

**Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
Estación Experimental Santa Catalina**

Programa de Cereales

Informe Anual 2021



Mejía – Pichincha – Ecuador

Contenido

INFORME ANUAL 2021	5
1. Departamento/Programa:	5
2. Nombre Director de la Estación Experimental:.....	5
3. Responsable del Programa en la Estación Experimental:	5
4. Equipo Técnico Multidisciplinario I+D:	5
5. Financiamiento:	5
6. Proyectos:.....	5
7. Socios Estratégicos para Investigación:	5
8. Publicaciones:.....	6
9. Participación en eventos de difusión científica, técnica o de difusión:.....	6
10. Proyectos.....	7
11. Hitos/Actividades por proyecto ejecutadas por el programa o departamento:	8
11.1. Proyecto “Desarrollo de técnicas de cultivo para la producción sostenible de trigo y cebada con prácticas de conservación del suelo en las tierras altas de Ecuador”. ...	8
11.1.1. Antecedentes:.....	8
11.1.2. Objetivos:.....	9
11.1.2.1. Objetivo general	9
11.1.2.2. Objetivos específicos	9
11.1.3. Metodología:	9
11.1.3.1. Materiales.....	9
11.1.3.2. Métodos.	10
11.1.4. Resultados	11
11.1.4.1. Parcelas de investigación serán implementadas con tres prácticas de conservación de suelo	11
11.1.4.2. Siembra de parcelas de investigación y / o demostración práctica de conservación agronómica de suelos en la provincia de Chimborazo (2 parcelas), Imbabura (2 parcelas), Pichincha (2 parcelas) y Bolívar (2 parcelas). (Año 3).....	12
11.1.4.3. Mantenimiento y seguimiento de parcelas de investigación y / o demostración (año 3). 14	
11.1.4.4. Evaluación del desarrollo agronómico de cereales y análisis de las prácticas de conservación del suelo.	16
11.1.4.5. Análisis de resultados y preparación del informe técnico.....	17
11.1.4.6. Grupos de agricultores involucrados en la conservación del suelo y las buenas prácticas agrícolas.....	19
11.1.5. Conclusiones.....	21
11.1.6. Recomendaciones.....	21
Difundir la técnica de Incorporación de Abono Verde, así como el uso de Semilla de Calidad como herramientas para mejorar los cultivos de trigo y cebada en otras zonas cerealeras de las provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Bolívar, y en el resto de provincias de la Sierra Ecuatoriana, para ello, se propondrá una Segunda Fase del Proyecto al RDA a través del Centro KOPIA Ecuador.....	21
11.1.7. Bibliografía.....	21
11.2. Actividad. Evaluación de rendimiento y características agronómicas de líneas promisorias de Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	22
11.2.1. Antecedentes:.....	22
11.2.2. Objetivos:.....	23
11.2.2.1. Objetivo general	23
11.2.2.2. Objetivos específicos	23

11.2.3.	Metodología:	24
11.2.3.1.	Evaluación y selección de material avanzado	24
11.2.3.2.	Parcelas chicas (PC) de cebada	24
11.2.3.3.	Surcos triples de cebada	24
11.2.3.4.	Incremento de semilla categoría “Básica” y Seleccionada	25
11.2.4.	Manejo de los ensayos	25
11.2.5.	Variables y métodos de evaluación	25
11.2.6.	Resultados:	25
11.2.6.1.	Ensayo de Rendimiento 1 de Cebada Dística (ER1 CD)	25
11.2.6.2.	Ensayo de Rendimiento 2 de Cebada Dística (ER2 CD)	27
11.2.6.3.	Ensayo de Rendimiento 3 de Cebada Hexástica (ER3 CH).....	28
11.2.6.4.	Ensayo de Rendimiento 4 de Cebada Desnuda (ER4 CN).....	29
11.2.6.5.	Ensayo de Rendimiento 5 de Cebada Maltera (ER5 CM)	30
11.2.6.6.	Parcelas chicas (PCs) de cebada.....	31
11.2.6.7.	Surcos triples (ST) de cebada	32
11.2.6.8.	Incremento de semilla de categoría Básica y Seleccionada	32
11.2.7.	Conclusiones.....	32
11.2.8.	Recomendaciones:.....	33
11.2.9.	Referencias:	33
11.3.	Actividad. Desarrollo y selección de poblaciones segregantes de Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.).....	34
11.3.1.	Antecedentes:.....	34
11.3.2.	Objetivos:.....	35
11.3.2.1.	Objetivo general.	35
11.3.2.2.	Objetivos específicos.	35
11.3.3.	Metodología:	35
11.3.4.	Desarrollo de poblaciones filiales (F ₁) de cebada.....	35
11.3.4.1.	Evaluación de poblaciones segregantes F ₂ , F ₃ , F ₅ , y F ₆ de cebada	37
11.3.5.	Resultados:	37
11.3.6.	Desarrollo de poblaciones filiales (F ₁) de cebada.....	37
11.3.6.1.	Evaluación de poblaciones F ₂ , F ₃ , F ₅ y F ₆ en campo.....	39
11.3.7.	Conclusiones:.....	39
11.3.8.	Recomendaciones:.....	40
11.3.9.	Referencias:	40
11.4.	Actividad. Evaluación del rendimiento y características agronómicas de líneas promisorias de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	41
11.4.1.	Antecedentes:.....	41
11.4.2.	Objetivos:.....	42
11.4.2.1.	Objetivo general	42
11.4.2.2.	Objetivos específicos	42
11.4.3.	Metodología:	42
11.4.3.1.	Evaluación y selección de material avanzado	42
11.4.3.2.	Parcelas chicas (PCs) de trigo.....	43
11.4.3.3.	Ensayo de surcos triples (STs) de trigo.....	43
11.4.3.4.	Incremento de semilla categoría básica y seleccionada	43
11.4.4.	Manejo de los ensayos	44
11.4.5.	Variables y métodos de evaluación	44
11.4.6.	Resultados:	44
11.4.6.1.	Ensayo de Rendimiento 1 (ER1 TH).....	44
11.4.6.2.	Ensayo de Rendimiento 2 (ER2 TH).....	45
11.4.6.3.	Ensayo de Rendimiento 3 (ER3 TH).....	47

11.4.6.4. Parcelas chicas (PCs) de trigo.....	48
11.4.6.5. Ensayo de surcos triples (STs) de trigo.....	48
11.4.6.6. Incremento de semilla con categoría Básica y Seleccionada.	49
11.4.7. Conclusiones:.....	49
11.4.8. Recomendaciones:.....	50
11.4.9. Referencias:	50
11.5. Actividad. Avances generacionales de diferentes poblaciones segregantes de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.).	51
11.5.1. Antecedentes:.....	51
11.5.2. Objetivos:.....	52
11.5.2.1. Objetivo general	52
11.5.2.2. Objetivos específicos	52
11.5.3. Metodología:	53
11.5.3.1. Desarrollo de poblaciones filiales (F ₁) de trigo.....	53
11.5.3.2. Evaluación de poblaciones segregantes F ₂ , y F ₃ de trigo en campo.	53
11.5.4. Resultados:	54
11.5.4.1. Desarrollo de poblaciones filiales (F ₁) de trigo.....	54
11.5.4.2. Evaluación de poblaciones segregantes F ₂ , y F ₃ de trigo en campo.	55
11.5.5. Conclusiones:.....	56
11.5.6. Recomendaciones:.....	56
11.5.7. Referencias:	56
11.6. Actividad. Evaluación del rendimiento y características agronómicas de líneas promisorias de avena (<i>Avena sativa</i> L.).	57
11.6.1. Antecedentes:.....	57
11.6.2. Objetivos:.....	58
11.6.2.1. Objetivo general	58
11.6.2.2. Objetivos específicos	58
11.6.3. Metodología:	58
11.6.3.1. Evaluación y selección de material avanzado	58
11.6.3.2. Incremento de semilla categoría básica y seleccionada	59
11.6.4. Manejo de los ensayos	59
11.6.5. Variables y métodos de evaluación	59
11.6.6. Resultados:	60
11.6.6.1. Ensayo de rendimiento 1 (ER1 AS).....	60
11.6.6.2. Incremento de semilla con categoría Básica y Seleccionada.	61
11.6.7. Conclusiones:.....	61
11.6.8. Recomendaciones:.....	61
11.6.9. Referencias:	62
11.7. Actividad. Evaluación del rendimiento y características agronómicas de líneas promisorias de Triticale (X <i>Triticosecale Wittmack</i>).	63
11.7.1. Antecedentes:.....	63
11.7.2. Objetivos:.....	64
11.7.2.1. Objetivo general	64
11.7.2.2. Objetivos específicos	64
11.7.3. Metodología:	64
11.7.3.1. Evaluación y selección de material avanzado	64
11.7.3.2. Incremento de semilla categoría básica y seleccionada	65
11.7.4. Manejo de los ensayos	65
11.7.5. Variables y métodos de evaluación	65
11.7.6. Resultados:	65
11.7.6.1. Ensayo de rendimiento 1 (ER1 TCL)	65

11.7.6.2. Incremento de semilla con categoría Básica y Seleccionada.	67
11.7.7. Conclusiones:.....	67
11.7.8. Recomendaciones:.....	67
11.7.9. Referencias:	67
Anexo 1.....	69

INFORME ANUAL 2021

1. Departamento/Programa:

Programa de Cereales

2. Nombre Director de la Estación Experimental:

Ing. Karla Tinoco (Hasta septiembre 2021)

Ing. Jorge Esteban Rivadeneira Ruales, MSc (Desde octubre de 2021)

3. Responsable del Programa en la Estación Experimental:

Dr. Luis Jonatan Ponce Molina

4. Equipo Técnico Multidisciplinario I+D:

Mgs. Javier Alberto Garófalo Sosa (Técnico Programa de Cereales)

Ing. Patricio Javier Noroña Zapata (Técnico Programa de Cereales)

Colaboradores: se detallan en cada actividad.

5. Financiamiento:

Gasto Corriente Estación Experimental Santa Catalina.

KOPIA RDA Corea

6. Proyectos:

- Desarrollo de técnicas de cultivo para la producción sostenible de trigo y cebada con prácticas de conservación del suelo en las tierras altas de Ecuador” financiado por el RDA-Corea a través del centro KOPIA-Ecuador, por un monto anual de 50000 USD. Inició en enero del 2019 y terminó en diciembre del 2021.
- Actividades de Investigación en la EESC con Gasto Corriente del INIAP, con un monto asignado de 4400 USD. Enero 2021 a Diciembre 2021.

7. Socios Estratégicos para Investigación:

KOPIA RDA-Corea

Centro KOPIA-Ecuador

CIMMYT-México.

ICARDA-Marruecos.

Universidad de Alberta-Canadá.

Instituto de Mejoramiento de Plantas-Australia.

Universidad de Saskatchewan-Canadá.

8. Publicaciones:

Publicaciones Técnicas (Anexo 1)

Ponce-Molina, L., Garófalo, J., Noroña, P., y Campaña, D. (2021). Actividades de Investigación en Cereales Año 2020. Boletín Técnico No. 181. INIAP. Quito, Ecuador. 74 p. ISBN Impreso: 978-9942-22-542-9 e ISBN Digital: 978-9942-22-543-6

Nieto, M., Garófalo, J. y Ponce-Molina, L. (2021) Guía para facilitar el aprendizaje sobre el manejo integrado del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.). Manual No. XX. INIAP. Quito-Ecuador. 115 p. ISBN Impreso: 978-9942-22-551-1 e ISBN Digital: 978-9942-22-552-8

Artículos Científicos

Garófalo, J., Ponce-Molina, L., Noroña, P., & Campaña, D. (2021). Dosimetría y dosis letal media (DL50) para mutaciones inducidas con rayos gamma en dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L.). *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 12(22), 59-71. <https://doi.org/10.18272/aci.v12i3.2019>

Garófalo, J., Ponce-Molina, L., & Noroña, P. (2021). Incremento del rendimiento y calidad de grano en germoplasma mejorado de trigo (*Triticum aestivum* L.) del INIAP, en el año 2020. *Revista Alfa*, 5(14), 250–261. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.115>

Capítulo de Libro

Garófalo, J., Ponce-Molina, L., Noroña, P., Campaña, D., Cuesta, X. Rivadeneira, J., Monteros, C., Racines, M., Coronel, J., & Jiménez, C. (2021). Ecuador: Fitomejoramiento de cultivos de seguridad alimentaria, cebada y papa. En S. de los Santos (Ed.). *Inducción de Mutaciones: Estado del conocimiento en el mejoramiento de plantas en América Latina y el Caribe* (pp. 85-102). Editorial Fontamara.

9. Participación en eventos de difusión científica, técnica o de difusión:

Ponencia:

Garófalo, J., Ponce-Molina, L., Noroña, P. (2021). Incremento del rendimiento y calidad de grano en germoplasma mejorado de trigo (*Triticum aestivum* L.) del INIAP, en el año 2020. En M. Calvache y J. Duarte (Eds.) *Memorias científicas del XII Congreso Latinoamericano de Agronomía “Cultivando esperanza, cosechando futuro”* (pp. 15). ISBN: 978-9942-844-20-0.

Garófalo, J., Ponce-Molina, L., Noroña, P., Pereira-Lorenzo, S. (2021). Estimación del incremento de rendimiento de grano de trigo en variedades mejoradas por el INIAP. En E. Rueda y L. Blacha (Eds.) *Memorias científicas del XIII Congreso Internacional de Agronomía* (pp. 30). ISBN: 978-9942-844-39-2.

Ponce-Molina, L., Garófalo, J., & Patricio, N. (2021) Expositores en el “Simpósio de Agroecología, Seguridad Alimentaria y Sostenibilidad”. Estación Experimental Tunshi del 19 al 21 de Octubre de 2021.

10. Proyectos

Propuesta 1.

Título: Desarrollo de modelos matemáticos para predicción del valor nutricional de trigo y cebada como herramienta de determinación de la calidad, para productores a nivel nacional.

Tipo propuesta: Proyecto

Fondos o Convocatoria: FIASA

Fecha presentación: Octubre 2021

Responsable: Dr. Luis Ponce Molina y Dr. Iván Samaniego

Equipo multidisciplinario: Ing. Javier Garófalo (INIAP), Ing. Javier Noroña (INIAP), Ing. Bladimir Ortíz (INIAP), Quim. Verónica Arias (INIAP), Ing. Carmen Rosales (INIAP), Ing. Diego Peñaherrera (INIAP), Ing. Jovanny Suquillo (INIAP), Ing. María Nieto (INIAP), In. Victoria López (INIAP), Ing. Fausto Yumisaca (INIAP)

Presupuesto: 535 800 USD

Duración proyecto: 36 meses.

Estado: En Trámite.

11. Hitos/Actividades por proyecto ejecutadas por el programa o departamento:

11.1. Proyecto “Desarrollo de técnicas de cultivo para la producción sostenible de trigo y cebada con prácticas de conservación del suelo en las tierras altas de Ecuador”.

Fecha Aprobación del Proyecto: Octubre de 2018

Responsable: Dr. Luis Ponce

Colaboradores: Mgs. Javier Garófalo, Ing. Javier Noroña, Ing. María Nieto, Ing. César Asaquibay, Ing. Fausto Yumisaca.

11.1.1. Antecedentes:

En el 2020 en el Ecuador, según el Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA), el área de trigo (grano seco) fue de 6 880 ha con una productividad de 2 t ha⁻¹ y para la cebada 11155 ha con una productividad de 1.4 t ha⁻¹. Estos cereales se encuentran, distribuidos en todas las provincias de la Sierra entre los 2200 y 3400 msnm. En el año 2020 se importó 1'096 589 toneladas de granos de trigo (Sistema de Información Pública Agropecuaria SIPA, 2020); y según el INEC (2020) en el Ecuador las importaciones de cebada superaron las 67 mil t año⁻¹.

En Ecuador la cebada y el trigo son los principales cereales menores dentro de la canasta básica familiar de la sierra; sin embargo, a través del tiempo, varios factores han incidido en la producción de estos cultivos, entre ellos cabe mencionar, la falta de acceso a nuevas tecnologías, políticas agrícolas y el inadecuado manejo del cultivo (Ponce-Molina *et al.*, 2020).

En la región interandina del Ecuador, se estima que el 70% de los agricultores dedicados a los cultivos de trigo y cebada lo hacen en menos de 1 ha (8300 m²); granjas incluso de 10-20 ha dedican solo 1 o 2 ha para plantar estos cultivos (INEC-MAG-SICA, 2002), debido a que son cultivos de subsistencia; sin embargo, son de gran importancia desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, ya que son la principal fuente de alimentos para estos sectores que se encuentran entre los estratos más vulnerables de la sociedad (Rivadeneira, 2005).

El cultivo de cereales en Ecuador se encuentra en las tierras altas de la región interandina (sobre los 2000 msnm), que se caracterizan por tener suelos erosionados con problemas de baja fertilidad y acidez, lo que causa directamente una disminución en los rendimientos de estos cultivos (Rivadeneira, 2005).

Más del 50% de la superficie de la región andina sufre de erosión (De Noni & Trujillo, 1990). Las pérdidas del recurso suelo fluctúan entre 200-500 toneladas por hectárea por año, consideradas por la FAO como de muy alta erosión (FAO, sf). Los principales factores que insiden en la erosión son el viento y los efectos de la lluvia, así como por los relieves y el impacto humano de las actividades agrícolas (De Noni & Trujillo, 1990).

