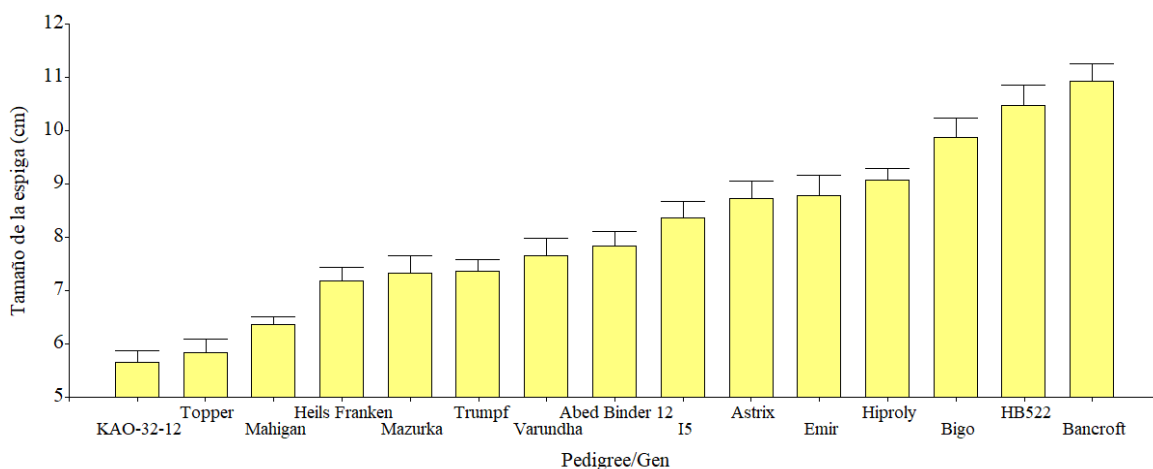


4.7.2. Tamaño de espiga de la cebada

Los resultados del análisis de varianza indican que para la variable tamaño de la espiga existe diferencia significativa ($F=31,07$; $gl=14,126$; $p<0.0001$). En cuanto a la evaluación de 15 líneas diferenciales de cebada en lo que se refiere al tamaño de la espiga presentaron, se estableció que el 20% (3 accesiones) presentaron un rango de 5.66 a 6.36 cm; por otra parte, el 60% (9 accesiones) tuvieron de 7.18 a 9.07 cm, siendo el rango en el cual se encuentra la mayor parte de accesiones; mientras que el 20% restante (3 accesiones) se mantuvo dentro de un rango de 9.88 a 10.93 cm. La menor longitud la registró la KAO-32-12 con 5.66 cm, a diferencia de la Bancroft que registró la mayor longitud con 10.93 cm (Figura 43).

Figura 43

Tamaño de la espiga en las accesiones de cebada



En la localidad de Naguan la longitud promedio de las líneas de trigo fue de 7.6 cm, lo cual se encuentra dentro del rango de 6.65 a 7.95 cm que se encontró con mayor frecuencia (69.2%) en la localidad de Chaltura. Por otra parte, para las líneas de cebada evaluadas en la localidad de Naguan, la longitud promedio fue de 8.1 cm, lo cual se encuentra dentro del rango de 7.18 a 9.07 cm que se encontró con mayor frecuencia (60%) en la localidad de Chaltura. Se puede distinguir una similitud entre ambas localidades, sin embargo, factores como la disponibilidad de nutrientes, precipitación, pisos altitudinales, fotoperíodo y temperatura hace que exista una pequeña variación (Ponce-Molina et al., 2019; Heredia, 2022).

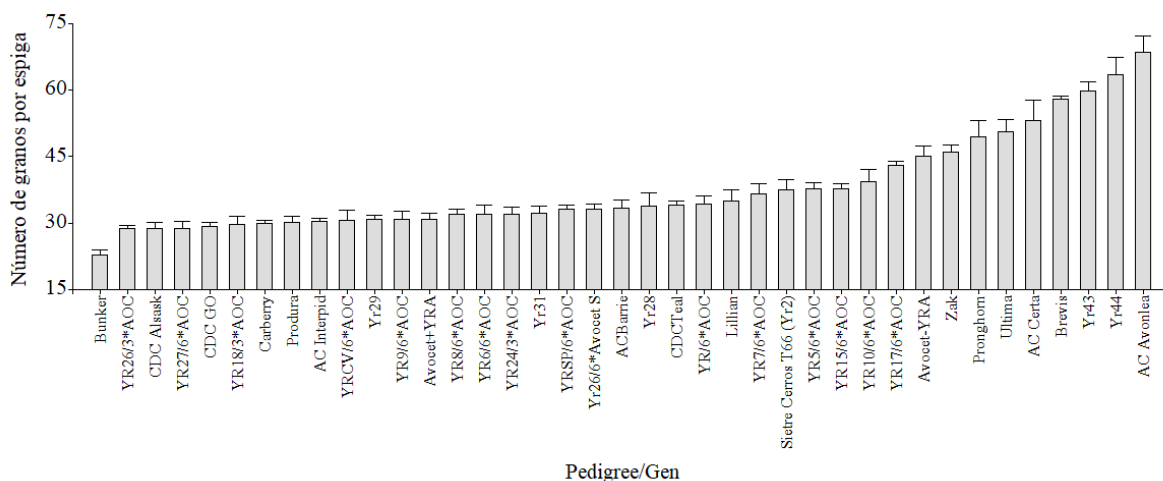
4.8. Número de granos por espiga

4.8.1. Número de granos por espiga del trigo

Los resultados del análisis de varianza indican que para la variable número de granos por espiga existe diferencia significativa ($F=27,25$; $gl=38,342$; $p<0.0001$). En cuanto a la evaluación de 39 líneas diferenciales de trigo, respecto al número de granos; el 58.9% (23 accesiones) presentó de 28.7 a 34.9 granos, siendo el rango en el cual se encuentra la mayor parte de las accesiones; por otra parte, el 12.82% (5 accesiones) se mantuvo dentro de un rango de 36.7 a 39.4 granos; mientras que el 15.4% (6 accesiones) de 43.1 a 53.1 granos. Las 4 accesiones restantes que corresponden al 10.2% fueron las que mayor número de granos formó, estas mantuvieron un rango de 58 a 68.6 granos, la línea con mayor tamaño fue la AC Avonlea. El 2.56% restante corresponde a la línea Bunker que registró el menor valor 22 granos (Figura 44).

Figura 44

Número de granos por espiga en las accesiones de trigo

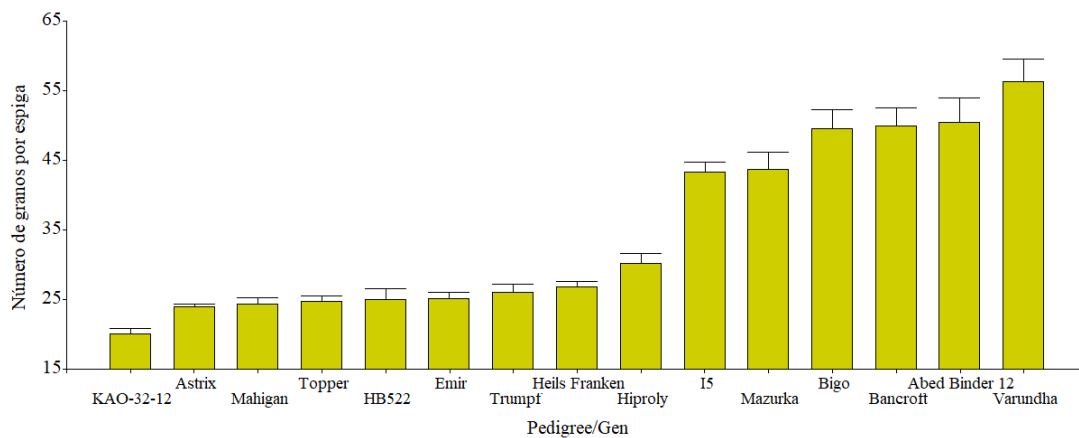


4.8.2. Número de granos por espiga de la cebada

Los resultados del análisis de varianza indican que para la variable número de granos por espiga existe diferencia significativa ($F=42,69$; $gl=14,126$; $p<0.0001$). En cuanto a la evaluación de 15 líneas diferenciales de cebada, respecto al número de granos; la línea KAO-32-12 (correspondiente al 6.66%) presentó 20 granos, siendo la que menos tuvo con respecto a las otras líneas; el 53.3% (8 líneas) presentó de 23 a 30 granos, siendo el rango en el cual se encuentra la mayor parte de las accesiones; por otra parte, el 33.3% (5 líneas) se mantuvo dentro de un rango de 43 a 50 granos; por último, la línea restante Varundha (correspondiente al 6.66%) fue la que mayor número de granos obtuvo con 56.3 granos (Figura 45).

Figura 45

Número de granos por espiga en las accesiones de cebada



En la localidad de Naguan para las líneas de trigo predomina (38.4%) el rango de número de granos por espiga de 31 a 39 granos, lo cual se encuentra cercano al rango encontrado en Chaltura, que va desde 28 a 34 granos con una frecuencia del 58.9%. Por otra parte, para las líneas de cebada evaluadas en la localidad de Naguan, el rango de número de granos por espiga con mayor frecuencia (66.67%) fue de 12 a 19 granos, lo cual varía al rango encontrado en Chaltura que fue mayoritariamente (53.3%) de 23 a 30. Esta diferencia especialmente de la cebada, se puede deber a la precipitación, pisos altitudinales, condiciones climáticas y fotoperíodo (Ponce-Molina et al., 2019; Heredia, 2022).