11.1.2. Objetivos:

11.1.2.1. Objetivo general

Incrementar la productividad de trigo y cebada en un 20% entre los agricultores beneficiarios del proyecto ubicado en los Andes de Ecuador a través de un manejo integrado de cultivos, tecnologías de conservación de suelos y semillas de calidad.

11.1.2.2. Objetivos específicos

1. Implementar parcelas de investigación sobre parcelas que tuvieron tres prácticas de conservación de suelo.
2. Evaluar y analizar el desarrollo agronómico de cereales en las parcelas que tuvieron las tres prácticas de conservación de suelo.

11.1.3. Metodología:

11.1.3.1. Materiales

Siembra parcelas de investigación y/o demostrativas y lotes comerciales:

semilla de cebada variedad INIAP Cañicapa 2003 e INIAP-Alfa 2021 y de trigo variedad INIAP-Vivar 2010, sembradora de siembra directa, fertilizantes edáficos (15-30-15+ EM, urea sulfatada), baldes plásticos, azadones, rastrillos.

Mantenimiento de parcelas de investigación y/o demostrativas y lotes comerciales:

fertilizantes (urea sulfatada), herbicidas (glifosato y metsulfurón metil).

Análisis de muestras de suelo:

Barreno, baldes, fundas de papel.

Días de campo:

Material didáctico y divulgativo.

11.1.3.2. Métodos.

Selección de lotes:

La siembra de trigo y cebada se realizó en las parcelas de investigación en las cuales, en los años anteriores, se implementaron las técnicas de conservación de suelo (siembra directa, rotación cultivos y abono verde). En las parcelas de siembra directa, se realizó un nuevo ciclo con esta técnica.

Preparación del suelo:

El terreno se preparó con un mes antes de antelación con la finalidad de controlar las malezas. En la preparación del terreno se utilizó un pase de arado y dos pases de rastra.

Sistema de siembra:

La siembra se realizó de forma manual y mecanizada, según la localidad y disponibilidad de los agricultores participantes en el proyecto. La densidad de siembra para trigo fue de 180 kg ha⁻¹ y para cebada 150 kg ha⁻¹. Previamente, la semilla fue desinfectada con Fludioxil en dosis de 2 cc kg⁻¹ semilla.

Fertilización:

La cantidad de fertilizante químico a la siembra y la fertilización nitrogenada complementaria se realizó en base a la recomendación media para un rendimiento de 4 toneladas de grano por hectárea, con valores de 80 kg N, 60 P₂O₅, 50 K₂O, 20 S, 1 MgO, 1 B y 4 Ca. Todo el P, K, S y el 20% de N fue aplicado a la siembra. El 40% del N fue aplicado en la fase fenológica Z22 (brote principal y dos macollos) y el otro 40% en la etapa Z30 (en el tallo principal se observa entre nudos).

Época de siembra:

La siembra se realizó en las épocas lluviosas, noviembre-diciembre en la provincia de Chimborazo y febrero-abril en las provincias de Imbabura y Pichincha.

Control de malezas:

El control de malezas se realizó utilizando el herbicida post-emergente (metsulfuron methyl) específico para controlar malezas de hoja ancha. La aplicación se realizó al inicio del macollamiento usando una dosis de 15 g ha⁻¹.

Evaluación y recopilación de datos:

Las parcelas de investigación y / o demostrativas del ciclo 2021 fueron cultivos de trigo y cebada, que se implementaron en las mismas parcelas de los dos años anteriores, 2019 y 2020, y que estuvieron con las diferentes prácticas agronómicas de conservación del suelo (siembra directa, rotación de cultivos y abono verde). Adicionalmente se sembraron parcelas testigo, con el manejo del agricultor o

manejo convencional. Para determinar el efecto de la técnica de conservación de suelo, se realizaron muestreos de suelo al inicio y final del ciclo del cultivo, y se mandaron a realizar análisis físico-químico en el laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas.

Cosecha:

La cosecha y trilla se realizó de forma manual o mecanizada dependiendo del agricultor o comunidad, una vez que las plantas alcanzaron la madurez fisiológica. El grano cosechado se almacena en bolsas de tela y/o sacos de yute con su respectiva identificación.

Post cosecha:

El material cosechado fue secado hasta tener una humedad de alrededor del 12-13%. Posteriormente se limpió de impurezas y se almacenó.

Día de Campo:

Los días de campo de demostración se llevaron a cabo para dar a conocer los resultados del proyecto. Además, se desarrollaron boletines y/o publicaciones informativas que fueron entregados a los agricultores, técnicos y estudiantes.

11.1.4. Resultados

11.1.4.1. Parcelas de investigación serán implementadas con tres prácticas de conservación de suelo

11.1.4.1.1. Capacitación a personal técnico de transferencia del INIAP

Durante el año 2021 se organizó el Curso virtual “Análisis estadístico de estabilidad y combinado” dirigido al personal de transferencia del INIAP. Este evento se realizó el 15 de diciembre de 2021 a través de la plataforma Zoom y asistieron un total de 19 personas entre Técnicos de Transferencia del INIAP, técnicos de KOPIA, docentes de Universidades y Estudiantes (Figura 1)

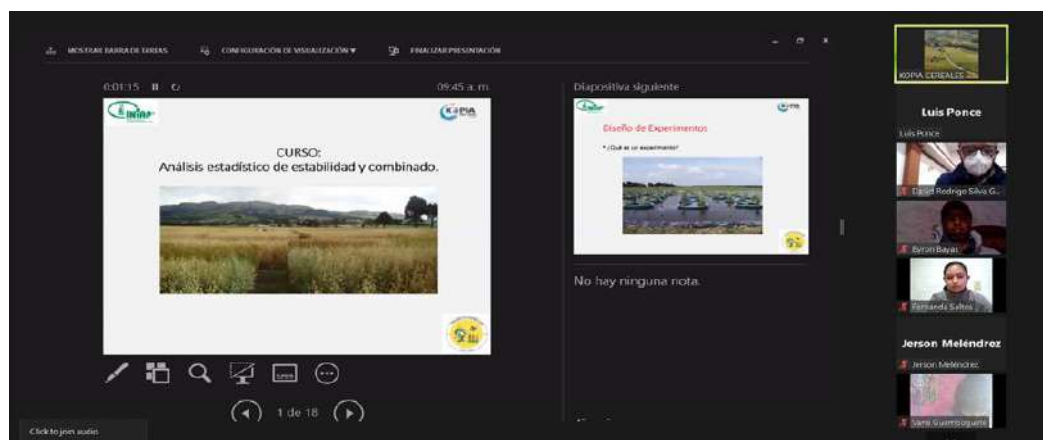


Figura 1. Capacitación vía a zoom en análisis de estabilidad y combinado.

11.1.4.2. Siembra de parcelas de investigación y / o demostración práctica de conservación agronómica de suelos en la provincia de Chimborazo (2 parcelas), Imbabura (2 parcelas), Pichincha (2 parcelas) y Bolívar (2 parcelas). (Año 3).

En el año 2021, se implementaron 8 parcelas de investigación y 12 lotes de multiplicación de semilla (Figura 2) con una superficie total de 19,45 ha en las provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Bolívar (Tabla 1).

Tabla 1. Parcelas de investigación implementadas por el Proyecto KOPIA-Cereales. 2021.

Provincia	Localidades	Tipo de ensayo	Superficie ha	Técnicas conservación					Multiplicación semilla	Cultivo
				Siembra directa	Convencional + Abono verde	Convencional + Rotación	Rotación	Convencional		
Imbabura	Ugsha/Asociación Plaza Pallares Lote 1	Investigación	0,6		0,4			0,2		Cebada
	Ugsha/Asociación Plaza Pallares Lote 2	Investigación	0,6		0,3			0,3		Cebada
	El Abra	Investigación	1,0		0,5		0,2	0,3		Trigo
Pichincha	Asociación Intercultural de Trabajadores El Tambo	Investigación	1,5		0,5	0,5		0,5		Cebada
	Hcda. Aibonito	Investigación	0,3		0,3					Cebada
Chimborazo	Chilcapamba (Corpogonzoli)	Investigación	1,5	0,6	0,3			0,6		Trigo
	Puculpala	Investigación	1,0		0,3	0,4		0,3		Cebada
	Pantaño	Multiplicación	2,0						2,0	Cebada
Bolívar	Churubamba	Investigación	0,5		0,3			0,3		Trigo
	Tanizahua	Investigación	0,5		0,3			0,3		Trigo
	Fomento trigo	Multiplicación	5,0						5,0	Trigo
		Multiplicación	5,0						5,0	Trigo
Total			19,45	0,6	3,1	0,9	0,2	2,7	12,0	



Figura 2. Parcelas de investigación implementadas en las diferentes provincias.

La superficie total de ensayos de investigación implementadas fue de 7,5 ha, y de 12,0 ha para lotes de multiplicación. Se sembraron variedades mejoradas de trigo (INIAP- Vivar 2010 e INIAP-Imbabura 2014) y de cebada (INIAP-Alfa 2021) (Tabla 2).

Tabla 2. Área de las parcelas de investigación y multiplicación implementadas por el Proyecto Kopia – Cereales. 2021.

Tipo de parcela	Área (ha)
Investigación	7,5
Multiplicación	12,0
Total	19,5

Las 7,5 ha de ensayos de investigación implementadas en el año 2021, fueron sembradas con manejo convencional y con la técnica de siembra directa. Dentro de los ensayos de investigación, 3,3 ha fueron sembradas en parcelas que en los años anteriores fueron manejadas con las técnicas de conservación de suelo de abono verde (3,1 ha) y rotación de cultivos (0,2 ha), con el objetivo de observar la respuesta del cultivo de trigo y cebada a las diferentes técnicas de conservación (Tabla 3)(Figura 3).

Tabla 3. Área por técnica de conservación de suelo del año 2020, donde se implementaron los ensayos 2021.

Técnica del 2020	Area (ha)
Siembra directa	0,6
Cultivo convencional	3,6
Abono verde	3,1
Rotacion de cultivos	0,2
TOTAL	7,5



Figura 3. Técnicas de conservación de suelos en los ensayos de investigación en las diferentes provincias.

11.1.4.3. Mantenimiento y seguimiento de parcelas de investigación y / o demostración (año 3).

Durante el ciclo 2021, en las comunidades participantes del proyecto se entregaron 2682,5 kilogramos de semilla categoría registrada y seleccionada de cebada y trigo (Tabla 4). La semilla fue utilizada para la implementación de ensayos de investigación de conservación de suelos y lotes de multiplicación de semilla (Figura 4).

Tabla 4. Cantidad de semilla entregada a las diferentes comunidades, año 2021.

Provincia	Localidades	Cantidad semilla (kg)		
		Cebada	Trigo	Trigo
		INIAP-Alfa 2021	INIAP-Vivar 2010	INIAP-Imbabura 2014
Imbabura	Ugsha/Asociación Plaza Pallares	162		
	El Abra		135	
Pichincha	Asociación Intercultural de Trabajadores El Tambo	225		
	Hcda Aibonito Cochasqui	45		
Chimborazo	Chilcapamba (Corpogonzol)		225	
	Puculpala	135		
	Pantaño	270		
Bolívar	Churubamba		68	
	Tanizahua		68	
	Fomento Trigo		675	
	Fomento Trigo			675
Total Especie		837	1170,5	675
Total		2682,5		



Figura 4. Entrega de semilla a los agricultores para la implementación de parcelas de investigación y lotes de multiplicación de semilla.

Adicionalmente, se entregó 4250 kg de fertilizante compuesto (15-30-15), 1950 kg de Urea sulfatada, 2 galones de herbicida preemergente, 510 g de herbicida post-emergente, 9,5 litros de fungicida y 21 kg de fertilizante foliar (Tabla 5) (Figura 5).

Tabla 5. Cantidad de suministros agrícolas entregados en las diferentes comunidades del Proyecto, año 2021.

Provincia	Localidades	Fertilizante compuesto (kg)	Urea sulfatada (kg)	Herbicida Glifosato (gl)	Herbicida Metsul (g)	Fungicida Propiconazol (l)	Foliar (kg)
Imbabura	Ugsha/Asociación Plaza Pallares	300	150		30	1	
	El Abra	250	100		30	1	
Pichincha	Asociación Intercultural de Trabajadores El Tambo	250	150		45		
	Hcda Aibonito Cochasqui	50					
Chimborazo	Chilcapamba (Corpogonzol)	400	150	2	45	1	
	Puculpala	250	100		30	0,5	
	Pantaño		200				
Bolívar	Churubamba	125	50		15	0,5	0,5
	Tanizahua	125	50		15	0,5	0,5
	Fomento Trigo	1250	500		150	2,5	10
	Fomento Trigo	1250	500		150	2,5	10
Total		4250	1950	2	510	9,5	21



Figura 5. Entrega de insumos agrícolas a los agricultores en las parcelas de investigación y lotes de multiplicación de semilla.

Finalmente, en las localidades donde se ejecutó el proyecto, se realizó el seguimiento y mantenimiento de los ensayos de investigación y lotes de multiplicación de semilla en las provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Bolívar, con la participación de los técnicos de las Unidades de Desarrollo Tecnológico del INIAP, con la coordinación y supervisión de los Técnicos del Programa de Cereales.

11.1.4.4. Evaluación del desarrollo agronómico de cereales y análisis de las prácticas de conservación del suelo.

11.1.4.4.1. Análisis de muestras de suelo (año 3).

En las parcelas de investigación donde se implementaron las diferentes técnicas de conservación de suelos en los años anteriores, se colectaron 96 muestras de suelo (Tabla 6), para determinar las propiedades físico-químicas del suelo y cantidad de materia verde, materia seca y contenidos nutricionales, respectivamente.

Tabla 6. Cantidad de muestras colectadas de suelo realizadas en las diferentes provincias del proyecto, año 2021.

Provincias	Localidades	Muestras Suelo	
Imbabura	Ugsha/Asociación Plaza Pallares	12	8
	El Abra	9	6
Pichincha	Hcda Aibonito Cochasqui	3	
	EESC	2	
	El Tambo	3	3
Chimborazo	Chilcapamba (Corpogonzol)	9	6
	Puculpala	9	6
Bolívar	Churubamba	6	4
	Tanizahua	6	4
Total		59	37
		96	

11.1.4.5. Análisis de resultados y preparación del informe técnico.

11.1.4.5.1. Incorporación de abono verde

Con los resultados obtenidos del ciclo 2021, en las parcelas de investigación en las provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Bolívar, que fueron manejadas con las técnicas de conservación de suelo con abono verde, siembra convencional y rotación de cultivos en el ciclo 2020, se observó que se produjo un total de 228000 kg ha⁻¹ de MS y un rendimiento total de 82000 kg ha⁻¹. Comparando los rendimientos promedio se puede observar que el abono verde fue la que más alto rendimiento produjo con 5567 kg ha⁻¹ frente a siembra convencional que produjo 3900 kg ha⁻¹ y rotación de cultivos con 3333 kg ha⁻¹ (Tabla 7) (Figura 6).

Tabla 7. Producción de materia seca (MS) y rendimiento (R) en los ensayos de investigación en las diferentes provincias. Año 2021.

Provincia	Localidad	Técnica	MS ha ⁻¹	R kg ha ⁻¹
Imbabura	Ugsha	Siembra Convencional	8000	4400
Imbabura	Ugsha	Abono Verde	12400	6400
Imbabura	Ugsha	Abono Verde	15600	7200
Imbabura	Ugsha	Siembra Convencional	19600	6000
Imbabura	Abra	Siembra Convencional	12400	4800
Imbabura	Abra	Abono Verde	18400	6800
Pichincha	El Tambo	Abono Verde	10000	3200
Pichincha	El Tambo	Siembra Convencional	9600	2267
Pichincha	El Tambo	Rotación Cultivos	6133	2400
Chimborazo	Gonzol	Siembra Convencional	13867	2667
Chimborazo	Gonzol	Abono Verde	17867	7467
Chimborazo	Puculpala	Rotación Cultivos	15467	3867
Chimborazo	Puculpala	Siembra Convencional	16533	3733
Chimborazo	Puculpala	Abono Verde	16933	4133
Bolivar	Tanizahua	Abono Verde	12667	5600
Bolivar	Tanizahua	Siembra Convencional	8933	4400
Bolivar	Churubamba	Siembra Convencional	5600	2933
Bolivar	Churubamba	Abono Verde	8000	3733
Total			228000	82000
<i>Promedio Siembra Convencional</i>			<i>11816</i>	<i>3900</i>
<i>Promedio Abono Verde</i>			<i>13983</i>	<i>5567</i>
<i>Promedio Rotación de Cultivos</i>			<i>9867</i>	<i>3333</i>



Figura 6. Cosecha y producción de grano en diferentes localidades.

Con base a los análisis de las muestras de suelos recolectados en las parcelas de investigación implementadas en las diferentes provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Bolívar; en el año 3 en las parcelas de investigación con abono verde se puede observar que el pH del suelo en forma general se mantiene, y se observa un incremento superior en la fertilidad del suelo y en el contenido de materia orgánica, comparado con la siembra convencional y la rotación de cultivos (Tabla 8).

Tabla 8. Datos de los análisis de suelo para pH, N, P, K y MO% en parcelas con las diferentes técnicas de conservación de suelo. Año 2021.