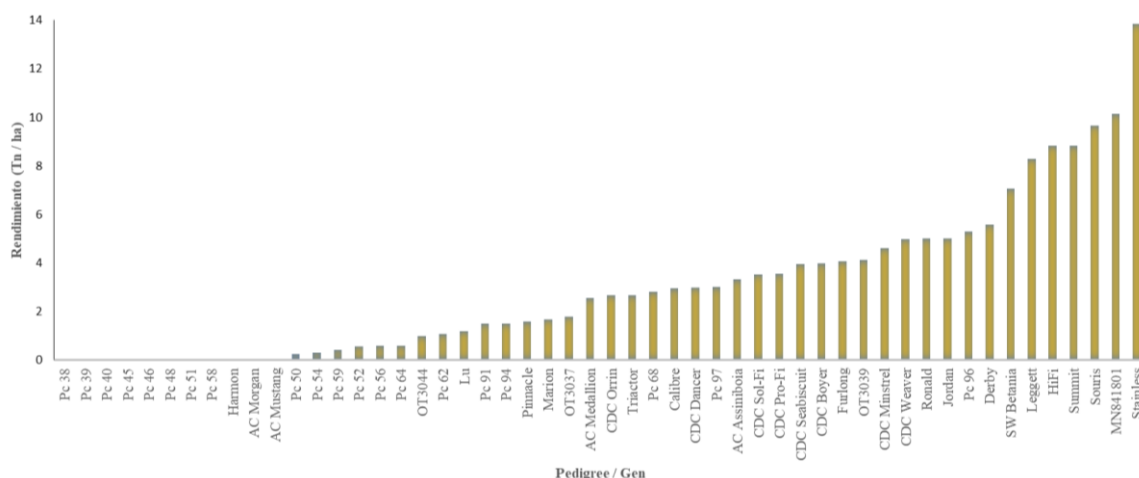
4.9. Rendimiento de grano

4.9.1. Rendimiento de grano de la avena

Para la variable rendimiento en las 52 accesiones de avena, se determinó que el 38.46% (20 líneas) presentaron un rendimiento bajo en relación con el resto de líneas, comprendieron un rango de 0.24 a 2.97 Tn/ha; por otra parte, el 21.15% (11 líneas) presentaron un rendimiento intermedio en relación con el resto de líneas, ya que presentó un rango de 3 a 4.98 Tn/ha; por último, el 19.23% (10 líneas) tuvieron un rendimiento mayor en relación con el resto de líneas (mayor a 5 Tn/ha). Es importante determinar que el 21.15% (11 accesiones) no llegó a producir (Figura 46).

Figura 46

Rendimiento de grano en las accesiones de avena



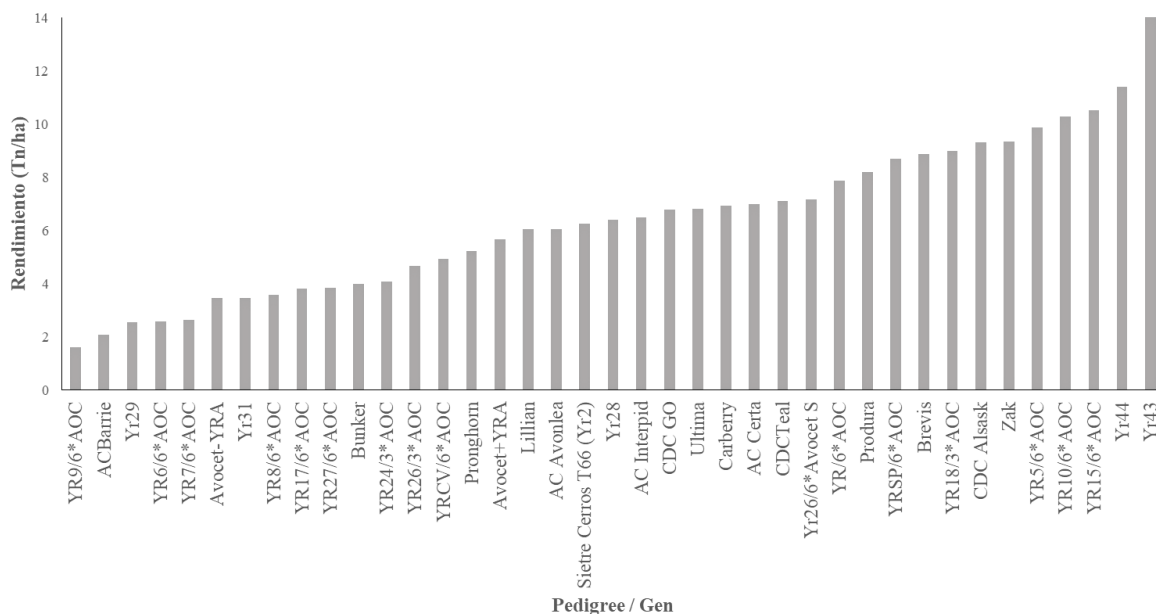
La variedad de avena INIAP-Fortaleza 2020, variedad mejorada del Ecuador tiene un rendimiento que va desde 5 a 6 Tn/ha, mientras que las líneas evaluadas en la localidad de Chaltura tienen rendimientos en su mayor parte (88.46%) que van desde 0.24 a 7.05 Tn/ha, sin embargo, el porcentaje restante tuvo rendimientos muy elevados, estas líneas deberían ser evaluadas en extensiones más grandes de terreno para conocer su comportamiento (Jiménez et al., 2020).

4.9.2. Rendimiento de grano del trigo

Para la variable rendimiento en las 39 accesiones de trigo, se determinó que el 15.38% (6 líneas) presentaron un rendimiento considerado bajo, comprendido en un rango de 0 a 3 Tn/ha; por otra parte, el otro 20.51% (8 líneas) presentaron un rendimiento medio, comprendido en un rango de 3 a 5 Tn/ha; por último, las accesiones con un rendimiento alto representan el 64.10% (25 líneas) con un rendimiento que supera las 5 Tn/ha (Figura 47) (Garófalo et al., 2021).

Figura 47

Rendimiento de grano en las accesiones de trigo



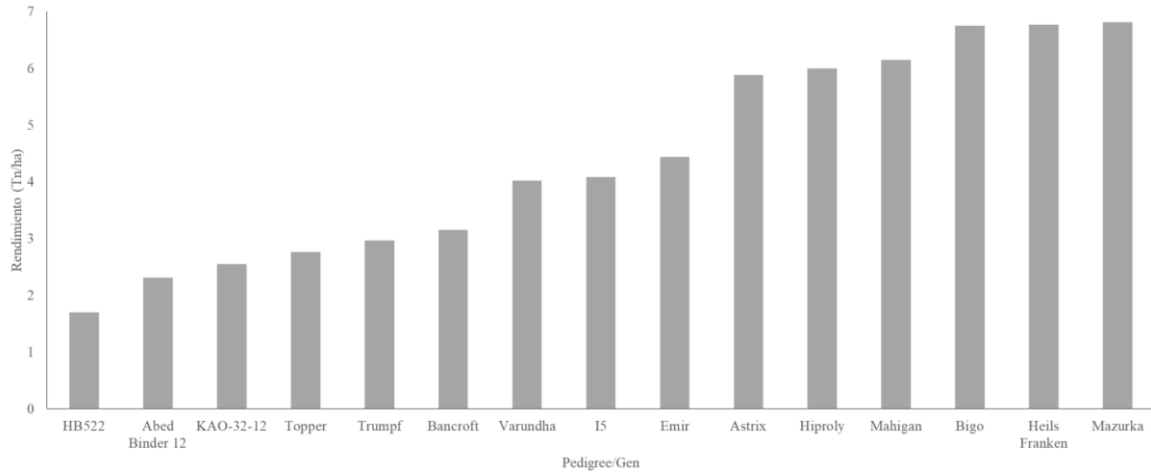
La variedad de trigo INIAP-IMBABURA 2014 tiene un rendimiento de alrededor de 4 Tn/ha, mientras que las líneas evaluadas en la localidad de Chaltura tienen rendimientos en su mayor parte (89.74%) tienen rendimientos que van desde 1.60 a 9.87 Tn/ha, los valores son muy variados debido a la variabilidad genética de las líneas, sin embargo, el 10.26% que corresponde a 4 líneas, tuvieron rendimientos muy elevados, están líneas deberían ser evaluadas en extensiones más grandes de terreno para conocer su comportamiento (Falconí et al., 2020).

4.9.3. Rendimiento de grano de la cebada

Para la variable rendimiento en las 15 accesiones de cebada, se determinó que el 33.3% (5 líneas) presentaron un rendimiento en un rango de 1.69 a 2.97 Tn/ha, el menor rendimiento con comparación con el resto de líneas; por otra parte, el 26.7% (4 líneas) presentaron un rendimiento que oscila de 3.15 a 4.44 Tn/ha, un rendimiento intermedio en relación con el resto; finalmente, el 40% restante equivalente a 6 líneas presentaron un rendimiento mayor a 5.88 Tn/ha (Figura 48).

Figura 48

Rendimiento de grano en las accesiones de cebada



La variedad de cebada INIAP-Alfa 2021 tiene un rendimiento promedio de 3 a 4 Tn/ha, mientras que las líneas evaluadas en la localidad de Chaltura tienen rendimientos en su mayor parte (60%) tienen rendimientos que van desde 1.69 a 4.44 Tn/ha, los valores son muy variados debido a la variabilidad genética de las líneas, sin embargo el 40% que corresponde a 6 líneas, tuvieron rendimientos muy elevados, están líneas deberían ser evaluadas en extensiones más grandes de terreno para conocer su comportamiento (Ponce-Molina et al., 2022).

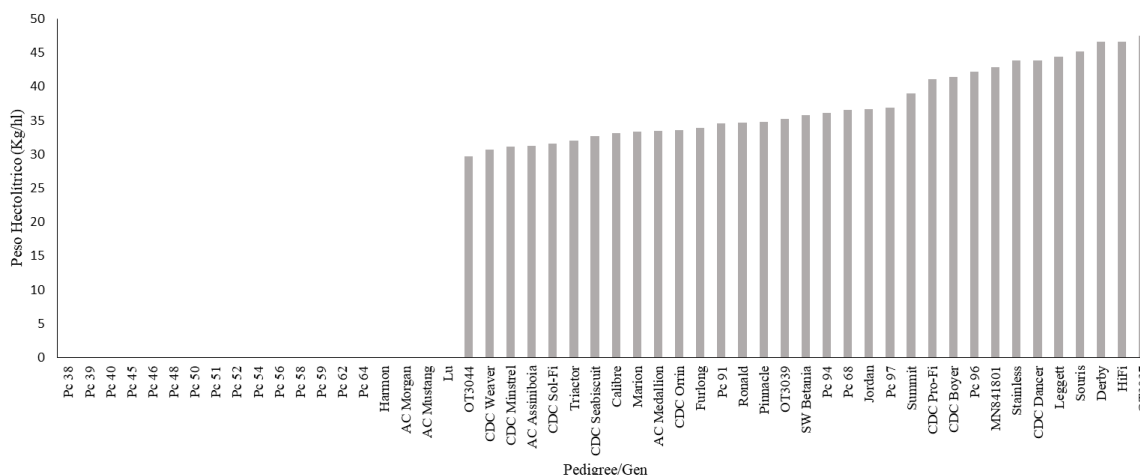
4.10. Peso hectolítrico o específico

4.10.1. Peso hectolítrico de la avena

Respecto a la variable peso hectolítrico de las 52 accesiones de avena, se determinó que el 19.2% (10 líneas) presentó un peso comprendido entre 29.7 a 33.5 kg/hl; mientras que el 21.15% (11 líneas) mantuvo un rango de 33.6 a 36.9 kg/hl; por otra parte, el 23% (12 líneas) tuvo un rango de 39 a 47.5 kg/hl. El 36.65% restante no registra datos debido a que no cumplió con el volumen mínimo para poder medir este parámetro en la balanza para peso hectolítrico. La accesión que tuvo un menor peso fue la OT3044 con 29.7 kg/hl, a diferencia de la OT3037 que tuvo el mayor peso con 47.5 kg/hl (Figura 49).