Localidad	Años	RC					SC					AV				
		MO %	pH	NH4	P	K	MO %	pH	NH4	P	K	MO %	pH	NH4	P	K
GONZOL	Año 3						3,8	6,4	86,5	45,5	1,0	4,4	6,5	52,5	28,5	1,1
PUCULPALA	Año 3	2,4	6,54	58,5	45	0,6	2,1	6,8	84,0	57,5	1,2	2,8	6,9	48,5	29,5	1,1
UGSHA	Año 3						3,0	6,5	91,0	47,0	0,6	4,2	6,2	92,5	59,0	0,6
EL ABRA	Año 3						2,9	6,3	44,5	42,0	0,5	3,7	6,4	63,0	45,0	0,6
EL TAMBO	Año 3						4,6	6,6	56,0	47,0	0,5	4,5	6,5	52,0	67,5	0,5
COCHASQUI	Año 3	4,6	6,54	58,5	45	0,6	1,1	7,2	81,2	55,8	0,6	1,3	6,3	53,0	107,0	0,7
TANIZAHUA	Año 3						2,7	7,2	29,0	137,0	2,4	5,0	6,9	53,0	194,0	2,4
CHURUBAMBA	Año 3						1,5	7,1	37,0	19,0	0,7	2,1	6,8	45,0	42,0	0,9
Promedio		3,5	6,5	58,5	45,0	0,6	2,7	6,8	63,7	56,4	0,9	3,5	6,6	57,4	71,6	1,0

Durante la ejecución del proyecto, el personal técnico del Programa de Cereales mantuvo reuniones de evaluación y seguimiento para el desarrollo y ejecución del proyecto (Figura 7). Las actividades se planificaron en coordinación con los técnicos de las diferentes Unidades de Desarrollo Tecnológico del INIAP de Imbabura y Chimborazo, y con el técnico del Proyecto KOPIA en la provincia de Bolívar. En la provincia de Pichincha, el seguimiento en los lotes de investigación implementados fue realizado por el personal técnico del Programa de Cereales



Figura 7. Seguimiento de parcelas y lotes de multiplicación de semilla en las provincias.

11.1.4.6. Grupos de agricultores involucrados en la conservación del suelo y las buenas prácticas agrícolas

11.1.4.6.1. Capacitación a agricultores cerealeros y técnicos que participaron en el proyecto KOPIA en las provincias de Imbabura, Pichincha y Bolívar.

En el ciclo 2021, se realizó capacitaciones en diferentes temas en manejo del cultivo, fertilización, técnicas de conservación del suelo y valor agregado en cereales, en los que participaron principalmente los agricultores del Proyecto, técnicos de las Unidades de Desarrollo Tecnológico de Imbabura, Pichincha y Bolívar. Adicionalmente, participaron técnicos del MAG-Imbabura y Bolívar (Tabla 9). Las capacitaciones fueron dictadas por el Programa de Cereales y el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC), con la participación de 70 personas (Figura 8).

Tabla 9. Capacitaciones a agricultores y técnicos en diferentes provincias, año 2021.

N°	Capacitación	Provincia	Total
1	Manejo del cultivo	Bolívar	24
2	Fertilización	Bolívar	20
3	Técnicas conservación suelo	Imbabura	20
4	Valor agregado cereales	Pichincha	6
Total			70



Figura 8. Capacitaciones a agricultores en diferentes provincias, año 2021.

11.1.4.6.2. Difusión de resultados por Provincia.

En el ciclo 2021, se realizaron tres días de campo con la participación de los agricultores, técnicos del MAG y Técnicos de KOPIA en las provincias de Imbabura, Chimborazo y Bolívar que se implementó el proyecto. El objetivo fundamental fue a dar a conocer los resultados obtenidos del proyecto KOPIA (Tabla 10). El número de participantes fue de 78 personas en tres localidades (Figura 9).

Tabla 10. Difusión de resultados en días de campo en las diferentes provincias, año 2021.

N°	Días de campo	Provincia	Total
1	Presentación resultados preliminares del proyecto Kopia	Ugsha, Imbabura	40
2	Presentación resultados preliminares del proyecto Kopia	Gonzol, Chimborazo	16
3	Ruta del trigo	Bolívar	22
4	Reunión Cierre de Proyecto	Chimborazo	40
Total			118



Figura 9. Difusión de resultados en días de campo en cada una de las provincias, año 2021.

11.1.5. Conclusiones

Durante el año 2021 se determinó que la técnica de conservación que mayor incremento de rendimiento y aporte de elementos nutritivos al suelo presentó fue la técnica de Incorporación de Abono Verde. Además, esta técnica es de fácil implementación y fue acogida por los agricultores como una buena alternativa para mejorar el suelo e incrementar la productividad en las zonas de intervención del proyecto.

11.1.6. Recomendaciones

Difundir la técnica de Incorporación de Abono Verde, así como el uso de Semilla de Calidad como herramientas para mejorar los cultivos de trigo y cebada en otras zonas cerealeras de las provincias de Imbabura, Pichincha, Chimborazo y Bolívar, y en el resto de provincias de la Sierra Ecuatoriana, para ello, se propondrá una Segunda Fase del Proyecto al RDA a través del Centro KOPIA Ecuador.

11.1.7. Bibliografía

De Noni, G. y Trujillo, G. (1990). Degradación del suelo en el Ecuador. Principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso. Quito-Ecuador. 383-394 pp.

INEC-MAG-SICA. (2002). III Censo Nacional Agropecuario. Quito-Ecuador.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2020). Encuesta y superficie y producción agropecuaria continúa. Quito, Ecuador.

Organismo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO. sf. Nota informativa de la FAO sobre la erosión del suelo en América Latina. <http://www.fao.org/>

Ponce-Molina, L., Campaña, D., Noroña, J. y Garófalo, J. (2020). Actividades de Investigación en Cereales Año 2019. Boletín No. 175. INIAP, Ecuador. 74 p.

Sistema de Información Pública Agropecuaria SIPA. 2020. Importaciones Trigo Año 2020. Quito-Ecuador.

Rivadeneira, M. (2005). Inventario Tecnológico Programa de Cereales. EESC-INIAP

11.2. Actividad. Evaluación de rendimiento y características agronómicas de líneas promisorias de Cebada (*Hordeum vulgare* L.).

Protocolo Aprobado: Memorando Nro. INIAP-EESC_DIR-2021-1653-MEN

Fecha: 22 de septiembre del 2021

Responsable: Dr. Luis Ponce

Colaboradores y Ejecución: Mgs. Javier Garófalo, Ing. Javier Noroña.

11.2.1. Antecedentes:

El cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) es el cuarto cereal más cultivado a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz (FAO, 2018). La razón de su importancia se debe a su amplia adaptación ecológica y a su diversidad de aplicaciones (Canal, 2012). Mientras que su importancia social y económica se basa en su uso diversificado como alimento para consumo humano (Grando y Gómez, 2005).

En la región interandina, este cereal se encuentra distribuido entre los 2400 y 3500 metros de altitud (Falconí *et al.*, 2013). En Ecuador según las estadísticas del INEC, la superficie dedicada al cultivo de cebada fue de 11155 hectáreas con una producción anual de 14107 toneladas (INEC, 2020). Según el INEC (2020) en el Ecuador las importaciones superaron las 67 mil t año⁻¹. El cultivo se encuentra distribuido en todas las provincias de la Sierra. Las provincias con mayor área sembrada son Chimborazo (3117 ha), Pichincha (2288 ha), Carchi (1370 ha), Bolívar (1355 ha), Tungurahua (1112 ha) y Cotopaxi (1013 ha) (INEC, 2020).

En Ecuador se la usa principalmente para consumo humano, ya sea como harina, máchica (harina de grano tostado), grano perlado o arroz de cebada (grano perlado y partido). Además, se la utiliza para hacer chicha (bebida a base de cebada) y café de cebada (grano bien tostado y partido). Por otra parte, cabe indicar que en la actualidad está tomando fuerza la industria de la cerveza artesanal. La cebada es cultivada por agricultores de subsistencia por lo que su producción principalmente es para autoconsumo, como fuente de carbohidratos, fibra y proteína. (Ponce-Molina *et al.*, 2020)

La principal causa de pérdidas en los cereales son las enfermedades, con promedios estimados que oscilan entre 20% y 30%, dependiendo del genotipo, características del patógeno y de las condiciones ambientales (Ponce-Molina *et al.*, 2020). En Ecuador se han registrado pérdidas de hasta el 50%, en variedades susceptibles; y las enfermedades más importantes son: roya amarilla (*Puccinia striiformis*), roya de la hoja (*Puccinia hordei*), escaldadura (*Rhynchosporium secalis*), virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) y *Fusarium* spp (Falconí *et al.*, 2013). Por lo tanto, es necesario el mejoramiento genético en cebada en el Ecuador, para incrementar la resistencia a enfermedades (severidad <20%) y aumentar el rendimiento (≥ 3 t/ha).

En la actualidad, uno de los problemas del cultivo de cebada, radica que las variedades locales y mejoradas a través del tiempo han perdido la resistencia a enfermedades, provocando pérdidas en el rendimiento y la calidad, por esta razón, es necesario la generación continua de germoplasma mejorado de grano cubierto y desnudo con características deseables de resistencia, rendimiento y calidad industrial y para la maltería.

Durante más de 60 años el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP a través del Programa de Cereales, ha generado y desarrollado 14 nuevas variedades mejoradas de cebada que han sido entregadas a los productores cebaderos, ampliando la diversidad genética con variedades adaptadas, resistente a enfermedades y de alto rendimiento.

El mejoramiento genético es un proceso continuo y metódico, por lo tanto, el Programa de Cereales del INIAP, evalúa anualmente alrededor de 100 líneas promisorias de cebada en busca de germoplasma con características superiores de rendimiento, resistencia y calidad, que cubran las necesidades tanto de los productores como de los consumidores.

Actualmente el Programa de Cereales cuenta con germoplasma mejorado, introducido y cruza propias, que se está evaluando en los campos experimentales de la Estación Experimental Santa Catalina – EESC, que posteriormente serán evaluados y seleccionados por rendimiento, resistencia y calidad de grano en campos de agricultores de la Sierra ecuatoriana.

11.2.2. Objetivos:

11.2.2.1. Objetivo general

Seleccionar líneas promisorias de cebada, con alto rendimiento ($\geq 3 \text{ t ha}^{-1}$), buenas características agronómicas, resistentes a enfermedades y calidad de grano.

11.2.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar y seleccionar germoplasma de cebada con baja incidencia y severidad a roya amarilla (*P. striiformis*), roya de la hoja (*P. hordei*), virus del enanismo amarillo (BYDV), escaldadura (*R. secalis*) y *Fusarium* spp, adaptadas, de alto rendimiento, calidad de grano y características agronómicas deseables (altura, precocidad, tipo de tallo).
- Multiplicar las líneas promisorias de cebada para la obtención de semilla fitomejorador de calidad.

11.2.3. Metodología:

11.2.3.1. Evaluación y selección de material avanzado

En el año 2021, fueron evaluadas 80 líneas de cebada distribuidas en experimentos de rendimiento de cebada dística, hexástica, desnuda y malteras (Tabla 11). Los ensayos se implementaron en el Lote B4 de la EESC del INIAP.

Tabla 11. Ensayos de rendimiento de cebada evaluados en la EESC, 2021.

Experimento*	Características	Número de líneas evaluadas
ER1 CD	Cebada Dística	20
ER2 CD	Cebada Dística	15
ER3 CH	Cebada Hexástica	10
ER4 CN	Cebada Desnuda	20
ER5 CM	Cebada Maltera	15
Total		80

*ER1 CD=Ensayo de Rendimiento 1 Cebada Dística; ER2 CD=ensayo de rendimiento 2 Cebada Dística; ER3 CH=Ensayo de Rendimiento 3 Cebada Hexástica; ER4 CN=Ensayo de Rendimiento 4 Cebada Desnuda; ER5 CM=Ensayo de Rendimiento 5 Cebada Maltera.

El germoplasma mejorado fue evaluado dentro de cinco experimentos de rendimiento y fueron dispuestos en campo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron parcelas de 3,6 m² (3 m x 1,2 m). Las variables evaluadas fueron: rendimiento, peso hectolítrico, parámetros de calidad de grano y enfermedades. Los datos recopilados fueron analizados con el Programa Estadístico InfoStat versión Profesional 2020. Se realizaron los análisis de: LSD 0,5% y análisis de varianza (ANOVA).

11.2.3.2. Parcelas chicas (PC) de cebada

Las PC son una réplica completa de los experimentos de rendimiento con el objetivo de purificar el material a través de la desmezcla y obtención de semilla pura de las líneas seleccionadas, las cuales conformarán los experimentos del siguiente ciclo de evaluación. Fueron evaluadas 80 líneas en parcelas de 3,6 m² (3 m x 1,2 m).

11.2.3.3. Surcos triples de cebada

Los surcos triples son ensayos de observación en los cuales se evaluó el germoplasma avanzado, tanto generado por el PC como el germoplasma introducido, que presentan características agronómicas deseables. Las variables evaluadas fueron de rendimiento y parámetros de calidad. En el ciclo 2021 el ensayo estuvo conformado por 60 líneas de cebada en parcelas de 3,6 m² (3 m x 1,2 m).

11.2.3.4. Incremento de semilla categoría “Básica” y Seleccionada

Parte del trabajo de un programa de mejoramiento es la multiplicación y purificación de germoplasma de varias categorías con el objetivo de refrescar la semilla, disponibilidad de semilla pura y en cantidades suficientes para trabajos posteriores, proveer de semilla al Departamento de Producción de Semillas del INIAP.

11.2.4. Manejo de los ensayos

La densidad de siembra fue de 150 kg ha⁻¹. Al momento de la siembra se aplicó 60 kg de Nitrógeno, 60 kg de Fósforo, 30 kg de Potasio y 20 kg de Azufre, a través de 150 kg ha⁻¹ de fertilizante compuesto (18-46-0) y 150 kg ha⁻¹ de Sulpomag. Posteriormente al macollamiento se aplicó 50 kg ha⁻¹ de Urea y 15 g ha⁻¹ de Matancha® (Metsulfuron-metil) como herbicida.

11.2.5. Variables y métodos de evaluación

- **Rendimiento:** las líneas fueron cosechadas a la madurez (180-190 días) y el rendimiento fue registrado en t ha⁻¹.
- **Peso hectolitrito:** se colectó de una muestra limpia y seca de cebada al 13% de humedad, este parámetro representa el peso del grano en un volumen específico y se expresó en kg hl⁻¹ (kilogramos por hectólitro) para ello se utilizó una balanza de peso específico de cereales.
- **Tipo de grano:** el grano cosechado fue calificado de acuerdo a su forma, color, tamaño, uniformidad y daño. Según la siguiente escala: (***) Grano muy bueno, redondo y blanco; (**) Grano bueno, redondo y amarillo; (*) Grano bueno, largo y trilla bien; (+) Grano malo, largo, manchado y no trilla bien.
- **Incidencia de enfermedades:** después de la siembra a los 90 y 120 días se evaluó la incidencia de enfermedades (roya amarilla, roya de la hoja, virosis, entre otras) y se expresó en porcentaje para las royas y fusarium de la espiga y en la escala de 0 al 9 para virosis y escaldadura. (Stubbs *et al.*, 1986; Ponce-Molina *et al.*, 2019)

11.2.6. Resultados:

11.2.6.1. Ensayo de Rendimiento 1 de Cebada Dística (ER1 CD)

En la Tabla 12, se observa diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,01$) para rendimiento, peso hectolitrito y roya amarilla. El promedio general del ensayo fue 5,3 t ha⁻¹ (rendimiento) y 67,70 kg hl⁻¹ (peso hectolitrito). Las mejores líneas para la variable rendimiento fueron CD-19-004, CD-19-014 y CD-19-017, con valores superiores al promedio general del ensayo. Para peso hectolítrico las líneas CD-19-

007, CD-19-006 y CD-19-005 presentaron los mejores resultados. En general el tipo de grano de las líneas evaluadas fue muy bueno (**).

Tabla 12. ANOVA y Fisher al 5% para rendimiento, peso hectolítrico, tipo de grano y enfermedades en líneas de cebada dística del ensayo de rendimiento 1 (ER1). EESC, 2021.

Línea	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	P. striiformis	Tipo de grano
INIAP-GUARANGA 2010	7,41	66,49	0	**
CD-19-004	7,32	62,35	17	*
CD-19-014	7,16	64,83	25	**
CD-19-017	7,11	64,20	8	**
CD-18-017	6,69	67,47	0	*
CD-19-013	6,48	63,05	27	**
CD-17-019	5,89	66,92	3	***
CMU-19-002	5,60	63,26	17	**
INIAP-CAÑICAPA 2003	5,52	62,52	27	**
CD-18-012	5,46	65,37	0	*
CMU-19-001	5,19	63,37	17	***
CD-19-001	4,71	69,54	8	**
CD-18-015	4,47	64,31	0	**
CD-18-006	4,04	63,66	0	**
CD-19-007	3,87	75,95	0	**
CD-19-010	3,85	73,58	0	**
CD-19-003	3,84	72,13	0	***
CD-19-011	3,76	73,54	14	**
CD-19-006	3,64	75,49	0	***
CD-19-005	3,28	73,89	0	**
P valor	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	
LSD (p<0.05)	1,2201	1,64858	14	
Promedio	5.3	67.70	8.0	
Coefficiente Correlación	0.85	0.97	0.67	

^aNivel significancia 5%: (**) altamente significativo, (*) significativo, (n.s.) no significativo

^bTipo de grano: (***) Grano muy bueno, redondo y blanco; (**) Grano bueno, redondo y amarillo; (*) Grano bueno, largo y trilla bien; (+) Grano malo, largo, manchado y no trilla bien.