Figura 49

Peso hectolítico en las accesiones de avena



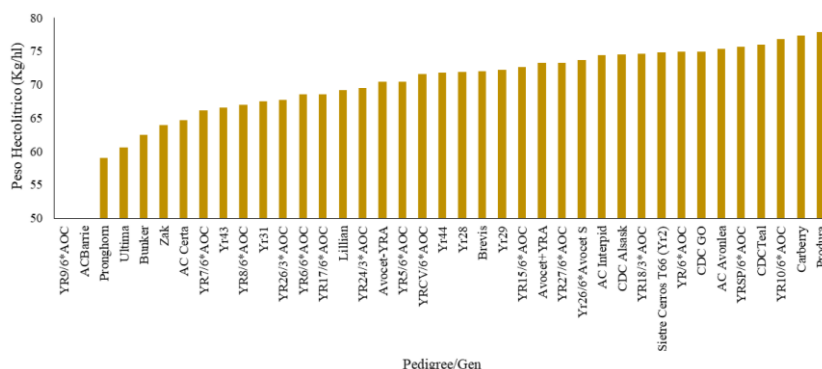
La variedad de avena INIAP-Fortaleza 2020, tiene un peso hectolítico de alrededor de 42,8 a 43,6 kg/hl, lo cual es muestra de una buena calidad del grano, por su parte, de las líneas evaluadas en Chaltura, el 23% que corresponde a 12 líneas poseen un peso hectolítico en un rango de 39 a 47.5 kg/hl, un peso competitivo respecto a las variedades ya distribuidas a los agricultores (Jiménez et al., 2020).

4.10.2. Peso hectolítico del trigo

Respecto a la variable peso hectolítico de las 39 accesiones de trigo, se determinó que el 48.71% (19 accesiones) presentó un peso considerado como malo, menor a 72 kg/hl; mientras que el 17.94% (7 accesiones) mantuvo un rango de 72 a 74 kg/hl, considerado como bueno y finalmente, el 28.20% (11 accesiones) fue superior a 74 kg/hl, considerado como excelente. El 5.12% (2 accesiones) restante no registra datos debido a que no cumplió con el volumen mínimo para poder medir este parámetro en la balanza para peso hectolítico. La accesión que tuvo un menor peso fue la Pronghorn con 59 kg/hl, a diferencia de la Produra que tuvo el mayor peso con 77.9 kg/hl (Figura 50) (Garófalo et al., 2021).

Figura 50

Peso hectolítico en las accesiones de trigo



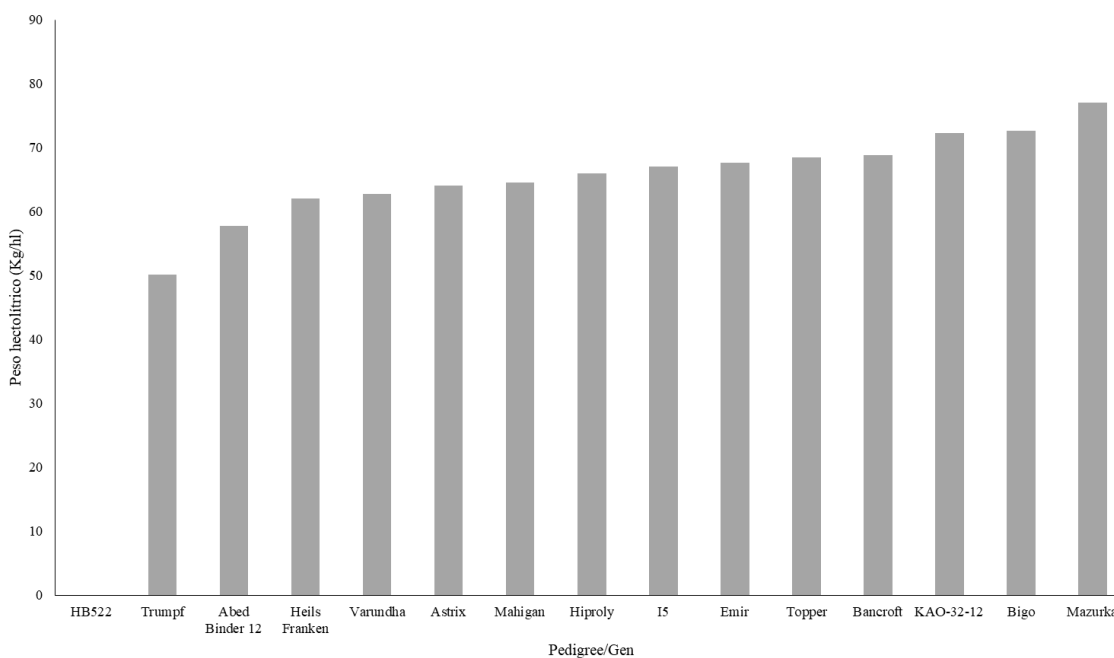
La variedad INIAP-Imbabura 2014, variedad mejorada de trigo del Ecuador tiene un peso hectolítrico de alrededor de 79.5 lo cual es muestra de una excelente calidad del grano, por su parte, de las líneas evaluadas en Chaltura, el 30.76% que corresponde a 12 líneas poseen un peso hectolítrico en un rango de 74.4 a 77.9 kg/hl, un peso competitivo respecto a las variedades ya distribuidas a los agricultores (Falconí et al., 2020).

4.10.3. Peso hectolítrico de la cebada

Respecto a la variable peso hectolítrico de las 15 accesiones de cebada, se determinó que el 60% (9 accesiones) presentó un peso comprendido entre 62.1 a 68.9 kg/hl; mientras que el 20% (3 accesiones) mantuvo un rango de 72.3 a 77 kg/hl; por otra parte, el 13.33% (2 accesiones) corresponde a las dos accesiones con un menor peso hectolítrico, estas son la Trumpf y la Abed Binder 12 con 50.2 y 57.8 respectivamente. Por último, la accesión con mayor peso fue la Mazurka con 77 kg/hl. Cabe mencionar que el 6.66% (1 accesión) restante no registra datos debido a que no cumplió con el volumen mínimo para poder medir este parámetro en la balanza para peso hectolítrico (Figura 51).

Figura 51

Peso hectolítrico en las accesiones de cebada



La variedad INIAP-Alfa 2021, variedad de cebada del Ecuador tiene un peso hectolítrico de alrededor de 69 kg/hl lo cual es muestra de una buena calidad del grano, por su parte, de las líneas evaluadas en Chaltura, el 80% que corresponde a 12 líneas poseen un peso hectolítrico en un rango de 62.1 a 68.9 kg/hl, un peso competitivo respecto a las variedades ya distribuidas a los agricultores (Ponce-Molina et al., 2022).

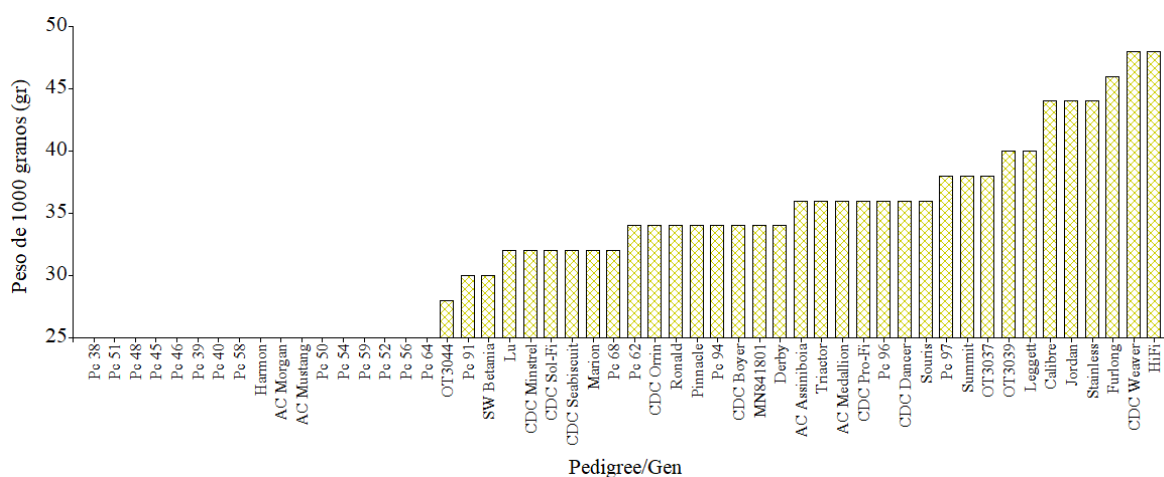
4.11. Peso de 1000 granos

4.11.1. Peso de 1000 granos de avena

Respecto a la variable peso de 1000 granos de las 52 accesiones de avena, se determinó que el 5.76% (3 accesiones) presentó un peso comprendido entre 28 a 30 gr; mientras que el 40.38% (21 accesiones) registraron un rango de 32 a 36 gramos; por otra parte, el 9.61% (5 accesiones) registraron un rango de 38 a 40 gramos. Por último, el 11.53% (6 accesiones) registraron un rango de 44 a 48 gr. El 32.69% restante (17 accesiones) no registraron datos debido a que estas accesiones no lograron producir 1000 granos. La accesión con mayor peso fue la Hifi con 48 gr, a diferencia de la OT3044 que registró un peso de 28 gr (Figura 52).

Figura 52

Peso de 1000 granos en las accesiones de avena



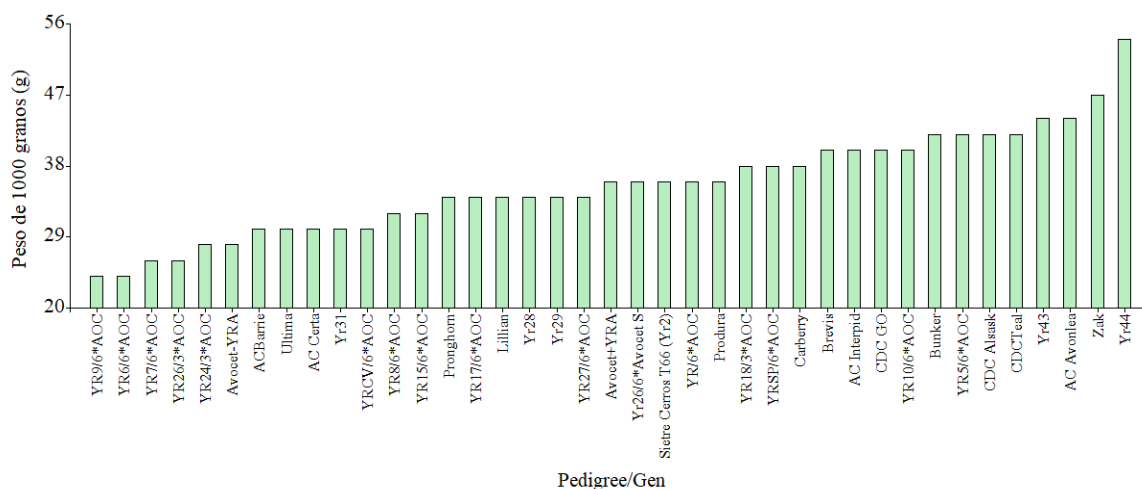
La variedad INIAP- Fortaleza 2020 que se cultiva en el Ecuador debido a su productividad y calidad de grano, posee un peso de 1000 granos de 47 gr, lo cual es un indicativo de calidad, por su parte, de las líneas de avena evaluadas en Chaltura solamente el 11.53% que corresponde a 6 líneas registraron un rango de 44 a 48 gr, un peso competitivo respecto a esta variable (Jiménez, 2020).

4.11.2. Peso de 1000 granos de trigo

Respecto a la variable peso de 1000 granos de las 39 accesiones de trigo, se determinó que el 15.38% (6 accesiones) presentó un peso comprendido entre 24 a 28 gr; mientras que el 33.3% (13 accesiones) registraron un rango de 30 a 34 gr; por otra parte, el 30.76% (12 accesiones) registraron un rango de 36 a 40 gr. Por último, el 17.94% (7 accesiones) registraron un rango de 42 a 47 gr. El 2.56% restante corresponde a la Yr44 que registró un peso de 54 gr. La accesión con menor peso fue la YR9/6*AOC con 24 gr (Figura 53).

Figura 53

Peso de 1000 granos en las accesiones de trigo



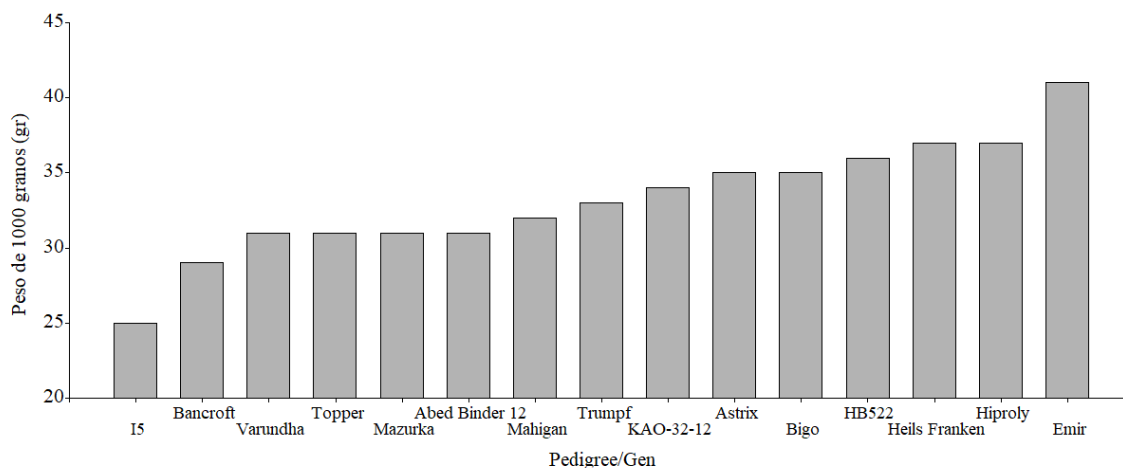
La variedad INIAP- Imbabura 2014 que se cultiva en el Ecuador debido a su productividad y calidad de grano, posee un peso de 1000 granos de 45 gr, lo cual es un indicativo de calidad, por su parte, de las líneas de avena evaluadas en Chaltura solamente el 17.94% que corresponde a 7 líneas registraron un rango de 42 a 47 gr, sin embargo, la línea con el gen Yr44 destacó con un peso de 54 gr (Falconí, 2014).

4.11.3. Peso de 1000 granos de cebada

Respecto a la variable peso de 1000 granos de las 15 accesiones de cebada, se determinó que el 13.3% (2 accesiones) presentó un peso comprendido entre 25 a 29 gr; mientras que el 66.6% (10 accesiones) registraron un rango de 31 a 36 gr; por otra parte, el 20% (3 accesiones) registraron un rango de 37 a 41 gr. La accesión con mayor peso fue la I5 con 41 gr., a diferencia de la accesión con menor peso, la Emir con 25 gr (Figura 54).

Figura 54

Peso de 1000 granos en las accesiones de cebada



La variedad INIAP- Alfa 2021 que se cultiva en el Ecuador debido a su productividad y calidad de grano, posee un peso de 1000 granos de 40 gr, lo cual es un indicativo de calidad, por su parte, de las líneas de avena evaluadas en Chaltura solamente el 17.94% que corresponde a 7 líneas registraron un rango de 42 a 47 gr, sin embargo, la línea con el gen Yr44 destacó con un peso de 54 gr (Ponce-Molina et al., 2022).

4.12. Tipo de grano

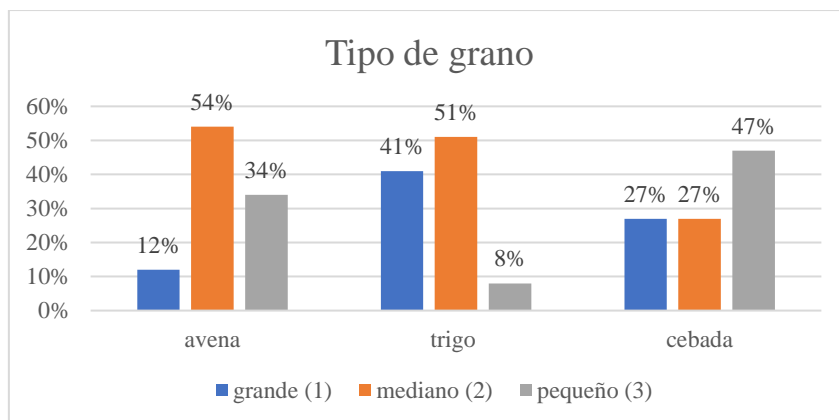
Para la variable tipo de grano en las 52 accesiones de avena, se determinó que el 12% de las accesiones se clasificaron según la escala de evaluación en 1, valor que se da cuando el grano es excelente, grueso, grande, amarillo o blanco. Por otra parte, el 54% se clasificó en 2, debido a que el grano fue mediano, grueso, blanco o amarillo. El 34% restante se clasificó en 3, valor que aplica cuando el grano es pequeño, delgado, manchado o chupado.

Para la variable tipo de grano en las 39 accesiones de trigo, se determinó que el 41% de las accesiones se clasificaron según la escala de evaluación en 1, valor que se da cuando el grano es grande, grueso, bien formado y limpio. Por otra parte, el 51% se clasificó en 2, debido a que el grano fue de tamaño mediano, bien formado y limpio. El 8% restante se clasificó en 3, valor que aplica cuando el grano es pequeño, delgado, manchado o chupado.

Para la variable tipo de grano en las 15 accesiones de cebada, se determinó que el 27% de las accesiones se clasificaron según la escala de evaluación en 1, valor que se da cuando el grano es grande, grueso, redondo, blanco o crema. Mientras que el 27% se clasificó en 2, debido a que el grano fue de tamaño mediano, redondo, blanco o amarillo. Por otra parte, el 47% restante se clasificó en 3, valor que se registra cuando el grano es pequeño, delgado, manchado y chupado (Figura 55).

Figura 55

Tipo de grano separada por especies



Este es un factor genético, pero se puede ver influenciado por las precipitaciones y temperaturas presentes al final del ciclo del cultivo, y por la incidencia de enfermedades que afectan a la espiga. Esta evaluación es muy importante ya que es una herramienta importante en la selección de variedades y en los programas de mejoramiento genético de los cereales.

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias utiliza este parámetro para identificar y seleccionar las variedades que tienen características deseables en cuanto a tamaño y forma de grano, ya que puede afectar directamente en el rendimiento, la productividad y la calidad de los cultivos una vez que la variedad sea liberada (Ponce-Molina et al., 2019; Ponce-Molina et al., 2022).

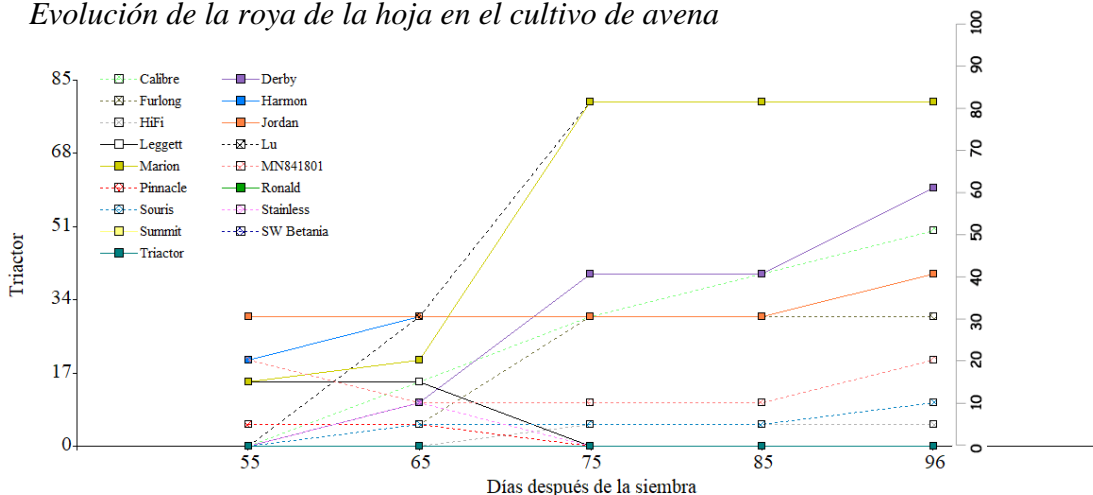
4.13. Reacción a enfermedades

4.13.1. Roya de la hoja (*Puccinia coronata*) en avena

La roya de la hoja (*Puccinia coronata*) en las líneas de avena iniciaron su infección alrededor de los 55 días y presentaron su pico más alto a los 96 días. De las 52 líneas de avena, 12 líneas no registraron infección (0 infección), estas contienen los genes Pc 59, Pc 68, Pc 91, CDC Minstrel, Leggett, OT3044, Pinnacle, Ronald, Stainless, Summit, SW Betania y Triactor, hay que considerar que los últimos 10 genes mencionados resultaron ser resistentes a roya de la hoja en la provincia de Bolívar, motivo por el cual es necesario seguir utilizando las líneas que poseen estos genes en un futuro programa de mejoramiento genético (Figura 56) (Heredia, 2022).