Fuente: INIAP, 2021.

En cuanto a la presencia de enfermedades, la enfermedad de mayor incidencia fue la roya amarilla, con un promedio de 8% de severidad respectivamente. Estos resultados son bajos y no afectaron el desarrollo general del ensayo. Las líneas más resistentes a roya amarilla fueron: CD-18-017, CD-18-012 y CD-17-019.

Con base a los resultados obtenidos en campo, se seleccionaron 8 líneas de cebada: CD-19-004, CD-19-013, CD-19-002, CD-19-001, CD-19-007, CD-19-010, CD-19-011 y CD-19-006, por presentar características de alto rendimiento y peso hectolítrico. Estas líneas formarán los ensayos de rendimiento de cebada dística para el siguiente ciclo 2022.

11.2.6.2. Ensayo de Rendimiento 2 de Cebada Dística (ER2 CD)

En el Tabla 13, se observa diferencias no significativas ($P > 0,05$) para rendimiento, entre tanto que tanto para peso hectolítrico y para la enfermedad roya amarilla, se observó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$), el promedio general del ensayo fue $5,8 \text{ t ha}^{-1}$ y $63,88 \text{ kg hl}^{-1}$, respectivamente. Las mejores líneas para la variable rendimiento fueron: CD-20-002, CD-20-013 y CD-20-008, con valores superiores al promedio general del ensayo. Para peso hectolítrico las líneas CD-20-001, CD-20-003 y CD-20-007 presentaron los mejores resultados. En general el tipo de grano de las líneas evaluadas fue muy bueno (**).

Tabla 13. ANOVA y Fisher al 5% para rendimiento, peso hectolítrico, tipo de grano y enfermedades en líneas de cebada dística del ensayo de rendimiento 2 (ER2). EESC, 2021.

Línea	Rendimiento (t ha^{-1})	Peso Hectolítrico (kg hl^{-1})	P. striiformis	Tipo de grano
CD-20-002	6,65	63,81	15	**
CD-20-013	6,28	63,25	25	*
CD-20-008	6,21	63,33	18	**
CD-20-012	6,19	64,23	27	**
CD-20-006	6,09	64,13	25	*
CD-20-010	6,06	63,62	32	**
CD-20-003	5,96	64,82	25	***
CD-20-011	5,86	63,9	15	**
CD-20-007	5,73	64,51	14	**
CD-20-009	5,61	62,73	30	*
CD-20-004	5,39	64,26	27	***
CD-20-005	5,38	62,54	37	**
INIAP-CAÑICAPA 2003	5,3	61,54	43	**
INIAP-GUARANGA 2010	5,14	64,69	1	**
CD-20-001	4,95	66,8	10	**
P valor	0.4062 n.s.	0.0145 *	0.0309 *	
LSD (p<0.05)	-	2,14771	21	
Promedio	5,8	63,88	23.0	
Coefficiente Correlación	0,51	0,60	0,60	

^aNivel significancia 5%: (**) altamente significativo, (*) significativo, (n.s.) no significativo.

^aValor no calculado: factor sin significancia.

^bTipo de grano: (***) Grano muy bueno, redondo y blanco; (**) Grano bueno, redondo y amarillo; (*) Grano bueno, largo y trilla bien; (+) Grano malo, largo, manchado y no trilla bien.

Fuente: INIAP, 2021.

Respecto a la presencia de enfermedades en campo, la enfermedad de mayor incidencia fue la roya amarilla, con un promedio de 23% de severidad respectivamente. Estos resultados son bajos y no afectaron el desarrollo general del ensayo. Las líneas más resistentes a roya amarilla fueron: CD-20-001, CD-20-007, CD-20-002 y CD-20-011.

Con base en los resultados obtenidos en campo, se seleccionaron 6 líneas de cebada: CD-20-002, CD-20-013, CD-20-008, CD-20-012, CD-20-006 y CD-20-009 por presentar características de alto rendimiento y peso hectolítrico. Estas líneas formarán los ensayos de rendimiento de cebada dística para el ciclo 2022.

11.2.6.3. Ensayo de Rendimiento 3 de Cebada Hexástica (ER3 CH)

En el Tabla 14, se observa diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,01$) para rendimiento y roya de la hoja, y para peso hectolítrico y roya amarilla, no se observa diferencias estadísticas significativas. El promedio general del ensayo fue 2,5 t ha⁻¹ (rendimiento) y 56,90 kg hl⁻¹ (peso hectolitrito). Las mejores líneas para la variable rendimiento fueron: CH-18-004, CMU-19-003 y CH-12-005, con valores superiores al promedio general del ensayo. Para peso hectolítrico las líneas: CMU-19-003, CH-17-003 y CH-18-004 presentaron los mejores resultados. En general el tipo de grano de las líneas evaluadas fue muy bueno (**).

Tabla 14. ANOVA y Fisher al 5% para rendimiento, peso hectolítrico, tipo de grano y enfermedades en líneas de cebada hexástica del ensayo de rendimiento 3 (ER3). EESC, 2021.

Línea	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	P. striiformis	P. hordei	Tipo de grano
CH-18-004	5,87	62,35	1	47	***
CMU-19-003	3,91	67,17	0	53	**
CH-12-005	3,48	59,50	1	0	**
INIAP-CAÑARI 2003	3,31	64,15	1	8	*
INIAP-QUILOTOA 2003	3,15	57,89	3	1	**
CH-09-011	1,44	61,23	1	0	**
CH-17-003	1,41	62,89	3	1	**
CH-14-006	0,90	19,88	2	0	**
CH-18-007	0,76	-	0	0	*
CH-18-003	0,73	56,66	1	22	**
P valor	<0.0001 **	0.2067 n.s.	0.4133 n.s.	<0.0001 **	

LSD ($p < 0.05$)	0,7	-	-	5,2
Promedio	2,5	56,9	1,3	13,0
Coefficiente Correlación	1,0	0,6	0,5	1,0

^aNivel significancia 5%: (**) altamente significativo, (*) significativo, (n.s.) no significativo.

^vValor no calculado: factor sin significancia.

^bTipo de grano: (***) Grano muy bueno, redondo y blanco; (**) Grano bueno, redondo y amarillo; (*) Grano bueno, largo y trilla bien; (+) Grano malo, largo, manchado y no trilla bien.

Fuente: INIAP, 2021.

En cuanto a presencia de enfermedades, las enfermedades de mayor incidencia fueron roya amarilla y roya de la hoja, con promedios de 1,3% y 13% de severidad respectivamente. Estos resultados son bajos y no afectaron el desarrollo general del ensayo. Las líneas más resistentes a roya amarilla/roya de la hoja fueron: CD-12-005, CD-09-011 y CD-17-003.

Con base a los resultados obtenidos de campo, se seleccionaron 3 líneas de cebada: CH-18-004, CMU-19-003 y CH-12-005, por presentar características de alto rendimiento y peso hectolítrico. Estas líneas formarán los ensayos de rendimiento de cebada hexástica para el ciclo 2022.

11.2.6.4. Ensayo de Rendimiento 4 de Cebada Desnuda (ER4 CN)

En el Tabla 15, se observa diferencias estadísticas altamente significativas para rendimiento y peso hectolítrico ($P \leq 0,01$). El promedio general del ensayo fue 1,3 t ha⁻¹ (rendimiento) y 73,31 Kg hl⁻¹ (peso hectolitrito). Las mejores líneas para la variable de rendimiento fueron: CN-20-006 y CN-14-027 y CN-14-028 con valores superiores al promedio general del ensayo. Para peso hectolítrico las líneas: CN-20-016 y CN-20-007, presentaron los mejores resultados. En general el tipo de grano de las líneas evaluadas fue muy bueno (**).

Tabla 15. ANOVA y Fisher al 5% para rendimiento, peso hectolítrico y tipo de grano en líneas de cebada desnuda del ensayo de rendimiento 4 (ER4). EESC, 2021.

Línea	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Tipo de grano
CN-20-006	3,4	72,63	**
INIAP ATAHUALPA-92	3,0	66,41	*
CN-14-027	2,8	75,10	**
CN-14-028	2,6	74,00	**
CN-20-014	2,4	74,27	***
CN-20-013	1,6	73,90	**
CN-20-012	1,6	74,70	**

CN-20-002	1,2	73,90	**
CN-20-016	1,1	76,24	**
CN-20-008	1,1	74,00	**
CN-20-007	1,0	76,23	**
CN-20-015	0,9	73,06	*
CN-20-003	0,9	72,30	**
CN-20-011	0,7	74,56	*
RITA PELADA	0,6	66,53	*
CN-20-010	0,5	75,66	*
CN-20-005	0,5	74,68	**
CN-20-004	0,4	72,50	*
CN-20-009	0,4	sd	*
CN-20-001	0,4	72,24	**
P valor	0,0066**	<0.0001 **	
LSD (p<0.05)	1,7	3,6	
Promedio	1,3	73,31	
Coefficiente Correlación	0,6	0,8	

^a**Nivel significancia 5%:** (**) altamente significativo, (*) significativo, (n.s.) no significativo.

^b**Tipo de grano:** (***) Grano muy bueno, redondo y blanco; (**) Grano bueno, redondo y amarillo; (*) Grano bueno, largo y trilla bien; (+) Grano malo, largo, manchado y no trilla bien.

Fuente: INIAP, 2021.

Basados en los resultados obtenidos de campo, se seleccionaron cinco líneas de cebada: CN-20-006, CN-14-027, CN-14-028 CN-20-014 y CN-20-016, por presentar características de alto rendimiento y peso hectolítrico. Estas líneas formaran los ensayos de rendimiento de cebada desnuda para el próximo ciclo 2022.

11.2.6.5. Ensayo de Rendimiento 5 de Cebada Maltera (ER5 CM)

En el Tabla 16, se observa diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,01$) para rendimiento y para la variable peso hectolítrico no observo diferencias significativas. El promedio general del ensayo fue $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ (rendimiento) y $66,77 \text{ kg hl}^{-1}$ (peso hectolitrito). Las mejores líneas para la variable de rendimiento fueron: CM-19-012, CM-19-009 y CM-19-010, con valores superiores al promedio general del ensayo. Para peso hectolítrico las líneas CM-19-004, CM-19-011 y CM-19-005 presentaron los mejores resultados. En general el tipo de grano de las líneas evaluadas fue muy bueno (**).

Tabla 16. ANOVA y Fisher al 5% para rendimiento, peso hectolítrico y tipo de grano en líneas de cebada maltera del ensayo de rendimiento (ER5). EESC, 2021.

Línea	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	Tipo de grano
INIAP-PACHA 2003	5,6	66,40	**
CM-19-012	5,0	65,13	**
CM-19-009	4,3	66,87	**
CM-19-010	3,7	67,20	**
CM-19-007	3,7	64,17	**
CM-19-002	3,5	67,50	*
CM-19-008	3,5	62,87	**
CM-19-006	3,2	66,00	**
CM-19-005	3,2	68,13	**
CM-19-003	3,0	67,67	**
CM-09-003	3,0	63,77	**
METCALFE	3,0	69,43	*
CM-19-004	2,9	70,57	**
CM-19-011	2,8	68,77	*
CM-19-001	1,6	67,13	**
P valor	0.0042**	0.0852 n.s.	
LSD (p<0.05)	2,8	-	
Promedio	3,5	66,77	
Coefficiente Correlación	0,7	0,5	

^aNivel significancia 5%: (**) altamente significativo, (*) significativo, (n.s.) no significativo.

^cValor no calculado: factor sin significancia.

^bTipo de grano: (***) Grano muy bueno, redondo y blanco; (**) Grano bueno, redondo y amarillo; (*) Grano bueno, largo y trilla bien; (+) Grano malo, largo, manchado y no trilla bien.

Fuente: PC, 2021.

Con base a los resultados obtenidos, se seleccionaron seis líneas de cebada: CM-19-012, CM-19-009, CM-19-010, CM-19-007, CM-19-002 y CM-09-003, por presentar características de alto rendimiento y peso hectolítrico. Estas líneas formarán los ensayos de rendimiento de cebada maltera para el próximo ciclo 2022.

11.2.6.6. Parcelas chicas (PCs) de cebada

Ochenta líneas de cebada (80), fueron evaluadas y purificadas en parcelas chicas, de las cuales se obtuvieron 4 kg de semilla de promedio por cada unidad experimental. Con el análisis se obtuvo, 11 líneas buenas de grano grande, grueso, redondo, blanco o crema, 40 líneas de tipo de grano mediano, redondo, blanco o amarillo y 29 líneas de grano pequeño, delgado, manchado y chupado en el ensayo.

11.2.6.7. Surcos triples (ST) de cebada

En el ensayo de surcos triples con líneas provenientes de ensayos nacionales (Tabla 17), se observó que los testigos locales (INIAP-Cañicapa 2003 e INIAP-Atahualpa 92) presentaron un promedio de rendimiento de 2,7 t ha⁻¹ y un peso hectolítrico promedio de 64,1 kg hl⁻¹, con una desviación estándar de 1,5 y 1,0, respectivamente, mientras tanto que las líneas avanzadas presentaron un promedio de rendimiento de 2,2 t ha⁻¹ y 76,0 kg hl⁻¹ de peso hectolítrico, con una desviación estándar de 1,6 y 1,2 respectivamente. Se seleccionaron 12 líneas que formarán parte de los ensayos de rendimiento del año 2022.

Tabla 17. Estadística descriptiva del ensayo de surcos triples de cebada evaluadas en la EESC, 2021.

Variable	N°	Testigos mejorados				
		Promedio	D.E.	CV (%)	Mínimo	Máximo
Rendimiento (t ha ⁻¹)	4	2,7	1,5	55,9	1,3	4,6
Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	4	64,1	1,0	1,6	63,3	65,6
Líneas avanzadas						
Rendimiento (t ha ⁻¹)	56	2,2	1,6	72,7	0,2	6,7
Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	46	76,0	1,2	1,6	72,8	78,1

D.E: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

11.2.6.8. Incremento de semilla de categoría Básica y Seleccionada

Durante el ciclo 2021 en la EESC, se incrementó dos variedades de cebada, con un total de 1080 kg de semilla de categoría básica (Tabla 18).

Tabla 18. Variedades de cebada incrementada categoría básica y seleccionada en la EESC, 2021.

N°	Nombre/o Variedad	Cantidad (kg)
1	INIAP-Cañicapa 2003	495
2	INIAP-Alfa 2021	585
TOTAL		1.080

11.2.7. Conclusiones

El Programa de Cereales cuenta con 28 líneas promisorias seleccionadas de los ensayos de rendimiento y 12 líneas avanzadas seleccionadas de los surcos triples de cebada, tanto para consumo humano como para maltería, seleccionadas por sus características deseables de resistencia a enfermedades, alto rendimiento (>3 t ha⁻¹) y calidad industrial, que servirán de base para seleccionar líneas élites que podrán ser liberadas como futuras variedades mejoradas para los productores cebaderos del Ecuador.

11.2.8. Recomendaciones:

Continuar con el proceso de mejoramiento y selección de materiales promisorios de cebada, que presentan características deseables tanto agronómicas, como de alto rendimiento y de calidad industrial, las cuales servirán como fuente de diversidad para el Programa de Cereales y para los productores de la Sierra.

11.2.9. Referencias:

Canal, G. (2012). Análisis de la variabilidad genotípica de cebada cervecera en rendimiento, porcentaje de proteína y calibre en distintos ambientes. Trabajo de tesis para acceder al título de Especialista en Cultivos de Granos. Buenos Aires, Argentina.

Falconí, E., Garófalo, J., Llangarí, P. and Espinoza, M. (2013). Boletín Divulgativo N° 390. El cultivo de cebada: Guía para la producción de semilla de calidad. INIAP-Ecuador.

FAO (2018). Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales.

Grando, S., and Macpherson, H. G. (2005). Food barley: importance, uses and local knowledge. ICARDA, Aleppo, Syria.

INEC (2020). Encuesta y superficie y producción agropecuaria continúa.

Ponce-Molina, L., Garófalo, J., Campaña, D. y Noroña, P. (2019). "Parámetros de evaluación y selección en cereales". Manual No. 111. INIAP. Quito Ecuador. 58 p.

Ponce-Molina, L., Campaña, D., Noroña, J. y Garófalo, J. (2020). Actividades de Investigación en Cereales Año 2019. Boletín No. 175. INIAP, Ecuador. 74 p.

Stubbs, R., Prescott, J., Saari, E. y Dubin, H. (1986). Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales. CIMMYT. México.

11.3. Actividad. Desarrollo y selección de poblaciones segregantes de Cebada (*Hordeum vulgare* L.)

Protocolo Aprobado: Memorando Nro. INIAP-EESC_DIR-2021-1736-MEN

Fecha: 6 de octubre del 2021

Responsable: Dr. Luis Ponce

Colaboradores y Ejecución: Mgs. Javier Garófalo, Ing. Javier Noroña

11.3.1. Antecedentes:

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es el cuarto cereal más cultivado a nivel mundial (FAO, 2018). Su importancia radica en su amplia adaptación y en su gran diversidad de aplicaciones o usos (Canal, 2012). En la región interandina, este cereal se encuentra distribuido entre los 2400 y 3500 metros de altitud (Falconí *et al.*, 2013). En Ecuador según las estadísticas del INEC, la superficie dedicada al cultivo de cebada fue de 11155 hectáreas con una producción anual de 14107 toneladas (INEC, 2020). Según el INEC (2020) en el Ecuador las importaciones superaron las 67 mil t año⁻¹. Las provincias con mayor área sembrada son Chimborazo, Pichincha, Carchi, Bolívar, Tungurahua y Cotopaxi (INEC, 2020).

A nivel mundial, las enfermedades fúngicas son las principales causas de la reducción en el rendimiento en los cereales, y las enfermedades causadas por patógenos biotróficos como las royas son las que ocasionan los mayores daños al cultivo, debido a sus características de intensidad y momentos ontogénicos del cultivo en que ataca (Carretero *et al.*, 2012). En el Ecuador, las enfermedades más importantes son la roya amarilla (*Puccinia striiformis*), la roya de la hoja (*Puccinia hordei*), la escaldadura (*Rhynchosporium secalis*), el virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) y el *Fusarium* spp., (Falconí *et al.*, 2013).

La generación continua de germoplasma con características deseables es fundamental en los Programas de Mejoramiento. Entre los métodos de mejoramiento empleados por el Programa de Cereales del INIAP se encuentran: cruzamientos y/o hibridaciones, retrocruzamientos, e introducciones provenientes de Centros Internacionales; que combinados con los métodos de selección: pedigree, masal, combinada, descendencia de una sola semilla y selección asistida; han permitido la generación y liberación de 14 variedades mejoradas.

El Programa de Mejoramiento de Cebada del INIAP tiene como objetivo, generar y desarrollar germoplasma mejorado con características de: 1) alto rendimiento y productividad; 2) resistentes a las principales enfermedades; y 3) calidad nutricional e industrial.

11.3.2. Objetivos:

11.3.2.1. Objetivo general.

Desarrollar nuevas poblaciones de mejoramiento con características deseables de resistencia a enfermedades, alto rendimiento y calidad, para la producción sostenible en el Ecuador.

11.3.2.2. Objetivos específicos.

- Realizar cruzamientos para la obtención de nuevas poblaciones segregantes mejoradas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con alto rendimiento (≥ 3 t ha⁻¹), resistentes a roya amarilla (*Puccinia striiformis*), roya de la hoja (*Puccinia hordei*), escaldadura (*Rhynchosporium secalis*), virus del enanismo amarillo (BYDV) y *Fusarium* spp., con buenas características agronómicas y de calidad.
- Evaluar y seleccionar individuos en cada una de las poblaciones segregantes de cebada (F₃, F₄, F₆ y F₇), que sean resistentes a las principales enfermedades, con características agronómicas deseables, productivas y de calidad.

11.3.3. Metodología:

11.3.4. Desarrollo de poblaciones filiales (F₁) de cebada

El desarrollo de las poblaciones de cebada en la EESC, estuvo orientado a la generación de líneas agronómicas deseables. Se realizó cruces entre materiales (Tabla 19, 20 y 21), con el objetivo de generar líneas con características agronómicas como precocidad, altura de planta, buen tipo de grano y buen tipo de tallo.

Tabla 19. Progenitores de cebada que serán utilizados en el bloque de cruzamientos 1 en la EESC, 2021.

No.	Línea/Varietal	Origen	Características
	Parental Femenino 1 ♀		
	INIAP-Cañicapa 2003	CN 2020	Buen tipo de grano, productividad, resistencia parcial
	Parental Masculino ♂		
1	Boliviana	CN 2020 S-3	Buen tipo de grano, resistencia parcial
2	INIAP-Guaranga 2010	CN 2020 S-27	Buen tipo de grano, resistencia parcial
3	ATAHUALPA/IO1645	ST-2020 S-65	Buena espiga, buen tipo de grano, peso hectolítrico
4	CMU-19-002	ER1-2020 V-14	Buena espiga, tipo de grano, resistente
5	CT-2189	CN 2020 S-86	Buen tipo de grano, buena espiga, rendimiento

Tabla 20. Progenitores de cebada que serán utilizados en el bloque de cruzamientos 2 en la EESC, 2021.

No.	Línea/Varietad	Origen	Características
	Parental Femenino 2 ♀		
	INIAP-Ñusta 2016	CN 2020	Tipo de grano, resistente
1	Parental Masculino ♂		
	Rita Pelada	CN 2020 S-45	Calidad, tipo de tallo 3
2	INIAP-Atahualpa 92	CN 2020 S-21	Calidad, buen tipo de grano
3	ATAHUALPA/I01645	ST-2020 S-65	Buena espiga, buen tipo de grano, peso hectolítrico
4	Capuchona	CN 2020 S-4	Peso hectolítrico, grano desnudo
5	CT-2105	CN 2020 S-64	Grano desnudo, peso hectolítrico
6	Selec. Atahualpa 2020	ST-I. Atahualpa 2020 S-3	Alto rendimiento. Buen grano desnudo
7	Selec. Atahualpa 2020	ST-I. Atahualpa 2020 S-10	Alto rendimiento. Buen grano desnudo
8	Selec. Atahualpa 2020	ST-I. Atahualpa 2020 S-11	Alto rendimiento. Buen grano desnudo
9	Selec. Atahualpa 2020	ST-I. Atahualpa 2020 S-12	Alto rendimiento. Buen grano desnudo
10	Selec. Atahualpa 2020	ST-I. Atahualpa 2020 S-14	Alto rendimiento. Buen grano desnudo
11	Selec. Atahualpa 2020	ST-I. Atahualpa 2020 S-15	Alto rendimiento. Buen grano desnudo

Tabla 21. Progenitores de cebada que serán utilizados en el bloque de cruzamientos 3 en la EESC, 2021.

No.	Línea/Varietal	Origen	Características
	Parental Femenino 3 ♀		
	Rita Pelada	CN 2020	Susceptible, tipo de tallo débil
	Parental Masculino ♂		
1	CMUT Rita Pelada 1	CMUT-2018 V-75	Buen tipo de tallo
2	CMUT Rita Pelada 2	CMUT-2018 V-76	Buen tipo de tallo
3	CMUT Rita Pelada 3	CMUT-2018 V-77	Buen tipo de tallo
4	CMUT Rita Pelada 4	CMUT-2018 V-78	Buen tipo de tallo
5	CMUT Rita Pelada 5	CMUT-2018 V-79	Buen tipo de tallo

11.3.4.1. Evaluación de poblaciones segregantes F₂, F₃, F₅, y F₆ de cebada en campo

Los métodos de mejoramiento y selección empleados en las poblaciones segregantes sembradas en campo fueron: Masal y Selección de Espigas Individuales o Pedigree. Las evaluaciones fueron realizadas durante el ciclo del cultivo y se seleccionó germoplasma con características deseables de alto rendimiento y calidad industrial.

11.3.5. Resultados:

11.3.6. Desarrollo de poblaciones filiales (F₁) de cebada

En el ciclo 2021, se obtuvieron 25 nuevas líneas F₁ provenientes de los Bloques de Cruzamientos, los cuales se incrementaron en invernadero para su posterior siembra en campo Tabla 22.

Tabla 22. Poblaciones F1 de cebada provenientes del bloque en la EESC, 2021.

Nº. Surco	Pedigree	Origen EESC F ₁ /2021
1	Boliviana/INIAP-Cañicapa 2003	Cruza P-1
	E-HV21-9984	
2	INIAP-Guaranga 2010/INIAP-Cañicapa 2003	P-2
	E-HV21-9985	

3	ATAHUALPA/I01645//INIAP-Cañicapa 2003	P-3
	E-HV21-9986	
4	CMU-19-002/INIAP-Cañicapa 2003	P-4
	E-HV21-9987	
5	CT-2189/INIAP-Cañicapa 2003	P-5
	E-HV21-9988	
6	INIAP-Cañicapa 2003/INIAP-Guaranga 2010	P-6
	E-HV21-9989	
7	INIAP-Cañicapa 2003//ATAHUALPA/I01645	P-7
	E-HV21-9990	
8	INIAP-Cañicapa 2003/CMU-19-002	P-8
	E-HV21-9991	
9	INIAP-Atahualpa 92/INIAP-Ñusta 2016	P-9
	E-HV21-9992	
10	ATAHUALPA/I01645//INIAP-Ñusta 2016	P-10
	E-HV21-9993	
11	Capuchona/INIAP-Ñusta 2016	P-11
	E-HV21-9994	
12	INIAP-Atahualpa 92_S3/INIAP-Ñusta 2016	P-12
	E-HV21-9995	
13	INIAP-Atahualpa 92_S10/INIAP-Ñusta 2016	P-13
	E-HV21-9996	
14	INIAP-Atahualpa 92_S11/INIAP-Ñusta 2016	P-14
	E-HV21-9997	
15	INIAP-Atahualpa 92_S12/INIAP-Ñusta 2016	P-15
	E-HV21-9998	
16	INIAP-Atahualpa 92_S14/INIAP-Ñusta 2016	P-16
	E-HV21-9999	
17	INIAP-Atahualpa 92_S15/INIAP-Ñusta 2016	P-17
	E-HV21-10000	
18	INIAP-Ñusta 2016/INIAP-Atahualpa 92	P-18
	E-HV21-10001	
19	INIAP-Ñusta 2016//ATAHUALPA/I01645	P-19
	E-HV21-10002	

20	INIAP-Ñusta 2016/INIAP-Atahualpa 92_S12	P-20
	E-HV21-10003	
21	CMUT Rita Pelada 1/Rita Pelada	P-21
	E-HV21-10004	
22	CMUT Rita Pelada 2/Rita Pelada	P-22
	E-HV21-10005	
23	CMUT Rita Pelada 3/Rita Pelada	P-23
	E-HV21-10006	
24	CMUT Rita Pelada 4/Rita Pelada	P-24
	E-HV21-10007	
25	CMUT Rita Pelada 5/Rita Pelada	P-25
	E-HV21-10008	

11.3.6.1. Evaluación de poblaciones F₂, F₃, F₅ y F₆ en campo

Durante este año 2021, se sembraron y evaluaron en campo; 455 poblaciones segregantes F₃, 155 poblaciones F₄, 10 poblaciones F₆ y 15 poblaciones de F₇. Al final del ciclo se seleccionaron 155 nuevas filiales (Tabla 23).

Tabla 23. Poblaciones segregantes de cebada evaluadas y seleccionadas en la EESC, 2021.

Familiar	Evaluadas	Total seleccionadas	Cosechadas		
			Espigas	Plantas	Parcelas
F3	455	120 M/PG ³	-	-	120
F4	155	28M/PG	-	-	28
F6	10	3 M ¹	-	-	3
F7	15	4 M ¹	-	-	4
Total	635	155	-	-	155

¹: M: Masal, ²: M/S: Masal Selecto, ³ M/PG: por pedigrí.

Fuente: INIAP, 2021.

Realizada la evaluación de poblaciones filiales se seleccionaron: 120 líneas para F₃, 28 para F₄, 3 para F₆ y 4 para F₇, las cuales serán evaluadas durante el ciclo agrícola 2022.

11.3.7. Conclusiones:

El Programa de Cereales cuenta con 180 nuevas poblaciones segregantes de diversas categorías, las cuales serán evaluados el próximo ciclo en busca de germoplasma con características deseables para el productor cebadero del Ecuador.

11.3.8. Recomendaciones:

Continuar con el mejoramiento genético, la evaluación generacional y selección de materiales de las diferentes filiales de cebada en el próximo ciclo de evaluación. Además, se recomienda hacer una purificación del material de la Colección Nacional para disponer de material puro para los bloques de cruzamientos.

11.3.9. Referencias:

Canal, G. (2012). Análisis de la variabilidad genotípica de cebada cervecera en rendimiento, porcentaje de proteína y calibre en distintos ambientes. Trabajo de tesis para acceder al título de Especialista en Cultivos de Granos. Buenos Aires, Argentina.

Carretero, R., Serrano, R., Millares, D. (2012). Las enfermedades foliares en el cultivo de trigo: Una perspectiva ecofisiológica (en línea). Argentina. Recuperado de <http://www.engormix.com/MA-agricultura/trigo/articulos/las-enfermedades-foliares-cultivo-t4379/998-p0.htm>

Falconí, E., Garófalo, J., Llangarí, P. & Espinoza, M. (2013). Boletín Divulgativo N° 390. *El cultivo de cebada: Guía para la producción de semilla de calidad*. INIAP-Ecuador.

FAO (2018). Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales. FAOSTAT Statistics Database (2018). Consultado 17 de marzo del 2020. Disponible en: [<http://www.fao.org/faostat/en/#data>].

INEC (2020). Encuesta y superficie y producción agropecuaria continúa.

11.4. Actividad. Evaluación del rendimiento y características agronómicas de líneas promisorias de trigo (*Triticum aestivum* L.).

Protocolo Aprobado: Memorando Nro. INIAP-EESC_DIR-2021-1653-MEN

Fecha: 22 de septiembre del 2021

Responsable: Dr. Luis Ponce

Colaboradores y Ejecución: Mgs. Javier Garófalo, Ing. Javier Noroña.

11.4.1. Antecedentes:

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales de mayor importancia en el mundo (FAO, 2019). Según la FAO-AMIS se espera que durante el 2021 la producción de trigo se incremente en un 0,69% a nivel mundial (AMIS, 2021). En el año de 2020 se importó 1'096 589 toneladas de granos de trigo (MAG, 2020) y se sembraron 6880 hectáreas (INEC, 2020). El Ecuador registró una productividad por unidad de superficie de 2 t ha⁻¹ (INEC, 2020), mientras que a nivel mundial la productividad supera las 3,0 t ha⁻¹ (FAO, 2019). En Ecuador, el trigo es cultivado principalmente en la Sierra ecuatoriana entre los 2000 y 3200 metros de altitud, las principales provincias productoras de este cereal son: Carchi (2976 ha), Chimborazo (1361 ha), Bolívar (1119 ha), Imbabura (699 ha) y Pichincha (361 ha) (INEC, 2020).

En la actualidad, uno de los problemas en el cultivo de trigo, radica que las variedades mejoradas a través del tiempo se han vuelto susceptibles a enfermedades, reduciendo los rendimientos, por esta razón, es necesario que los procesos de investigación, a través del mejoramiento genético entregue continuamente al agricultor nuevas variedades mejoradas adaptadas a diferentes condiciones agroecológicas y con características de resistencia a enfermedades y alto rendimiento. (Ponce-Molina *et al.*, 2020)

Las enfermedades fúngicas a nivel mundial son las principales causas de la reducción en el rendimiento en trigo; especialmente las enfermedades causadas por patógenos biótropos, como las royas, que ocasionan los mayores daños al cultivo, debido a sus características de intensidad y momentos de desarrollo del cultivo (Carretero *et al.*, 2012). Por su frecuencia de aparición y severidad en Ecuador, las enfermedades más importantes son: roya amarilla (*Puccinia striiformis*), roya de la hoja (*Puccinia triticina*), virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) y *Fusarium* spp. (Almacenas *et al.*, 2013). Adicionalmente se incluye la roya del tallo (*Puccinia graminis*), como nuevo agente causante de enfermedad en el Ecuador (Stubbs *et al.*, 1986).

Durante más de 60 años el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP a través del Programa de Cereales, ha generado y desarrollado 18 nuevas

variedades mejoradas de trigo que han sido entregadas y puestas a disposición de los productores trigueros, ampliando la diversidad genética con variedades adaptadas, resistente a enfermedades y de alto rendimiento.

La mejora genética y la generación de germoplasma con características deseables, es un proceso continuo, en tal virtud el Programa de Cereales evalúa anualmente alrededor de 100 líneas promisorias que son seleccionadas bajo condiciones de la Estación Experimental Santa Catalina - EESC y nos permitirá identificar los genotipos mejor adaptados, de alto rendimiento ($\geq 3 \text{ t ha}^{-1}$), resistentes a enfermedades (severidad $<20\%$) y con calidad agroindustrial.

El Programa de Cereales del INIAP tiene como objetivos generar, evaluar y seleccionar germoplasma de trigo con características deseables que se adapten a las principales zonas agroecológicas del Ecuador. Actualmente, se cuenta con germoplasma mejorado, introducidos y cruza propias, que se está evaluando en los campos experimentales de la EESC, que posteriormente serán evaluados y seleccionados por rendimiento, resistencia y calidad de grano en campos de agricultores de la Sierra ecuatoriana.

11.4.2. Objetivos:

11.4.2.1. Objetivo general

Seleccionar líneas promisorias de trigo con alto rendimiento (3 t ha^{-1}), buenas características agronómicas, resistente a enfermedades y calidad de grano.

11.4.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar y seleccionar líneas promisorias de trigo resistente a roya amarilla (*P. striiformis*) roya de la hoja (*P. triticina*), roya del tallo (*Puccinia graminis*), virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) y *Fusarium spp*, con buena adaptación, alto rendimiento, calidad de grano y características agronómicas deseables (altura, tipo de tallo, precocidad).
- Multiplicar las líneas promisorias de trigo para la obtención de semilla fitomejorador de calidad.

11.4.3. Metodología:

11.4.3.1. Evaluación y selección de material avanzado

En el año 2021 en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC), fueron evaluadas 55 líneas de trigo distribuidas en tres ensayos de rendimiento (Tabla 24). Los ensayos de investigación se implementaron en el Lote B4 de la EESC del INIAP.