Figura 56

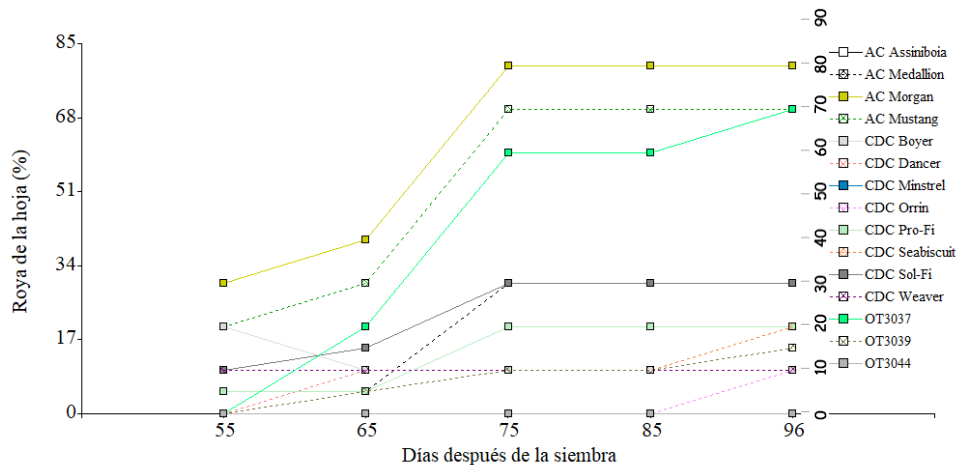
Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de avena



Por otra parte, existieron 4 líneas que presentaron signos de roya de la hoja, sin embargo, resultaron ser resistentes (1 - 9% de severidad, presentando además clorosis o necrosis visibles sin presencia de uredias) como las líneas HiFi, Pc 52, Pc 62 y Pc 64. Existieron también 16 líneas moderadamente resistentes (10 – 30% de severidad con pequeñas uredias rodeadas por áreas cloróticas o necróticas) (Figura 57). Por tanto, de las 52 líneas diferenciales de avena, se seleccionaron 32 líneas, las cuales no presentaron infección o a su vez, resultaron resistentes o moderadamente resistentes, estas podrán ser utilizadas como material para futuras investigaciones (Tabla 15) (Ponce-Molina et al., 2019; Heredia, 2022).

Figura 57

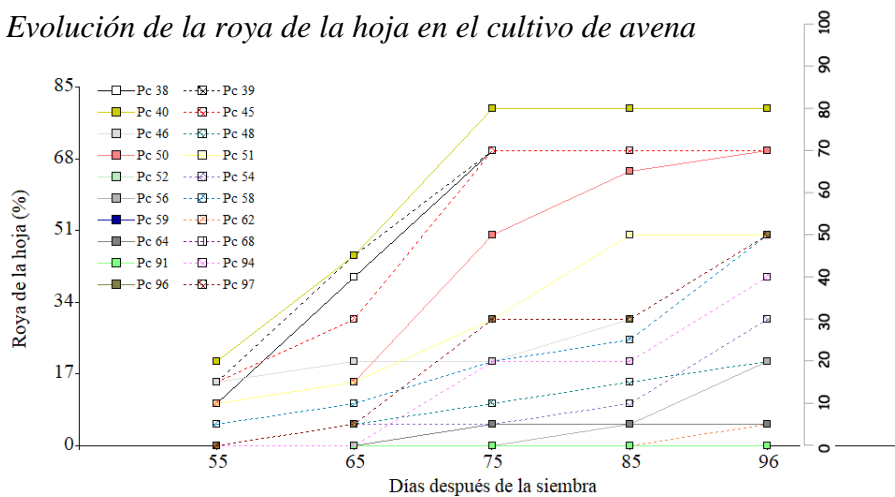
Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de avena



Al contrario, existieron líneas que fueron muy susceptibles (mayor a 70% de severidad, presentando grandes uredias generalmente con poca o ninguna clorosis ni necrosis) a la enfermedad como la Pc38, Pc 39, Pc 40, Pc 45, Pc 50, Harmon, Marion, AC Morgan, AC Mustang, Lu y OT3037, las cuales demostraron que en la localidad no tienen resistencia. En comparación con la investigación llevada a cabo en la provincia de Bolívar, los genes Pc 38, Pc 40, Pc 45, Pc 50, Harmon, Marion y AC Mustang también fueron susceptibles en la localidad por lo cual se evidencia poca adaptación y resistencia a la roya por parte de estos genes (Figura 58) (Ponce-Molina et al., 2019; Heredia, 2022).

Figura 58

Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de avena



Otra investigación en la cual se evaluaron las mismas líneas diferenciales en la localidad de Salache en la provincia de Latacunga se encontró que las 52 líneas diferenciales de avena no sobrevivieron a las condiciones de campo abierto de Salache, por lo cual no existieron datos de la incidencia del ataque de roya en ninguna de las líneas diferenciales (Unda, 2022).

Tabla 15

*Líneas de avena seleccionadas por no presentar signos de infección, poseer resistencia o moderada resistencia a roya de la hoja (*Puccinia coronata*)*

Pedigree	Porcentaje de severidad	Tipo de reacción
Pc 59	0	0
Pc 68	0	0
Pc 91	0	0
CDC Minstrel	0	0
Leggett	0	0
OT3044	0	0
Pinnacle	0	0
Ronald	0	0
Stainless	0	0
Summit	0	0
SW Betania	0	0
Triactor	0	0
Pc 52	5	R
Pc 62	5	R
Pc 64	5	R
HiFi	5	R
AC Assiniboia	10	MR
CDC Boyer	10	MR
CDC Dancer	10	MR
CDC Orrin	10	MR
CDC Weaver	10	MR
Souris	10	MR
OT3039	15	MR
Pc 48	20	MR
Pc 56	20	MR
MN841801	20	MR
CDC Pro-Fi	20	MR
CDC Seabiscuit	20	MR
Pc 54	30	MR
AC Medallion	30	MR
CDC Sol-Fi	30	MR
Furlong	30	MR

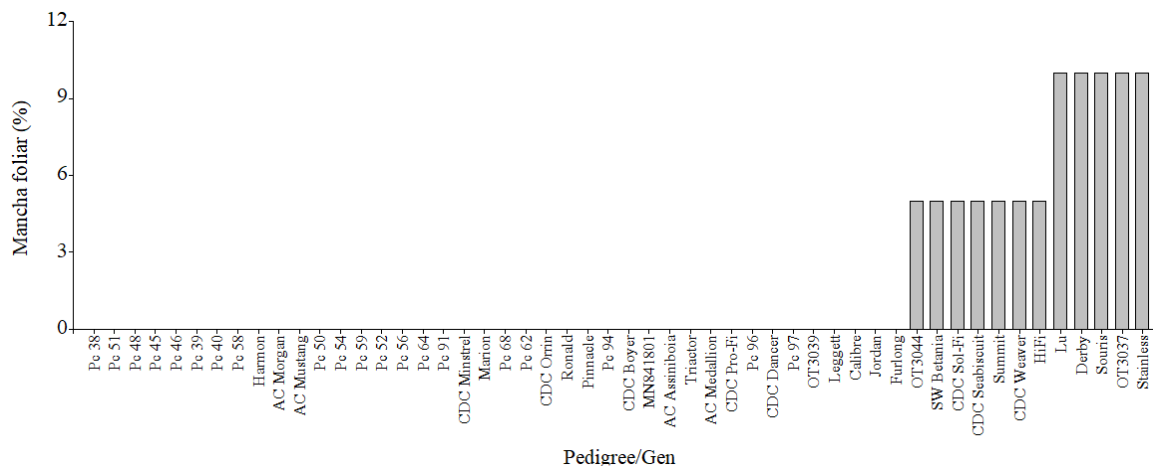
4.13.2. Mancha foliar (*Helminthosporium sativum*) en avena

Las líneas diferenciales de avena presentaron signos de mancha foliar, según Ponce-Molina et al. (2019), las condiciones favorables para que se presente esta enfermedad es el clima fresco (10-15°C) y las altas precipitaciones seguidos de días parcialmente nublados. Para la evaluación se usó la escala de Doble Dígito de Saari-Prescott, y se registraron 7 líneas dentro de la escala de 05%, estas fueron la OT3044, SW Betania, CDC Sol-Fi, CDC Seabiscuit, Summit, CDC Weaver y Hifi; finalmente, las líneas Lu, Derby, Souris, OT3037

y Stainless, fueron registradas dentro de la escala de 1 10% (Figura 59) (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 59

Evolución de mancha foliar (Helminthosporium sativum) en avena

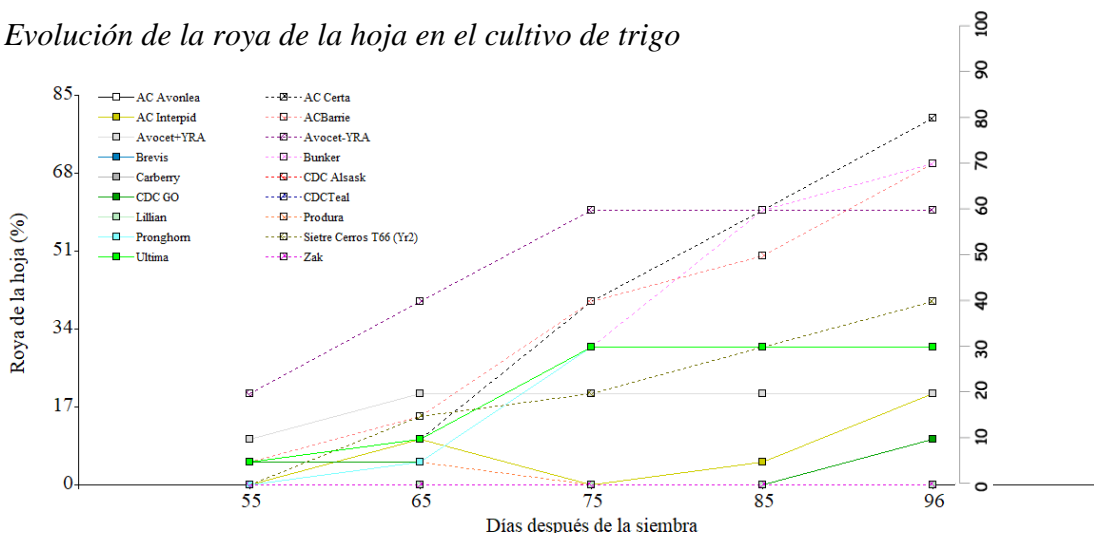


4.13.3. Roya de la hoja (*Puccinia triticina*) en trigo

La roya de la hoja (*Puccinia triticina*) en las líneas de trigo comenzó a presentarse alrededor de los 55 días y presentaron su pico más alto a los 96 días. De las 39 líneas de trigo, 11 líneas no registraron infección, estas corresponden a los genes YR15/6*AOC, Lillian, AC Avonlea, CDC Alsask, Produra, Yr44, Carberry, CDC Teal, Brevis, Zak y Yr 43 (Figura 60).