Tabla 24. Experimentos de rendimiento evaluados en la EESC, 2021.

Ensayos*	Número de líneas evaluadas
ER1 TH	15
ER2 TH	20
ER3 TH	20
Total	55

*ER1 TH=Ensayo de Rendimiento 1 de trigo Harinero; ER2 TH=Ensayo de Rendimiento 2 de Trigo Harinero; ER3 TH=Ensayo de Rendimiento 3 de Trigo harinero.

Las líneas evaluadas se implementaron en campo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de 3,6 m² (3 m x 1,2 m). Las variables evaluadas fueron: variables agronómicas, resistencia a enfermedades, rendimiento y parámetros de calidad. Los datos recopilados fueron analizados con el programa estadístico InfoStat versión Profesional 2020. Se realizaron los análisis LSD 0.05 y análisis de varianza.

11.4.3.2. Parcelas chicas (PCs) de trigo

Las PC son una réplica completa de los ensayos de rendimiento con el objetivo de purificar el material a través de la desmezcla y obtener una semilla pura de las líneas seleccionadas, las cuales conformarán los ensayos del siguiente ciclo de evaluación. Fueron evaluadas un total de 55 líneas en parcelas de 3,6 m² (3 m x 1.2 m).

11.4.3.3. Ensayo de surcos triples (STs) de trigo

Los surcos triples son ensayos de observación en los cuales se evaluó el germoplasma avanzado, tanto generado por el Programa de Cereales, como germoplasma introducido, que presentan características agronómicas deseables y resistencia a enfermedades. Las variables evaluadas fueron resistencia a enfermedades, variables agronómicas, rendimiento, y parámetros de calidad. En el año 2021 el ensayo estuvo conformado por 155 líneas, 55 líneas provenientes de ensayos internacionales y 100 líneas de ensayos nacionales. Las líneas fueron sembradas en parcelas de 3,6 m² (3,0 m x 1,2 m).

11.4.3.4. Incremento de semilla categoría básica y seleccionada

Parte del trabajo de un programa de mejoramiento es la multiplicación y purificación del germoplasma de todas las categorías con el objetivo de refrescar cada año la semilla, disponibilidad de semilla pura y en cantidades suficientes para trabajos posteriores, así como proveer semilla básica al Departamento de Producción de Semillas del INIAP.

11.4.4. Manejo de los ensayos

La densidad de siembra fue de 180 kg ha⁻¹. Al momento de la siembra se aplicó 150 kg ha⁻¹ de fertilizante compuesto (18-46-0) y 150 kg ha⁻¹ de Sulpomag, de acuerdo a análisis de suelo. Posteriormente al macollamiento se aplicó 150 kg ha⁻¹ de Urea y 15 g ha⁻¹ de Matancha® (Metsulfuron-metil) como herbicida. No se realizan aplicaciones de funguicidas para el control de enfermedades, ya que se evalúa la incidencia y severidad de las enfermedades.

11.4.5. Variables y métodos de evaluación

- **Rendimiento:** las parcelas fueron cosechadas a la madurez (180-190 días) y el rendimiento fue registrado en t ha⁻¹.
- **Peso hectolítrico:** esta variable representa el peso del grano en un volumen específico y se expresó en kg hl⁻¹ (kilogramos por hectómetro cúbico), para ello se utilizó una balanza de peso específico de cereales.
- **Tipo de grano:** el grano cosechado fue calificado de acuerdo a su forma, color, tamaño, uniformidad y daño.
 - **Incidencia de enfermedades:** a los 90 y 120 días después de la siembra se evaluó la incidencia de enfermedades (roya amarilla, roya de la hoja, fusarium, virosis, entre otras) y se expresó en porcentaje para las royas y fusarium de la espiga y en la escala de 0 al 9 para virosis. (Stubbs *et al.*, 1986; Ponce-Molina *et al.*, 2019)

11.4.6. Resultados:

11.4.6.1. Ensayo de Rendimiento 1 (ER1 TH)

En el Tabla 25, se observa una diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0,01$), para rendimiento y peso hectolítrico, y para la enfermedad roya amarilla no se observó diferencias estadísticas significativas. El promedio general del ensayo fue 6,4 t ha⁻¹ (rendimiento) y 73,23 kg hl⁻¹ (peso hectolitro). Las mejores líneas para la variable de rendimiento fueron: TA-19-012, TA-18-005 y TA-20-001, con valores superiores al promedio general del ensayo. Para peso hectolítrico la línea TA-19-012 presentó el mejor resultado comparado con el testigo INIAP-Imbabura 2014. En general el tipo de grano de las líneas evaluadas fueron: grano grueso/bueno y de color blanco (1B*).

Tabla 25. ANOVA y Fisher al 5% para rendimiento, peso hectolítrico, enfermedades y tipo de grano para líneas de trigo del Ensayo de Rendimiento (ER1). EESC, 2021.

Línea	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	P. striiformis	Tipo de grano
TA-19-012	9,2	76,50	14	2R*

TA-18-005	8,5	73,96	4	1B+
TA-20-001	8,2	73,16	2	2B*
TA-19-003	8,0	75,98	7	2B+
TA-19-011	7,4	76,35	2	2R*
TA-18-008	7,0	69,06	1	1B+
TA-19-008	6,6	76,30	1	2R*
INIAP-VIVAR 2010	6,3	71,12	1	2R*
TA-18-004	6,0	73,54	2	1B+
TA-17-011	5,7	69,68	4	1B+
TA-14-004	5,2	70,74	4	2B+
TA-20-002	5,0	71,20	1	3B+
TA-18-012	4,9	74,04	2	1B+
INIAP-IMBABURA 2014	4,6	77,26	1	2R*
TA-19-013	3,7	69,50	1	1B*
P valor	<0.0001**	<0.0001**	0,5642 n.s	
LSD (p<0.05)	1,9130	1,3421	-	
Promedio	6,4	73,23	3,1	
Coefficiente Correlación	0,79	0,95	0,43	

¹Nivel de significancia 5%: (**) altamente significativo, (*) significativo, (n.s.) no significativo.

¹Valor no calculado: factor sin significancia.

²Tipo de grano: (1) grande, (2) mediano, (3) pequeño, delgado, chupado/ (B) Blanco (R) Rojo/ (*) bueno, (+) malo.

Fuente: INIAP, 2021.

La enfermedad de mayor incidencia que se presentó fue la roya amarilla, con un promedio de 3,1 % de severidad. Estos resultados son bajos y no afectaron el desarrollo general del ensayo. Las líneas más resistentes a roya amarilla fueron: TA-18-008, TA-19-008, TA-20-002 y TA-19-013.

Con base a los resultados obtenidos de campo, se seleccionaron seis líneas de trigo: TA-20-001, TA-19-003, TA-18-008, TA-19-008, TA-17-011 y TA-20-002, por presentar alto rendimiento, peso hectolítrico y calidad de grano. Estas líneas pasarán a formar los ensayos de rendimiento de trigo en el año 2022.

11.4.6.2. Ensayo de Rendimiento 2 (ER2 TH)

En el Tabla 26, también se observó una diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0,01$) para rendimiento y peso hectolítrico, entre tanto que para la enfermedad de roya amarilla no se observó diferencias significativas. El promedio general del ensayo fue 4,4 t ha⁻¹ (rendimiento) y 72,85 kg hl⁻¹ (peso hectolitrito). Las mejores líneas para la variable de rendimiento fueron: TA-20-016, TA-20-018, TA-20-003 y TA-20-014, con valores superiores al promedio general del ensayo. Para peso hectolítrico las líneas TA-20-015, TA-20-017 y TA-20-018, presentaron los mejores

resultados. En general el tipo de grano de las líneas evaluadas fueron: grano grueso/bueno y de color blanco (1B*).

Tabla 26. ANOVA y Fisher al 5% para rendimiento, peso hectolítrico, enfermedades y tipo de grano de las líneas de trigo del Ensayo de Rendimiento (ER2). EESC, 2021.

Línea	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	P. striiformis	Tipo de grano
TA-20-016	7,2	73,16	4	1R+
TA-20-018	6,3	75,60	4	1B+
TA-20-003	6,3	72,78	1	2B*
TA-20-014	5,5	73,67	2	1B*
TA-20-005	5,3	72,73	1	2B*
TA-20-004	5,1	74,39	2	2B*
TA-20-015	5,1	76,80	0	1R*
TA-20-013	4,5	71,33	2	1R+
TA-20-012	4,5	71,08	2	1B+
TA-20-017	4,3	75,83	1	1B*
TA-20-009	4,1	70,26	2	1B+
TA-20-019	3,9	70,13	1	1B+
TA-20-006	3,7	71,83	4	1B*
TA-20-020	3,7	70,74	0	1B+
TA-20-010	3,5	71,47	2	1B+
TA-20-011	3,5	73,32	1	1B+
INIAP-VIVAR 2010	3,3	70,92	3	2R*
INIAP-IMBABURA 2014	2,8	76,03	5	2R*
TA-20-008	2,4	72,64	2	1B*
TA-20-007	2,4	72,23	1	1R+
P valor	0,0025 **	<0,0001 **	0,7008n.s	
LSD (p<0.05)	2,1898	0,9851	-	
Promedio	4,4	72,85	2,0	
Coefficiente Correlación	0,61	0,94	0,32	

¹Nivel de significancia 5%: (**) altamente significativo, (*) significativo, (n.s.) no significativo

²Valor no calculado: factor sin significancia.

³Tipo de grano: (1) grande, (2) mediano, (3) pequeño, delgado, chupado/ (B) Blanco (R) Rojo/ (*) bueno, (+) malo.

Fuente: INIAP, 2021.

La enfermedad de mayor incidencia presentó fue la roya amarilla, con un promedio de 2,0 % de severidad respectivamente. Estos resultados son bajos y no afectaron al desarrollo general del ensayo. Las líneas más resistentes a roya amarilla fueron: TA-20-015 y TA-20-020.

Con base a los resultados obtenidos de campo, se seleccionaron diez líneas de trigo: TA-20-016, TA-20-018, TA-20-003, TA-20-014, TA-20-005, TA-20-004, TA-20-015, TA-20-013, TA-20-012 y TA-20-017, por presentar alto rendimiento, peso hectolítrico y calidad de grano. Estas líneas formaran parte de los ensayos de rendimiento de trigo en el año 2022.

11.4.6.3. Ensayo de Rendimiento 3 (ER3 TH)

En el Tabla 27, se observa una diferencia estadística altamente significativa para rendimiento y peso hectolítrico, mientras que para la enfermedad de roya amarilla no se observó diferencias estadísticas significativas. El promedio general del ensayo fue 1,5 t ha⁻¹ (rendimiento) y 71,64 kg hl⁻¹ (peso hectolitro). Las mejores líneas para la variable de rendimiento fueron: TA-20-032 y TA-20-035, con valores superiores al promedio general del ensayo. Para peso hectolítrico las líneas TA-20-035 y TA-20-032, presentaron los mejores resultados. En general el tipo de grano de las líneas evaluadas fueron: grano pequeño/regular y de color blanco (3B+).

Tabla 27. ANOVA y Fisher al 5% para rendimiento, peso hectolítrico, enfermedades y tipo de grano de las líneas de trigo del Ensayo de Rendimiento (ER3). EESC, 2021.

Línea	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	P. striiformis	Tipo de grano
TA-20-032	3,3	75,18	1	2R*
TA-20-035	2,6	76,30	2	2B*
INIAP-IMBABURA 2014	2,6	77,63	2	1R*
TA-20-034	2,4	74,97	5	1R+
TA-20-031	2,2	74,35	2	2B*
TA-20-030	2,2	72,37	2	1B+
TA-20-038	1,9	74,84	1	3B+
TA-20-036	1,9	70,40	4	3B+
TA-20-033	1,7	72,26	5	1R*
TA-20-024	1,6	72,30	2	3B+
TA-20-023	1,3	71,67	2	3B+
INIAP-VIVAR 2010	1,2	71,07	1	1R*
TA-20-037	1,1	71,75	2	3B+
TA-20-028	1,1	71,53	4	3R+
TA-20-021	0,9	47,67	4	3B+
TA-20-026	0,9	72,07	4	1B+
TA-20-029	0,5	71,90	2	3B+
TA-20-025	0,5	70,37	2	2B*
TA-20-022	0,5	70,43	2	3B+
TA-20-027	0,4	73,76	5,33	3B+
P valor	<0.0001 **	<0.0001 **	0,7392	
LSD (p<0.05)	1,0990	2,5419	-	
Promedio	1,5	71,64	2,8	

Coeficiente Correlación **0,79** **0,79** **0,29**

¹**Nivel de significancia 5%:** (**) altamente significativo, (*) significativo, (n.s.) no significativo

Valor no calculado: factor sin significancia.

²**Tipo de grano:** (1) grande, (2) mediano, (3) pequeño, delgado, chupado/ (B)

Blanco (R) Rojo/ (*) bueno, (+) malo.

Fuente: INIAP, 2021.

La enfermedad de mayor incidencia fue la roya amarilla, con un promedio de 2,8 % de severidad. Estos resultados son bajos y no afectaron al desarrollo general del ensayo. Las líneas más resistentes a roya amarilla fueron: TA-20-032 y TA-20-038.

Con base a los resultados obtenidos de campo, se seleccionaron dos líneas de trigo: TA-20-032 y TA-20-035, por presentar alto rendimiento, peso hectolítrico y calidad de grano. Estas líneas formarán parte de los ensayos de rendimiento de trigo en el año 2022.

11.4.6.4. Parcelas chicas (PCs) de trigo

Cuarenta líneas de trigo (40), fueron evaluadas y purificadas en parcelas chicas, de las cuales se obtuvieron 3 kg de semilla de promedio por cada unidad experimental. Con el análisis se obtuvo, 15 líneas de tipo de grano grande, grueso, redondo, blanco o crema, 20 líneas de tipo de grano mediano, redondo, blanco o amarillo y 20 líneas de grano pequeño, delgado, manchado y chupado en el ensayo. Adicionalmente, en el ensayo se obtuvo 37 líneas de color blanco y 18 líneas de color rojo en todo el ensayo.

11.4.6.5. Ensayo de surcos triples (STs) de trigo

En el ensayo de surcos triples con líneas provenientes de ensayos internacionales (Tabla 28), se observó que los testigos locales (INIAP-Vivar 2010 e INIAP-Imbabura 2014) presentaron un promedio de rendimiento de 1.9 t ha⁻¹ y un peso hectolítrico promedio de 72.5 kg hl⁻¹, con una desviación estándar de 0.9 y 3.0, respectivamente, mientras tanto que las líneas avanzadas presentaron un promedio de rendimiento de 2.4 t ha⁻¹ y 71.2 kg hl⁻¹ de peso hectolítrico, con una desviación estándar de 1.3 y 1.9, respectivamente.

Tabla 28. Estadística descriptiva de ensayo de surcos triples de líneas internacionales de trigo. EESC, 2021.

Variable	Testigos mejorados					
	Nº	Promedio	D.E.	CV (%)	Mínimo	Máximo
Rendimiento (t ha ⁻¹)	4	1,9	0,9	46,1	0,9	3,0
Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	4	72,5	3,0	4,2	70	76,8
Líneas avanzadas internacionales						
Rendimiento (t ha ⁻¹)	51	2,4	1,3	53,2	0,3	5,1

Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	51	71,2	1,9	2,7	66,6	76,4
--	----	------	-----	-----	------	------

D.E: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

En el ensayo de surcos triples con líneas provenientes de ensayos nacionales (Tabla 29), se observó que los testigos locales (INIAP-Vivar 2010 e INIAP-Imbabura 2014) presentaron un promedio de rendimiento de 5,5 t ha⁻¹ y un peso hectolítrico promedio de 72,3 kg hl⁻¹, con una desviación estándar de 1.0 y 3.3, respectivamente, mientras tanto que las líneas avanzadas nacionales presentaron un promedio de rendimiento de 6,2 t ha⁻¹ y 73,0 kg hl⁻¹ de peso hectolítrico, con una desviación estándar de 1,3 y 2,1, respectivamente.

Tabla 29. Estadística descriptiva de ensayo de surcos triples de líneas nacionales de trigo. EESC, 2021.

Variable	Testigos mejorados					
	N°	Promedio	D.E.	CV (%)	Mínimo	Máximo
Rendimiento (t ha ⁻¹)	8	5,5	1,0	18,6	4,0	7,0
Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	8	72,3	3,3	4,5	69,1	76,5
Líneas avanzadas nacionales						
Rendimiento (t ha ⁻¹)	92	6,2	1,3	21,2	2,1	8,3
Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	92	73,0	2,1	2,8	68,9	77,6

D.E: desviación estándar, CV: coeficiente de variación

De los ensayos de surcos triples evaluados durante el ciclo agrícola 2021, se seleccionaron 20 líneas, que formarán parte de los ensayos de rendimiento del ciclo 2022.

11.4.6.6. Incremento de semilla con categoría Básica y Seleccionada.

Durante el ciclo 2021 en la EESC, se incrementó tres variedades de trigo, obteniéndose un total de 900 kg de semilla de categoría básica (Tabla 30).

Tabla 30. Variedades de trigo incrementada categoría Básica y seleccionada en la EESC, 2021.

N°	Variedad	Cantidad (kg)
1	INIAP-Vivar 2010	360
2	INIAP-Imbabura 2014	495
3	INIAP-Zhalao 2003	45
Total		900

11.4.7. Conclusiones:

El Programa de Cereales cuenta con 18 líneas promisorias seleccionadas de los ensayos de rendimiento y con 20 líneas avanzadas seleccionadas de los ensayos de

surcos triples, las cuales se seleccionaron por sus características deseables de resistencia a enfermedades, alto rendimiento ($>3 \text{ t ha}^{-1}$) y calidad, que servirán de base para seleccionar líneas élites que podrán ser liberadas como futuras variedades mejoradas para los productores trigueros del Ecuador.

11.4.8. Recomendaciones:

Continuar con el proceso de mejoramiento y selección de materiales promisorios de trigo, que presentan características deseables: agronómicas, alto rendimiento y de calidad industrial. Las cuales servirán como fuente de diversidad para el Programa de Cereales y para los productores.

11.4.9. Referencias:

Almacenas, J., López, A., Álvaro, F., Serra, J., Capellades, G. y Marín, J. (2013). La roya amarilla de los trigos, un problema emergente (en línea). España. Recuperado de http://www.adiveter.com/ftp_public/A1221113.pdf

AMIS-Agricultural Market Information System. (2021). Consultado el 20 de mayo de 2021. <http://www.amis-outlook.org/>

Carretero, R., Serrano, R. y Millares, D. (2012). Las enfermedades foliares en el cultivo de trigo: Una perspectiva ecofisiológica (en línea). Argentina. Recuperado de <http://www.engormix.com/MA-agricultura/trigo/articulos/las-enfermedades-foliares-cultivo-t4379/998-p0.htm>

FAOSTAT Statistics Database (2019). Consultado 18 de marzo del 2020 en [<http://www.fao.org/faostat/en/#data>].

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC – ESPAC. (2020). Cifras agroproductivas. Recuperado de: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>

Ponce-Molina L., Garófalo J., Campaña D. y Noroña P. (2019). Parametros de Evaluación y Selección en Cereales. Manual No. 111. INIAP. Quito-Ecuador. 58 p.

Ponce-Molina L., Campaña D., Noroña J. y Garófalo J. (2020). Actividades de Investigación en Cereales Año 2019. Boletín No. 175. INIAP, Ecuador. 74 p.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2020). “Sistema de Información Pública Agropecuaria: Trigo; Importación a Ecuador. Recuperado de: <http://sipa.agricultura.gob.ec/inex.php/comercio-externo>

Stubbs, R., Prescott, J., Saari, E. and Dubin, H. (1986). Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales.

11.5. Actividad. Avances generacionales de diferentes poblaciones segregantes de trigo (*Triticum aestivum* L.).

Protocolo Aprobado: Memorando Nro. INIAP-EESC_DIR-2020-1736-MEN

Fecha: 6 de octubre del 2021

Responsable: Dr. Luis Ponce

Colaboradores y Ejecución: Mgs. Javier Garófalo, Ing. Javier Noroña.

11.5.1. Antecedentes:

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales de mayor importancia en el mundo (FAO, 2018). Según la FAO-AMIS se espera que durante el 2021 la producción de trigo se incremente en un 0,69% a nivel mundial (AMIS, 2021). En Ecuador, en el año de 2020 se importó 1'096 589 toneladas de granos de trigo (MAG, 2020), y se registró una productividad por unidad de superficie de 1,6 t ha⁻¹, mientras que a nivel mundial la productividad supera las 3 t ha⁻¹ (INEC, 2019). En Ecuador, el trigo es cultivado principalmente en la Sierra ecuatoriana entre los 2000 y 3000 metros de altitud, las principales provincias productoras de este cereal son: Carchi, Bolívar, Pichincha, Chimborazo e Imbabura.

Uno de los problemas actuales es que las variedades vigentes de trigo con el tiempo pierden la resistencia a enfermedades (royas, fusarium, entre otras) y sus rendimientos decrecen (no superan 1 t ha⁻¹), por esta razón, es necesario que el proceso de investigación con el mejoramiento genético entregue continuamente al agricultor nuevas variedades adaptadas y con características de resistencia y alto rendimiento. La forma más económica y ambientalmente sostenible de combatir las enfermedades es mediante el uso de germoplasma resistente a estas enfermedades, trabajo que debe ser realizado por los entes de investigación nacional como el INIAP en Ecuador (Ponce-Molina *et al.*, 2020).

La incidencia de una serie de factores bióticos y abióticos, ha significado el incremento del precio de los alimentos y, por otro lado, la progresiva disminución en el suministro de estos. En una perspectiva global, las enfermedades fúngicas son una de las principales causas de la reducción en el rendimiento en trigo. Entre éstas, las enfermedades causadas por patógenos biotróficos como las royas con las que ocasionan los mayores daños al cultivo, debido a sus características de intensidad y momentos ontogénicos del cultivo en que ataca (Carretero *et al.*, 2012). Por su frecuencia de aparición y severidad en Ecuador, las enfermedades más importantes son: roya amarilla (*Puccinia striiformis*), roya de la hoja (*Puccinia triticina*), virus del enanismo amarillo (BYDV) y *Fusarium* spp. (Almacenas *et al.*, 2013). Adicionalmente se incluye la roya del tallo (*Puccinia graminis*), como nuevo agente causante que presenta esta enfermedad en el Ecuador (Stubbs *et al.*, 1986).

Entre los métodos de mejoramiento empleados por el Programa de Cereales del INIAP, para la generación de germoplasma de trigo con características deseables se encuentran: cruzamientos y/o hibridaciones, retrocruzamientos, e introducciones provenientes de Centros Internacionales; y como herramienta complementaria se

utilizan los métodos de selección de pedigree, masal, combinada, descendencia de una sola semilla y selección asistida.

Las poblaciones de materiales segregantes, producto de los cruzamientos, están constituidas por genotipos muy diversos, y en cada generación es necesario seleccionar individuos diferentes. Los métodos de selección utilizados por el Programa de Cereales son los siguientes: masal, consiste en cosechar todas las plantas de la parcela, formando una sola muestra; masal-selecto, en la parcela se seleccionan varias plantas o espigas con características morfológicas similares, para luego formar una sola muestra; y pedigrí, consiste en seleccionar dentro de cada parcela, plantas o espigas con buenas características morfológicas y de resistencia a enfermedades, y manteniéndolas de forma individual para el siguiente ciclo. (Ponce-Molina *et al.*, 2019)

El Programa de Mejoramiento de Trigo del INIAP tiene como objetivo, generar y desarrollar germoplasma mejorado con características de: 1) alto rendimiento y productividad; 2) resistencia a las principales enfermedades como royas del tallo y de la hoja en la sierra baja, y lineal en la Sierra alta; y 3) calidad nutricional e industrial.

11.5.2. Objetivos:

11.5.2.1. Objetivo general

Desarrollar nuevas poblaciones de mejoramiento, con características deseables de resistencia a enfermedades (royas), alto rendimiento y calidad agroindustrial, para la producción sostenible en el Ecuador.

11.5.2.2. Objetivos específicos

- Realizar cruzamientos para la obtención de nuevas poblaciones mejoradas con alto potencial de rendimiento (4 t ha^{-1}), resistencia a roya amarilla (*Puccinia striiformis*), roya de la hoja (*Puccinia titricina*), roya del tallo (*Puccinia graminis*), virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV), *Fusarium* spp., con buenas características agronómicas y de calidad.
- Evaluar y seleccionar individuos en cada una de las poblaciones segregantes de trigo (F_3 y F_4), que sean resistentes a las principales enfermedades, con características agronómicas deseables, productivas y de calidad.

11.5.3. Metodología:

11.5.3.1. Desarrollo de poblaciones filiales (F₁) de trigo

En la EESC se desarrollaron poblaciones de trigo, estuvo orientado a la generación de líneas con resistencia a enfermedades (roya amarilla y de la hoja) y calidad harinera. Con el objetivo de generar líneas con características agronómicas. En el bloque de cruzamientos se realizarán cruza entre líneas y variedades mejoradas (Tabla 31).

Tabla 31. Progenitores de trigo con características de resistencia y calidad harinera utilizados en el bloque de cruzamientos en la EESC, 2021.

No.	Línea/Varietal	Origen	Características
Parental Femenino 1 ♀			
	INIAP-Vivar 2010	CN 2020	Resistencia parcial, productividad
Parental Masculino ♂			
1	TA-14-004	ER1-2020	Tipo de grano 1B, alto rendimiento, buen peso hectolítrico
2	TA-17-011	ER1-2020	Tipo de grano 1B, alto rendimiento, buen peso hectolítrico
3	TA-18-008	ER2-2020	Tipo de grano 1B, alto rendimiento, buen peso hectolítrico
4	INIAP-Zhalao 2003	CN 2020	Tipo de Grano 2B, resistente
5	Romero	CN 2020 S-32	Resistente a royas
6	Bonza	CN 2020 S-72	Peso hectolítrico, grano blanco
Parental Femenino 2 ♀			
	INIAP-Imbabura 2014	CN 2020	Tipo de grano, productividad
Parental Masculino ♂			
1	TA-19-008	ER3-2020	Tipo de grano 1R, alto rendimiento, buen peso hectolítrico
2	TA-19-012	ER3-2020	Tipo de grano 1R, alto rendimiento, buen peso hectolítrico, mútico
3	INIAP-Chimborazo 78	CN 2020	Tipo de grano 2R, calidad, mútico
4	Morocho Blanco	CN 2020 S-28	Resistente a royas
5	Morocho Colorado	CN 2020S- 29	Resistente a royas
6	Amazonas	CN 2020S-3	Peso hectolítrico, grano rojo
7	Napo	CN 2020S-30	Peso hectolítrico, grano rojo

11.5.3.2. Evaluación de poblaciones segregantes F₂, y F₃ de trigo en campo.

Los métodos de mejoramiento y selección empleados en las poblaciones segregantes sembradas en campo fueron: Masal y Masal Selecto. Las evaluaciones fueron realizadas durante el ciclo de cultivo y se seleccionó germoplasma con características deseables de resistencia a enfermedades, alto rendimiento y calidad.

11.5.4. Resultados:

11.5.4.1. Desarrollo de poblaciones filiales (F₁) de trigo

En la EESC, se obtuvieron 20 cruzamientos F₁ de trigo (Tabla 32), provenientes de cruza directas y recíprocas entre variedades harineras y aptitud panadera.

Tabla 32. Poblaciones F₁ de trigo provenientes del bloque de cruzamientos en la EESC, 2021.

Nº. Surco	Pedigree	Origen EESC F ₁ /2021
1	QUAIU/BECARD//BECARD/3/INIAP-Vivar 2010	Cruza P-1
	E-TA21-20844	
2	MELON//FILIN/MILAN/3/FILIN/4/2*TRCH/SRTU//KACHU/5/INIAP-Vivar 2010	P-2
	E-TA21-20845	
3	INIAP COJITAMBO/5/TINAMOU/LIRA//VIREE#7/4/BABAX/LR42//BABAX*2/3/VIVITSI/6/INIAP-Vivar 2010	P-3
	E-TA21-20846	
4	INIAP-Zhalao 2003/INIAP-Vivar 2010	P-4
	E-TA21-20847	
5	Romero/INIAP-Vivar 2010	P-5
	E-TA21-20848	
6	Bonza/INIAP-Vivar 2010	P-6
	E-TA21-20849	
7	INIAP-Vivar 2010/3/QUAIU/BECARD//BECARD	P-7
	E-TA21-20850	
8	INIAP-IMBABURA 2014/4/ PRL/2*mazar 99//SRTU/3/PRINIA/PASTOR/5/INIAP-Imbabura 2014	P-8
	E-TA21-20851	
9	INIAPIMBABURA//INIAPCHIMBORAZO/TINAMOU/3/INIAP-Imbabura 2014	P-9
	E-TA21-20852	
10	INIAP-Chimborazo 78/INIAP-Imbabura 2014	P-10
	E-TA21-20853	
11	Morocho Blanco/INIAP-Imbabura 2014	P-11
	E-TA21-20854	
12	Morocho Colorado/INIAP-Imbabura 2014	P-12

	E-TA21-20855	
13	Amazonas/INIAP-Imbabura 2014	P-13
	E-TA21-20856	
14	Napo/INIAP-Imbabura 2014	P-14
	E-TA21-20857	
15	INIAP-Imbabura 2014/5/INIAP-IMBABURA 2014/4/ PRL/2*mazar 99//SRTU/3/PRINIA/PASTOR	P-15
	E-TA21-20858	
16	INIAP-Imbabura 2014/3/INIAPIMBABURA//INIAPCHIMBORAZO/TINAMOU	P-16
	E-TA21-20859	
17	INIAP-Imbabura 2014/Morocho Blanco	P-17
	E-TA21-20860	
18	INIAP-Imbabura 2014/Morocho Colorado	P-18
	E-TA21-20861	
19	INIAP-Imbabura 2014/Amazonas	P-19
	E-TA21-20862	
20	INIAP-Imbabura 2014/Napo	P-20
	E-TA21-20863	

11.5.4.2. Evaluación de poblaciones segregantes F₂, y F₃ de trigo en campo.

Durante el año 2021, se sembraron y evaluaron en campo 610 poblaciones segregantes F₃, y 20 poblaciones F₄. Al final del ciclo se seleccionaron 614 poblaciones (Tabla 33).

Tabla 33. Número de poblaciones segregantes evaluadas y seleccionadas de trigo. EESC, 2020.

Filial	Evaluadas	Total Seleccionadas	Cosechadas		
			Espigas	Plantas	Parcelas
F ₃	610	183 (M/S ²)		-	183
F ₄	20	120 (P ⁴)	120	-	-
Total	630	303	120		183

¹ M: Masal; ²M/S: Masal selecto; ³M/PG: Masal por pedigree; ⁴PG: Pedigree.

Fuente: INIAP, 2021.

Realizada la evaluación de poblaciones se generaron: 303 filiales para F₄ y 6 para F₅, las cuales serán evaluadas durante el ciclo agrícola 2022.

11.5.5. Conclusiones:

El Programa de Cereales cuenta con 323 poblaciones segregantes mejoradas de diversas categorías, los cuales serán evaluados en busca de germoplasma con características deseables para el productor triguero del Ecuador.

11.5.6. Recomendaciones:

Continuar con el mejoramiento generacional y selección de materiales de las diferentes poblaciones filiales de trigo para el próximo ciclo de evaluación. Además, se recomienda hacer una purificación del material de la Colección Nacional para disponer de material puro para los bloques de cruzamientos

11.5.7. Referencias:

Carretero, R; Serrano, R; Millares, D. (2012). Las enfermedades foliares en el cultivo de trigo: Una perspectiva ecofisiológica (en línea). Argentina. Recuperado de <http://www.engormix.com/MA-agricultura/trigo/articulos/las-enfermedades-foliares-cultivo-t4379/998-p0.htm>

FAO (2018). Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales.

ESPAC (2019). Encuesta y superficie y producción agropecuaria continúa.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (2020). "Sistema de Información Pública Agropecuaria.

Ponce-Molina, L., Noroña, P., Campaña, D., Garófalo, J., Coronel, J., Jiménez, C. y Cruz, E. (2019). La Cebada (*Hordeum vulgare* L.): Generalidades y variedades mejoradas para la Sierra ecuatoriana. Primera edición. Manual No. 116. INIAP, Programa de Cereales, Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador. 52 p.

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.

Stubbs, R., Prescott, J., Saari, E., & Dubin, H. (1986). Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales.

11.6. Actividad. Evaluación del rendimiento y características agronómicas de líneas promisorias de avena (*Avena sativa* L.).

Protocolo Aprobado: Memorando Nro. INIAP-EESC_PC-2021-1653-MEN

Fecha: 22 de septiembre del 2021

Responsable: Dr. Luis Ponce

Colaboradores y Ejecución: Mgs. Javier Garófalo, Ing. Javier Noroña.

11.6.1. Antecedentes:

La avena (*Avena sativa* L.) es el sexto cereal más cultivado a nivel mundial. Se la cultiva principalmente como cultivo multipropósito para granos y forraje, o como cultivo de rotación en diversas partes del mundo. Este cereal es muy importante para las personas en zonas marginales en casi todos los países en desarrollo, y en países desarrollados es demandada para usos especializados. La avena es altamente conocida por su gran valor en la nutrición humana y cuidado de la salud. (Kapoor y Batra, 2016; FAO, 2018; Stevens *et al.*, 2004).

En el Ecuador la producción de avena en grano está en las 885 t, con un área sembrada de 1177 ha y un rendimiento promedio de 0,74 t ha⁻¹, siendo la menor registrada en América del Sur. Las importaciones en el año 2019 de avena en grano fueron de 21467 t (FAOSTAT, 2020). La avena que se cultiva en Ecuador se emplea principalmente en la alimentación de ganado bovino tanto en grano (balanceados) o como forraje (pastoreo, heno o ensilaje) sola o en mezclas forrajeras con leguminosas.

Las principales causas de los bajos rendimientos en avena son las enfermedades causadas por hongos y otros patógenos, que no solo afectan los rendimientos, sino a las hojas verdes, evitando que produzcan azúcares y proteínas necesarias para el crecimiento de la planta. (Grains Research Development Corporation (GRDC), 2016). Entre las principales enfermedades que atacan a este cultivo se encuentran las royas de la corona (*Puccinia coronata*) y del tallo (*Puccinia graminis*) que pueden reducir el rendimiento entre un 50 a 60%, respectivamente.