Figura 60

Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de trigo

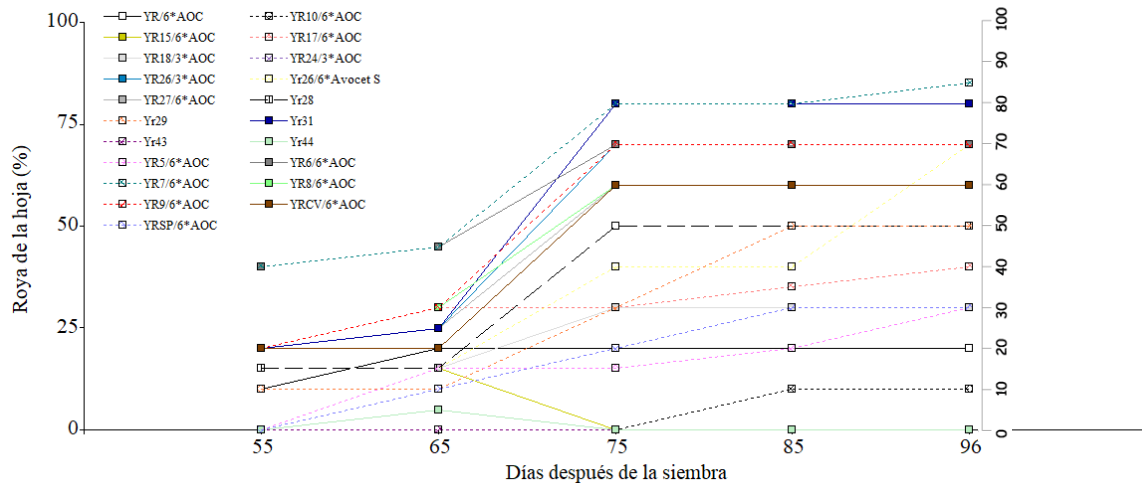


Por otra parte, existieron 10 líneas que presentaron signos de roya de la hoja, sin embargo, resultaron ser moderadamente resistentes (10 – 30% de severidad, presentando pequeñas uredias rodeadas por áreas cloróticas o necróticas) como las líneas Avocet+YRA,

YR/6*AOC, YR5/6*AOC, YR10/6*AOC, YR18/3*AOC, YRSP/6*AOC, CDC GO, AC Interpid, Ultima y Pronghorn (Figura 61). Por tanto, de las 39 líneas diferenciales de trigo, se seleccionaron 21 líneas, las cuales no presentaron infección o a su vez, resultaron moderadamente resistentes, estas podrán ser utilizadas como material para futuras investigaciones (Tabla 16) (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 61

Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de trigo



Al contrario, existieron líneas que fueron muy susceptibles a la enfermedad (severidad mayor a 70%, con uredias de tamaño medio posiblemente rodeados de clorosis) como la YR6/6*AOC, YR9/6*AOC, YR7/6*AOC, YR24/3*AOC, YR26/3*AOC, ACBarrie, Yr31, Yr26/6*Avocet S, AC Certa y Bunker (Ponce-Molina et al., 2019).

Otras investigaciones en las cuales se evaluaron las mismas líneas diferenciales en la localidad de Salache en la provincia de Latacunga y en Naguán perteneciente a la provincia de Bolívar, no se encontraron signos de roya de la hoja (*Puccinia triticina*) (Heredia, 2022; Unda, 2022).

Tabla 16

*Líneas de trigo seleccionadas por no presentar signos de infección, poseer resistencia o moderada resistencia a roya de la hoja (*Puccinia triticina*)*

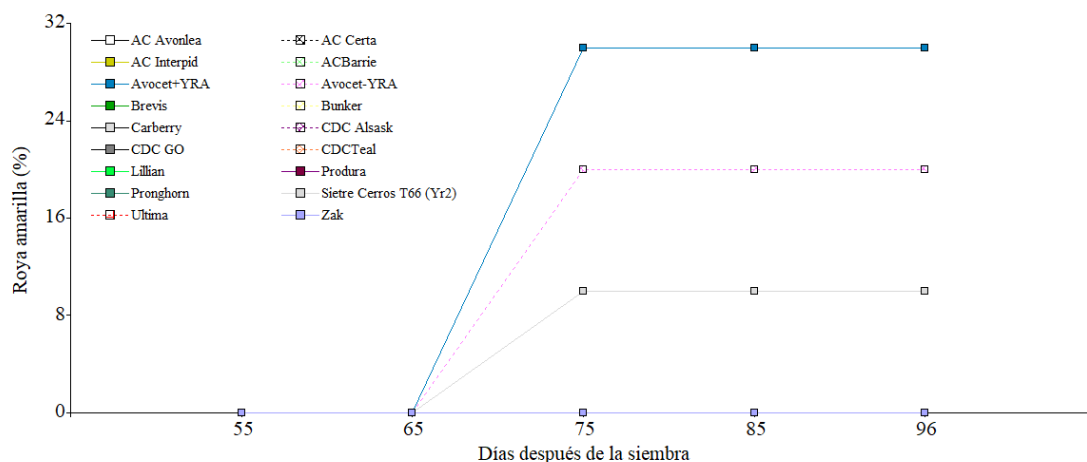
Pedigree	Porcentaje de severidad	Tipo de reacción
YR15/6*AOC	0	0
CDCTeal	0	0
Lillian	0	0
AC Avonlea	0	0
CDC Alsask	0	0
Carberry	0	0
Produra	0	0
Brevis	0	0
Zak	0	0
Yr43	0	0
Yr44	0	0
YR10/6*AOC	10	MR
CDC GO	10	MR
Avocet+YRA	20	MR
YR/6*AOC	20	MR
AC Interpid	20	MR
YR5/6*AOC	30	MR
YR18/3*AOC	30	MR
YRSP/6*AOC	30	MR
Ultima	30	MR
Pronghorn	30	MR

4.13.4. Roya amarilla (*Puccinia striiformis*) en trigo

La roya de la hoja (*Puccinia striiformis*) en las líneas de trigo comenzó a presentarse alrededor de los 75 días, sin embargo, la severidad no continuó en aumento. De las 39 líneas de trigo, solamente 5 líneas presentaron signos de roya amarilla, la línea YR27/6*AOC, la cual resultó ser resistente (1 – 9 % de severidad, presentando además clorosis o necrosis visibles sin presencia de uredias), y las líneas Avocet-YRA, Avocet+YRA, YR/6*AOC y Siete Cerros T66 (Yr2), las cuales resultaron ser moderadamente resistentes (10 – 30% de severidad, presentando pequeñas uredias rodeadas por áreas cloróticas o necróticas) (Figura 62). En general, ninguna línea de trigo fue susceptible a roya amarilla en la localidad de Chaltura, motivo por el cual pueden ser seleccionadas para ser utilizadas en futuras investigaciones y continuar en el programa de mejoramiento genético (Tabla 17) (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 62

Evolución de la roya amarilla en el cultivo de trigo



En la investigación realizada en Naguán, al igual que en la localidad de Chaltura, fueron seleccionadas las líneas Avocet-YRA y Sietre Cerros T66 (Yr2) debido a su resistencia a la roya amarilla, sin embargo, las líneas YR27/6*AOC, Avocet+YRA y YR/6*AOC, fueron susceptibles (Figura 63). Por otra parte, en la localidad de Salache en la provincia de Latacunga, también se evaluó las líneas diferenciales y se encontró que las líneas Avocet-YRA, Avocet+YRA, Sietre Cerros T66 (Yr2), YR27/6*AOC, YR27/6*AOC, presentaron una severidad superior al 80%, por lo cual se evidencia poca adaptación y resistencia a la roya por parte de las 5 líneas mencionadas anteriormente (Heredia, 2022; Unda, 2022).

Figura 63

Evolución de la roya amarilla en el cultivo de trigo

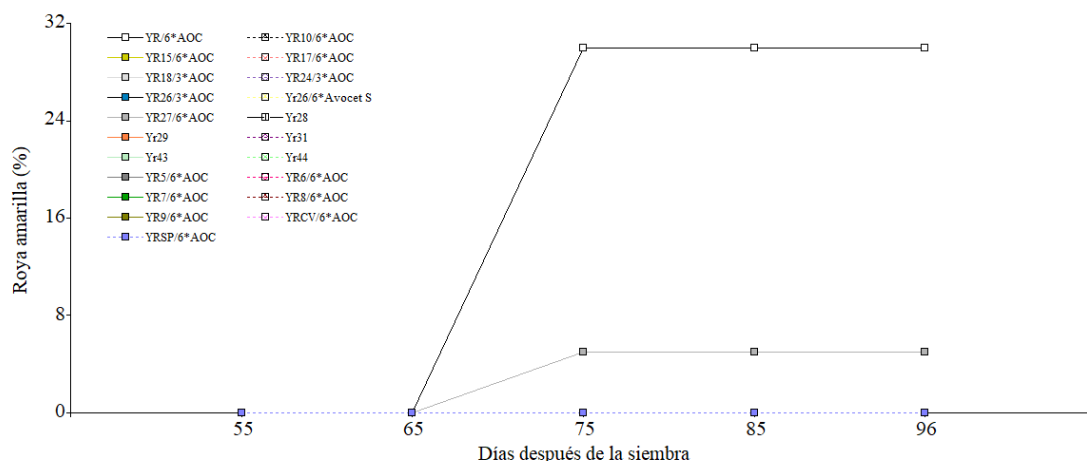


Tabla 17

*Líneas de trigo seleccionadas por no presentar signos de infección, poseer resistencia o moderada resistencia a roya amarilla (*Puccinia striiformis*)*

Pedigree	Porcentaje de severidad	Tipo de reacción
YR5/6* AOC	0	0
YR6/6* AOC	0	0
YR7/6* AOC	0	0
YR8/6* AOC	0	0
YR9/6* AOC	0	0
YR10/6* AOC	0	0
YR15/6* AOC	0	0
YR17/6* AOC	0	0
YR18/3* AOC	0	0
YR24/3* AOC	0	0
YR26/3* AOC	0	0
YRSP/6* AOC	0	0
YRCV/6* AOC	0	0
Yr28	0	0
Yr29	0	0
Yr31	0	0
ACBarrie	0	0
CDCTeal	0	0
Lillian	0	0
AC Avonlea	0	0
CDC Alsask	0	0
CDC GO	0	0
AC Interpid	0	0
Carberry	0	0
Produra	0	0
Yr26/6* Avocet S	0	0
AC Certa	0	0
Ultima	0	0
Pronghorn	0	0
Bunker	0	0
Brevis	0	0
Zak	0	0
Yr43	0	0
Yr44	0	0
YR27/6* AOC	5	R
Sietre Cerros T66 (Yr2)	10	MR
Avocet-YRA	20	MR
Avocet+YRA	30	MR
YR/6* AOC	30	MR

4.13.5. Roya de la hoja (*Puccinia hordei*) en cebada

En cuanto a la variable reacción a enfermedades en las líneas diferenciales de cebada, resultaron 4 líneas moderadamente resistentes, es decir, presentaron de 10 a 30% de severidad, presentando pequeñas uredias rodeadas por áreas cloróticas o necróticas, estas fueron la Mahigan, Heils Franken, Varundha y Mazurka, cabe destacar que las 3 últimas líneas mencionadas anteriormente fueron resistentes en la localidad de Bolívar, por lo que podrían ser seleccionadas como material para futuras investigaciones (Tabla 18) (Ponce-Molina et al., 2019; Heredia, 2022).

Tabla 18

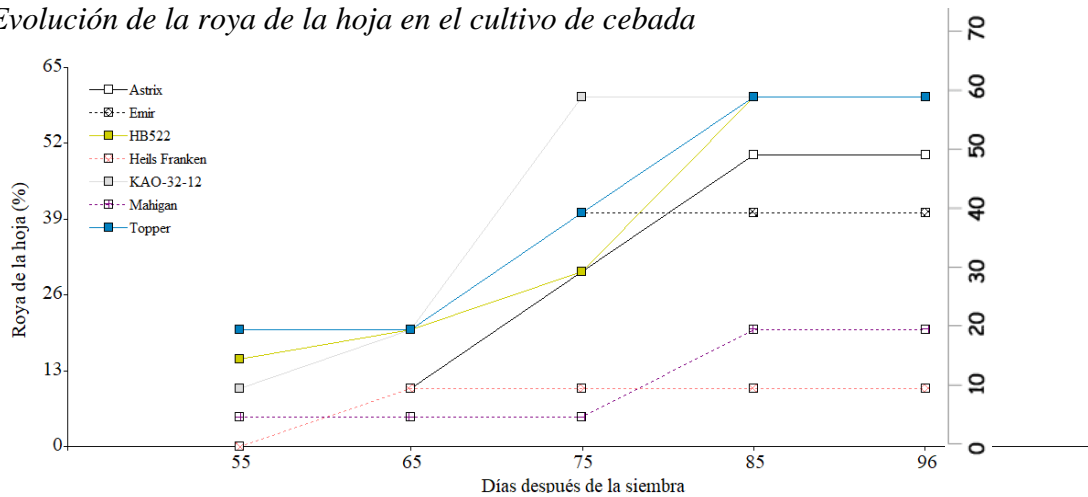
*Líneas de cebada seleccionadas por no presentar signos de infección, poseer resistencia o moderada resistencia a roya de la hoja (*Puccinia hordei*)*

Pedigree	Porcentaje de severidad	Tipo de reacción
Heils Franken	10	MR
Mahigan	20	MR
Varundha	30	MR
Mazurka	30	MR

Sin embargo, las 11 líneas restantes resultaron susceptibles, ya que presentaron más de 40% de severidad con grandes uredias generalmente con poca o ninguna clorosis ni necrosis (Figura 64) (Ponce-Molina et al., 2019).

Figura 64

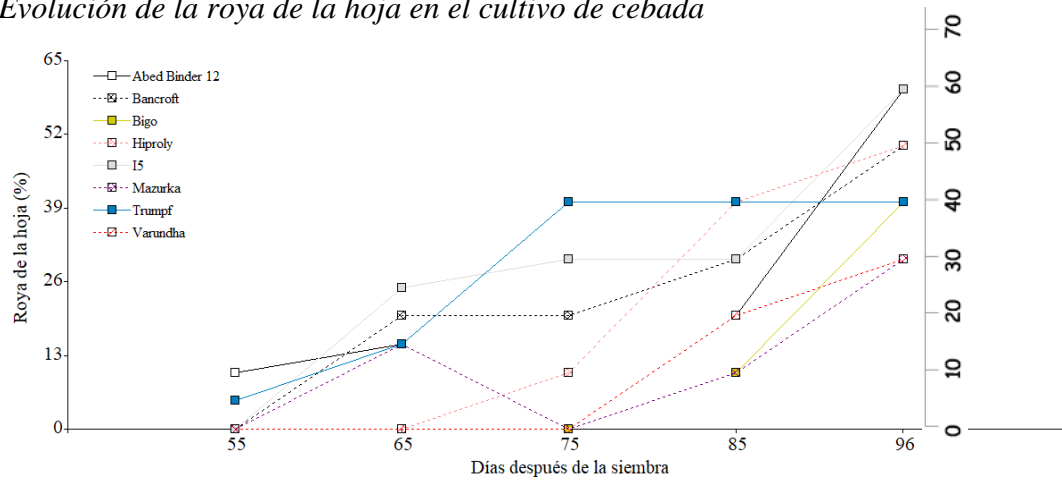
Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de cebada



En la localidad de Salache en la provincia de Latacunga, también se evaluó las mismas líneas diferenciales y se encontró que las líneas Varundha y Mazurka (Figura 65) presentaron un bajo porcentaje de severidad a roya de la hoja (menor al 20%), por lo cual es importante seleccionar estas líneas para continuar en el programa de mejoramiento genético (Unda, 2022).

Figura 65

Evolución de la roya de la hoja en el cultivo de cebada



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Según las condiciones agroclimáticas de la granja experimental La Pradera en Chaltura, provincia de Imbabura, de las 106 líneas diferenciales que fueron estudiadas, las que registraron resistencia, moderada resistencia y/o ausencia de la enfermedad de roya de la hoja (*Puccinia* spp.) fueron 32 líneas de avena, 21 líneas de trigo y 4 líneas de cebada, mientras que para roya amarilla (*Puccinia striiformis*) fueron resistentes todas las líneas de trigo y cebada.
- Las líneas de avena Pc 59, Pc 68, Pc 91, CDC Minstrel, Leggett, OT3044, Pinnacle, Ronald, Stainless, Summit, SW Betania y Triactor se destacaron en la localidad por no presentar signos de roya de la hoja (*Puccinia coronata*), a pesar de estar en contacto con otras líneas que presentaban la enfermedad.
- Las líneas de trigo YR15/6*AOC, Lillian, AC Avonlea, CDC Alsask, Produra, Yr44, Carberry, CDC Teal, Brevis, Zak y Yr 43 fueron las que resistieron de manera idónea a la roya de la hoja (*Puccinia triticina*) ya que no presentaron signos de la enfermedad hasta el fin del ciclo del cultivo.
- A diferencia de los otros cultivos, todas las líneas de cebada tuvieron síntomas de roya de la hoja (*Puccinia hordei*), sin embargo, las líneas Mahigan, Heils Franken, Varundha y Mazurka presentaron una severidad inferior al 30%, siendo moderadamente resistentes a la enfermedad.
- Las líneas diferenciales de trigo y cebada se vieron afectados solamente por roya, sin embargo, 12 líneas de avena (OT3044, SW Betania, CDC Sol-Fi, CDC Seabiscuit, Summit, CDC Weaver, Hifi, Lu, Derby, Souris, OT3037 y Stainless) además de la roya, presentaron porcentajes bajos (5-10%) de mancha foliar (*Helminthosporium sativum*).
- El rendimiento y parámetros de calidad del grano estuvo estrechamente relacionado con la severidad de la roya en cada una de las líneas, debido a que la roya en algunos casos llegó hasta a provocar la muerte de la planta antes del espigado. En las líneas de avena y trigo predominó (54 y 52% respectivamente) el grano de tamaño mediano, bien formado y limpio, sin embargo, en las líneas de cebada predominó (47%) el grano pequeño, delgado, manchado y chupado.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario tomar en cuenta las 57 líneas diferenciales de avena, trigo y cebada seleccionadas por ser resistentes a roya (*Puccinia* spp.) para ensayos futuros en parcelas de mayor tamaño para complementar el trabajo y conocer mejor la adaptabilidad de las líneas.
- Es importante ayudarse de los agricultores locales para realizar estudios en diversos sitios y tener más datos acerca del comportamiento de las líneas y socializar estos datos obtenidos con otras instituciones dedicadas a la investigación como universidades, MAG, INIAP, para compararlos y conocer de mejor manera la adaptabilidad, productividad y resistencia a enfermedades de las líneas.
- Desarrollar investigaciones enfocadas en las fórmulas de fertilización para determinar la que logre aumentar la productividad de las líneas y que se logre su máximo rendimiento, así como también relacionar la fertilización con la calidad del grano final.

REFERENCIAS

- Acuayte, E., Sandoval, S., Carballo, A., Villaseñor, E., Leyva, S., y Vargas, M. (2018). Áreas para producción de semilla de trigo en Valles Altos Centrales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(4), 737–746. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1391>
- Amaro, L., Huerta, J., Villaseñor, H., Leyva, S., Sandoval, S., y Benítez, I. (2010). Prueba de similitud en genes con resistencia a roya del tallo en genotipos de avena* test of similarity in genes with resistance to stem rust in oat genotypes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 541–554. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v1n4/v1n4a7.pdf>
- Arias, R. (2008). *Introducción a las ciencias agrarias: el cultivo de avena*. Temuco, Mexico.
- Ayo, M. (2015). Evaluación de la resistencia a roya amarilla (*Puccinia striiformis* sp. *hordei*) y roya de la hoja (*Puccinia hordei*) en el germoplasma promisorio de cebada (*hordeum vulgare* L.) del iniap en dos localidades. Pichincha [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4539/1/T-UCE-0004-5.pdf>
- Banco Central del Ecuador [BCE]. (2014). Importaciones de cebada. <Http://Www.Bce.Fin.Ec/>.
- Banco Central del Ecuador. (2019). Comercio exterior de bienes. Recuperado de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/EstudiosEconomicos/ComercioExteriorBienes/ComercioExteriorBienes2018.pdf>
- Campos, P., Giménez, F., Tomaso, J., & Brach, A. (2006). Caracterización de la población patógena de *Puccinia coronata* (roya de la hoja de la avena), en las campañas 2004-05-06 y comportamiento de cultivares frente al patógeno. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 1–7. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_roya_en_avena.pdf
- Céspedes, R., Apaza, G., Ramirez, D., Tumiri, E., y Ticona, F. (2018). Ruta del Trigo. Proyecto IDH: Validación de Variedades de Trigo Biofortificado en Valles Interandinos del Departamento de La Paz. Universidad Mayor de San Andrés, 4–22.

<http://iiaren.agro.umsa.bo/wp-content/uploads/2020/07/42-Ruta-del-trigo-cartilla1.pdf>

CIMMYT. (2007). Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales. México DF.: Centro Internacional de Mejoramiento de maíz y Trigo.

Coronel, J., Falconí, E., Garófalo, J., Rivadeneira, M., y Abad, S. (2010). INIAP-VIVAR: 2010 Nueva variedad de trigo para el sur de Ecuador. Cuenca. Ecuador.

<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5748/1/iniapeepCp2.pdf>

Corporación Financiera Nacional [CFN]. (2018). Anuario Estadístico 2018. https://www.cfn.fin.ec/documentos/anuario_estadistico_2018.pdf

Corporación Financiera Nacional [CFN]. (2022). Ficha sectorial Trigo, Subgerencia de análisis de productos y servicios.

<https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2022/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Trigo.pdf>

Falconí, E., Garófalo, I., Ponce, L., Coronel, J., y Abad, S. (2014). INIAP-Imbabura 2014: Nueva variedad de trigo de grano rojo para zonas trigueras del Ecuador. Quito. Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3293/1/iniapscpl412.pdf>

FAO. (2018). Análisis de la seguridad alimentaria y nutricional en Ecuador. <http://www.fao.org/3/ca1512es/CA1512ES.pdf>

Fundación Española de la Nutrición [FEN]. (2017). Datos actuales sobre las propiedades nutricionales de la avena.

https://www.fen.org.es/storage/app/media/PUBLICACIONES%202017/INFORME%20AVENA_FEN_v2_2017__AvenaFEN2017_ok%201.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAOSTAT]. (2019). Data/Crops. Actualizada en Enero 2019. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QI>

Formento, Á., y Kuttel, W. (2022). Comportamiento de cultivares comerciales de avena a la roya de la hoja (*Puccinia coronata*) en el año 2021 en INTA EEA Paraná. Serie Extensión INTA Paraná No 87, 64–68. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/11520/INTA_CREnt

eRios_EEAParana_Formento_AN_Comportamiento_cultivares_comerciales_avena_roya_hoja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Garófalo, J., Ponce-Molina, L., y Abad, S. (2011). Guía del Cultivo de Trigo. Boletín Divulgativo No.411. INIAP-Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/381/4/iniapscbd411.pdf>

Garófalo, J., Ponce-Molina, L. y Noroña, P. (2021). Incremento del rendimiento y calidad de grano en germoplasma mejorado de trigo (*Triticum aestivum* L.) del INIAP, en el año 2020. <https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/122/307>

González, M., Zamora, M., y Solano, S. (2016). Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7, 159–171. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n1/2007-0934-remexca-7-01-00159.pdf>

Guerrero, J. (2012). Asistencia Técnica dirigida en análisis de suelos y fertilización en el cultivo de avena forrajera: Guía técnica. UNALM-Agrobanco. Puno, Perú. 30 p.

Heredia, D. (2022). Valoración agronómica y fitosanitaria de 106 accesiones de avena (*Avena sativa*), trigo (*Triticum aestivum*) y cebada (*Hordeum vulgare*) en la localidad de Naguan provincia Bolívar. Guaranda, Ecuador

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá [INCAP]. (2006). Cereales y sus Productos.

<https://aprendizaje.mec.edu.py/dw-recursos/system/content/c171493/600%20-%20Ciencias%20aplicadas,%20Tecnologia/610%20-%20Ciencias%20medicas.%20Salud.%20Medicina/Cereales%20y%20sus%20Productos.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2019). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC). [Www.Inec.Gob.Ec](http://www.Inec.Gob.Ec). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (1984). INIAP – 82: Nueva variedad de avena de doble propósito. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/232/4/iniapscbd140.pdf>

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2022). Nuevas variedades de

papa y cebada para aumentar la producción. <https://www.iniap.gob.ec/nuevas-variedades-de-papa-y-cebada-para-aumentar-la-produccion/>

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (2022). INIAP ÑUSTA 2016:

Nueva variedad de cebada de grano descubierto para el sur del Ecuador.

<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3532/1/PLEGABLE%20NO.426.pdf>

Jiménez, C., Coronel, J., Garófalo, J., Ponce, L., Cárdenas, A., Ochoa, M., Rodríguez, L., Bravo, C., Garzón, J., Noroña, P., Campaña, D., y Muñoz, R. (2020). Nueva variedad de avena de doble propósito para la Sierra Sur ecuatoriana INIAP Fortaleza 2020. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias Estación Experimental del Austro, 1–2. <file:///C:/Users/orlan/Downloads/iniapeeapp2.pdf>

Lovatto, M., Silva, G., Coelho, F., Martinelli, J., Pacheco, M., Federizzi, L., y Delatorre, C. (2021). Crown rust on oat genotypes with different levels of resistance: damages and losses. *Ciência Rural*, 51(3). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200298>

Mathias, R., y Fernández, G. (2019). Guía de enfermedades que afectan al cultivo de la avena y sus estrategias de prevención. Temuco: Ficha Técnica INIA Carillanca. no. 37. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/66924/NR41949.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Miller, T. (2000). Estadios de crecimiento del cultivo de trigo. La identificación y su entendimiento para un mejor manejo de los cultivos. <https://www.lgseeds.es/media/Estadios-de-crecimiento-del-Trigo-1.pdf>

Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador [MAG]. (2018). Plan Nacional de Desarrollo Agropecuario 2018-2021.

<http://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/10/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-AGROPECUARIO-2018-2021.pdf>

Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador [MAG]. (2020). Anuario Estadístico 2019.

<https://www.agricultura.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2021/04/AnuarioEstadistico-2019.pdf>

- Navarrete, D. (2015). Rendimiento y calidad de grano en líneas experimentales de cebada de dos hileras (*Hordeum distichum* L.) [Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas].
http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/2623/Navarrete_Rojas_D_MC_Edafologia_2015.pdf?sequence=1
- Pinto, M. (2012). El cultivo de la avena y el clima en Ecuador. Quito, Ecuador.
<http://www.revistaelagro.com/el-cultivo-de-la-avena-y-el-clima-en-ecuador/>
- Ponce-Molina, L., Campaña, D., Noroña, P. y Garófalo, J. (2020). Actividades de Investigación en Cereales Año 2019. Boletín Técnico No. 175. INIAP. Quito, Ecuador. 74 p.
- Ponce-Molina, L., Garófalo, J., Campaña, D., y Noroña, P. (2019). Parámetros de evaluación y selección de cereales. Programa de Cereales 2019 (111), 58. Quito, Ecuador.
- Ponce-Molina, L., Noroña, P., Campaña, D., Garófalo, J., Coronel, J., Jimenez, C., y Cruz, E. (2020). La cebada (*Hordeum vulgare* L.): Generalidades y variedades mejoradas para la Sierra ecuatoriana. Manual No. 116. INIAP, Programa de Cereales, Estación Experimental Santa Catalina, 3–49.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5587/2/Manual%20116%20La%20cebada.pdf>
- Ponce-Molina, L., Garófalo, J., Campaña, D., Noroña, P., Coronel, J., Jimenez, C., Villacrés, E., Asaquibay, C., Nieto, M., López, V. (2022). INIAP Alfa 2021: Cebada maltera para la Sierra Ecuatoriana. Mejía. Ecuador.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5972/1/TRIPTICO%20INIAP%20ALFA.pdf>
- Quishpe, J. (2011). Plan de recuperación y fomento del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) mediante el desarrollo, producción y difusión de semilla de variedades de trigo para la Sierra ecuatoriana.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2470/1/iniapscP.Q6c2010.pdf>
- Ramos, F. (2013). Maíz, trigo y arroz. Los cereales que alimentan el mundo (Primera Edición). Universidad Autónoma de Nuevo León.

<http://eprints.uanl.mx/3649/1/maiztrigoarroz.pdf?fbclid=IwAR0cz1RD6xbcyhAFnRVTbPoqNirbq0iViz9kNmrRCDmPEeJC2cYrV7WLrdc>

Reeves, D. y Sraon, H. (1976). How an oat plant develops. Bolletin Agricultural Experiment Station South Dakota State University. 645: 15pp

Rodríguez, M., Rojas, R., Huerta, J., Villaseñor, H., Zavaleta, E., Sandoval, J., y Crossa, J. (2019). Genética de la resistencia a roya amarilla causada por *Puccinia striiformis* f. sp. tritici W. en tres genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). Rev. Fitotec. Mex, 42 (1), 31–38. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000100031

Salas, M. (2016). Efecto de los microorganismos eficaces y bioabonos en el rendimiento y calidad de la avena forrajera (avena sativa L.) variedad INIA 901 Mantaro 15m en condiciones edafoclimaticas de Cayhuayna - 2015. <file:///C:/Users/orlan/Downloads/TAG%2000719%20S17.pdf>

Sánchez, R. (1994). Producción de granos y forrajes (Quinta Edición). Grupo Editorial Limusa. S.A.

Unda, J. (2022). “Evaluación de líneas diferenciales para royas (*Puccinia graminis*) en avena (*Avena sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) del INIAP, bajo las condiciones ambientales en el campus Salache UTC 2021-2022. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9620/1/PC-002439.pdf>

Villaseñor, Ó., Huerta, J., Gerardo, S., Mir, L., Villaseñor, H., Singh, R., Sandoval, J., y Espitia, E. (2009). Genética de la resistencia a roya amarilla en plantas adultas de trigo harinero. Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex, 32(3), 217–223. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v32n3/v32n3a9.pdf>

Watson, L. (2011). Avena forrajera. New York

Wiersema, J. (2007). Germoplasm Resources Information. Boston: TRIPOD.

Zúñiga, J. (2007). Trigo blanco valor nutricional y potencial. INIA Tierra adentro.