La mejora genética vegetal es un pilar fundamental en la generación y desarrollo de germoplasma de avena con características deseables e incrementar la productividad de este cultivo.

Según Ausemus (1943), la mayor dificultad para un Programa de Mejoramiento es mantener la resistencia a enfermedades a través del tiempo, en los diferentes ambientes en que se cultiva este cereal, ya que las variedades resistentes en una localidad y año, a menudo serán susceptibles en otro. En tal virtud se habla de que la

vida útil efectiva de una variedad resistente recién lanzada es de cinco años, pudiendo ser menor, dependiendo de la variedad, las condiciones agroecológicas y el patógeno.

La variedad de avena más distribuida por el INIAP fue liberada hace más de 38 años (INIAP- 82). Esta variedad con el tiempo ha perdido resistencia a las principales enfermedades y sus rendimientos han decrecido. Durante el año 2020 se liberó para el Austro ecuatoriano una nueva variedad de doble propósito, INIAP-Fortaleza 2020, la cual está siendo multiplicada para ser distribuida al sur del país.

Debido a que en la Sierra ecuatoriana el principal uso de la avena es como mezcla forrajera, se hace evidente la necesidad de generar germoplasma mejorado de doble propósito con características de producción de grano y de forraje, para la Sierra Centro y Norte del país.

El INIAP ha generado un total de siete variedades mejoradas de avena hasta el momento. Por su parte, el Programa de Cereales cuenta actualmente con material promisorio de avena de doble propósito con características deseables de rendimiento y resistentes a enfermedades, que permitirán en futuro entregar una variedad mejorada a los productores de la Sierra ecuatoriana.

11.6.2. Objetivos:

11.6.2.1. Objetivo general

Seleccionar germoplasma mejorado de avena doble propósito de alto rendimiento, con buenas características agronómicas y resistente a enfermedades, en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana.

11.6.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar y seleccionar germoplasma de avena doble propósito con baja incidencia y severidad a royas (*Puccinia coronata* y *Puccinia graminis* f. sp. *Avenae*), alto rendimiento, calidad y características deseables (altura, precocidad, tipo de tallo).

11.6.3. Metodología:

11.6.3.1. Evaluación y selección de material avanzado

En el año 2021, fueron evaluadas, en cuatro localidades: en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC-INIAP)-Pichincha, la Granja Experimental Tunshi (Escuela Superior Politécnica del Chimborazo-ESPOCH)-Chimborazo, la Granja Experimental Naguán (Universidad Estatal de Bolívar-UEB)-Bolívar y la Estación Experimental del

Austro-INIAP. El ensayo fue de cinco líneas de avena distribuidas en un ensayo de rendimiento (Tabla 34).

Tabla 34. Ensayo de rendimiento de avena evaluados en cuatro localidades de la Sierra, 2021.

Ensayos*	Número de líneas evaluadas
ER1	5
Total	5

* ER1= Ensayo de Rendimiento 1

Las líneas evaluadas se implementaron en campo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con tres repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de 3,6 m² (3,0 m x 1,2 m). Las variables evaluadas fueron rendimiento, peso hectolítrico y parámetros de calidad. Los datos recopilados fueron analizados con un ADEVA por localidad y un ADEVA combinado. Se realizaron pruebas de separación de medias (LSD Fisher al 5%). Los análisis se realizaron utilizando el programa INFOSTAT Profesional 2019 (Di Rienzo *et al.*, 2017).

11.6.3.2. Incremento de semilla categoría básica y seleccionada

Parte del trabajo de un programa de mejoramiento es la multiplicación y purificación del germoplasma de todas las categorías con el objetivo de refrescar cada año la semilla, disponibilidad de semilla pura y en cantidades suficientes para trabajos posteriores, así como proveer semilla básica al Departamento de Producción de Semillas del INIAP.

11.6.4. Manejo de los ensayos

La densidad de siembra fue de 180 kg ha⁻¹. Al momento de la siembra se aplicó 150 kg ha⁻¹ de fertilizante compuesto (18-46-0) y 150 kg ha⁻¹ de Sulpomag, de acuerdo a análisis de suelo. Posteriormente al macollamiento se aplicó 150 kg ha⁻¹ de Urea y 15 g ha⁻¹ de Matancha® (Metsulfuron-metil) como herbicida. No se realizaron aplicaciones de funguicidas para el control de enfermedades, ya que se evaluó la incidencia y severidad de las enfermedades.

11.6.5. Variables y métodos de evaluación

- **Rendimiento:** las parcelas fueron cosechadas a la madurez (180-190 días) y el rendimiento fue registrado en t ha⁻¹.
- **Peso hectolítrico:** esta variable representa el peso del grano en un volumen específico y se expresó en kg hl⁻¹ (kilogramos por hectólitro), para ello se utilizó una balanza de peso específico de cereales.

- **Tipo de grano:** el grano cosechado fue calificado de acuerdo a su forma, color, tamaño, uniformidad y daño. (Ponce-Molina *et al.*, 2019)

11.6.6. Resultados:

11.6.6.1. Ensayo de rendimiento 1 (ER1 AS)

En la Tabla 35, se observó diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,01$) para localidades, líneas y la interacción de localidades por variedades. No se observó diferencias estadísticas significativas para repeticiones. El promedio general fue de 3,43 t ha⁻¹ para rendimiento, 41,14 kg hl⁻¹ para peso hectolítrico y valores entre 12,25 y 16,62% para reacción a enfermedades.

Los resultados obtenidos indicaron que existió una interacción entre las localidades y las líneas, es decir que en las líneas hay una respuesta diferente en las variables estudiadas, pero dependerá de las condiciones ambientales de cada localidad.

Tabla 35. ANOVA para rendimiento, peso hectolítrico y reacción a enfermedades en avena del Ensayo de Rendimiento (ER1) de avena implementado en cuatro localidades, 2021.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Cuadrados Medios			
		Rendimiento (t ha ⁻¹)		Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	
				<i>P. coronata</i>	<i>P. graminis</i>
Total	59				
Repeticiones	2	0,41 n.s.	0,07 n.s.	12,07 n.s.	22,69 n.s.
Localidades (L)	3	70,11 **	529,41 **	652,55 **	943,89 **
Repeticón en Localidad	8	0,69	1,37	16,46	3,86
Líneas (V)	4	4,33 **	129,36 **	1739,9 **	3497,48 **
L x V	12	1,14 **	43,63 **	105,32 **	242,86 **
Error	32	0,35	2,17	11,07	42,63
Promedio		3,43	41,14	12,25	16,62
CV (%)		17,33	3,58	27,16	39,28

¹Nivel de significancia 5%: (**) altamente significativo, (*) significativo, (n.s.) no significativo

Fuente: INIAP, 2021.

La prueba LSD de Fisher al 5% para líneas en las cuatro localidades (Tabla 36), ubicó a en primer lugar a las líneas AS-11-005, AS-17-002 y la variedad INIAP-Fortaleza 2020, con valores entre 3,7 a 4,0 t ha⁻¹ para rendimiento de grano y valores entre 42,8 a 43,6 kg hl⁻¹ para peso hectolítrico. En cuanto a severidad de enfermedades, se observó que las líneas evaluadas son resistentes, mientras que el testigo INIAP-82 presentó susceptible tanto a roya de la hoja como a roya del tallo con severidades de 33% y 40%, respectivamente.

Tabla 36. Promedios y prueba LSD al 5% para rendimiento, peso hectolítrico y severidad a enfermedades en avena. Ensayo de Rendimiento (ER1) de avena implementado en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2021.

Líneas	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)		<i>P. coronata</i>	<i>P. graminis</i>			
AS-11-005	4,0	a	42,8	a	4	a	0	a
INIAP-Fortaleza 2020	3,9	a	42,8	a	6	ab	0	a
AS-17-002	3,7	a	43,6	a	7	b	0	a
AS-17-001	3,0	b	35,5	c	11	c	0	a
INIAP-82	2,7	b	41,1	b	33	d	40	b

Con base a los resultados obtenidos de campo, se seleccionaron dos líneas de avena: AS-11-005 y AS-17-002, por presentar alto rendimiento, peso hectolítrico y resistencia a enfermedades. Estas líneas formarán los ensayos de rendimiento y regionales de avena en el año 2021.

11.6.6.2. Incremento de semilla con categoría Básica y Seleccionada.

Durante el ciclo 2021 en la EESC, se incrementó una línea promisorio de avena, obteniendo un total de 225 kg de semilla de categoría básica (Tabla 37).

Tabla 37. Incremento de germoplasma de avena categoría Básica y seleccionada en la EESC, 2021.

Variedad	Cantidad (kg)
AS-11-005	225
Total	225

11.6.7. Conclusiones:

El Programa de Cereales cuenta con dos líneas promisorio de avena seleccionada por sus buenas características de rendimiento (≥ 3 t ha⁻¹) y resistencia a enfermedades que servirán de base para la selección de líneas élites que podrán ser liberadas como futuras variedades mejoradas para los productores de avena del Ecuador.

11.6.8. Recomendaciones:

Continuar con el proceso de mejoramiento y selección de materiales promisorios de avena, que presentan características deseables: agronómicas, alto rendimiento y de calidad industrial, las cuales servirán como fuente de diversidad para el Programa de Cereales y para los productores. También se recomienda empezar a programar la realización de cruzamientos locales.

11.6.9. Referencias:

Ausemus, E. (1943). Breeding for disease resistance in wheat, oats, barley and flax. *The Botanical Review*, 9(4), 207.

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2017) InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Falconí-Castillo, E., Garófalo, J., Llangarí, P., y Espinoza, M. (2010). El cultivo de cebada: Guía para la producción artesanal de semilla de calidad.

Grains Research Development Corporation (GRDC). (2016). *Oats Diseases*.

Kapoor, R., & Batra, C. (2016). Oats. En *Broadening the genetic base of grain cereals* (pp. 127–162). Springer.

FAOSTAT. (2020). Consultada el 04 de marzo del 2020. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales | Situación Alimentaria Mundial* |. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>

Ponce-Molina, L., Garófalo, J., Campaña, D., & Noroña, P. (2019). *Parámetros de evaluación y selección en cereales*.

Stevens, E., Armstrong, K., Bezar, H., Griffin, W., & Hampton, J. (2004). Fodder oats an overview. *Fodder oats: A world overview*, 33, 11–18.

11.7. Actividad. Evaluación del rendimiento y características agronómicas de líneas promisorias de Triticale (*X Triticosecale Wittmack*).

Protocolo Aprobado: Memorando Nro. INIAP-EESC_PC-2021-1653-MEN

Fecha: 22 de septiembre del 2021

Responsable: Dr. Luis Ponce

Colaboradores y Ejecución: Mgs. Javier Garófalo, Ing. Javier Noroña.

11.7.1. Antecedentes:

El triticale (*x Triticosecale Wittmack*) (AABBRR), es fruto de un cruzamiento interespecífico entre trigo (*Triticum*) (AABB) y centeno (*Secale*) (RR) (Tohver *et al.*, 2005). El triticale fue concebido para que llegue a ser un cultivo económico que prospere en muchos de los ambientes ecológicos menos favorecidos del mundo. El triticale ha demostrado que se adapta a suelos ácidos, de pH bajo, en varias regiones del mundo. En otros países, también los triticales han mostrado un rendimiento superior al del trigo (Guerrero, 1992). Su harina es rica en proteínas (promedio 14-15%), lo que sugiere un uso prometedor para la producción de alimentos tanto para humanos como para animales (Varughese *et al.*, 1987). La mayor proporción de grano de triticale a nivel mundial es destinado a integrar raciones alimenticias de animales de especies mayores y menores (Belaid, 1994).

El triticale fue introducido al Ecuador en el año 1967, en un ensayo de investigación proveniente del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT-México (INIAP, s.f.; INIAP, 1980). En la década de los 80 el Programa de Cereales del INIAP libera las primeras variedades de triticale: INIAP-Mana 82, que no logró una adecuada aceptación por parte de los agricultores principalmente por su grano liviano, e INIAP-Promesa 85 cuya mayor desventaja era su prolongado ciclo vegetativo, a lo cual se sumó su repentina pérdida de resistencia a roya amarilla. Posteriormente el INIAP seleccionó una línea élite, INIAP-TRITICALE 2000, proveniente de una cruce realizada por el CIMMYT e introducida en 1991 al Programa de Cereales, destinada para uso en la alimentación animal, en raciones alimenticias para diferentes especies como cerdos, aves o ganado bovino, pero al momento del lanzamiento mostró pérdida de resistencia a roya amarilla (INIAP, 2000). Cabe recalcar que en Ecuador no existe un cultivo comercial de triticale.

Las variedades de triticale liberadas por parte de INIAP, fueron lanzadas en la década de los 80's, y presentan susceptibilidad a roya amarilla. A pesar de ser un cultivo con buenas características nutritivas (proteína, fibra, sin gluten), agronómicas y agroindustriales para la alimentación humana y animal, no ha sido difundido ampliamente en el Ecuador, a pesar de que en otros países si están aprovechando su potencial nutricional para promover su consumo y para la industria de alimentos

balanceados para especies mayores y menores de animales. Por lo que ha despertado el interés de las autoridades responsables de las políticas agropecuarias del país (MAG), quienes están interesados que se promueva el cultivo de triticale como alternativa para los productores (comunicación personal Ing. Luis Rodríguez).

En la actualidad el Programa de Cereales del INIAP, cuenta con nuevo germoplasma mejorado que se está evaluando en campos experimentales, entre estos materiales se cuenta con líneas promisorias provenientes del CIMMYT. Estos materiales serán evaluados en campos experimentales en cuatro provincias de la Sierra ecuatoriana que permitirán seleccionar germoplasma mejorado que cumplan con requerimientos y/o necesidades de resistencia a enfermedades, productividad (>3 t ha⁻¹) y calidad de grano.

11.7.2. Objetivos:

11.7.2.1. Objetivo general

Seleccionar germoplasma mejorado de triticale, de alto rendimiento (3 t ha⁻¹), buenas características agronómicas, resistente a enfermedades y calidad de grano en cuatro provincias de la Sierra ecuatoriana.

11.7.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar y seleccionar germoplasma de triticale resistente a roya amarilla (*P. striiformis*), roya de la hoja (*P. titricina*), virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) y *Fusarium* spp; de alto rendimiento, calidad de grano y características agronómicas deseables (altura, tipo de tallo, precocidad).

11.7.3. Metodología:

11.7.3.1. Evaluación y selección de material avanzado

En el año 2021 en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC), fueron evaluadas 5 líneas de triticale distribuidas en un ensayo de rendimiento (Tabla 38). Los ensayos de investigación se implementaron en el Lote B3 de la EESC del INIAP.

Tabla 38. Ensayo de rendimiento evaluados en la EESC, 2020.

Ensayos	Número de líneas evaluadas
ER1	5
Total	5

* ER1= Ensayo de Rendimiento 1

Las líneas evaluadas se implementaron en campo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones. La unidad experimental fue una

parcela de 3.6 m² (3 m x 1.2 m). Las variables evaluadas fueron: variables agronómicas (porcentaje de emergencia, vigor, hábito de crecimiento, días a la floración, altura de planta y tipo de paja), resistencia a enfermedades, rendimiento y parámetros de calidad. Los datos recopilados fueron analizados con el programa estadístico InfoStat versión Profesional 2019. Se realizaron los análisis DMS y análisis de varianza.

11.7.3.2. Incremento de semilla categoría básica y seleccionada

Parte del trabajo de un programa de mejoramiento es la multiplicación y purificación del germoplasma de todas las categorías con el objetivo de refrescar cada año la semilla, disponibilidad de semilla pura y en cantidades suficientes para trabajos posteriores, así como proveer semilla básica al Departamento de Producción de Semillas del INIAP.

11.7.4. Manejo de los ensayos

La densidad de siembra fue de 180 kg ha⁻¹. Al momento de la siembra se aplicó 150 kg ha⁻¹ de fertilizante compuesto (18-46-0) y 150 kg ha⁻¹ de Sulpomag, de acuerdo a análisis de suelo. Posteriormente al macollamiento se aplicó 150 kg ha⁻¹ de Urea y 15 g ha⁻¹ de Matancha® (Metsulfuron-metil) como herbicida. No se realizan aplicaciones de funguicidas para el control de enfermedades, ya que se evalúa la incidencia y severidad de las enfermedades.

11.7.5. Variables y métodos de evaluación

- **Rendimiento:** las parcelas fueron cosechadas a la madurez (180-190 días) y el rendimiento fue registrado en t ha⁻¹.
- **Peso hectolítrico:** esta variable representa el peso del grano en un volumen específico y se expresó en kg hl⁻¹ (kilogramos por hectómetro cúbico), para ello se utilizó una balanza de peso específico de cereales.
- **Tipo de grano:** el grano cosechado fue calificado de acuerdo a su forma, color, tamaño, uniformidad y daño. (Ponce-Molina et al., 2019)

11.7.6. Resultados:

11.7.6.1. Ensayo de rendimiento 1 (ER1 TCL)

En la Tabla 39, se observó diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,01$) para localidades en las variables rendimiento, peso hectolítrico y *P. graminis*; también se observó diferencias altamente significativas para líneas y para la interacción localidades por líneas en la variable peso hectolítrico. También se observó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) para líneas en *P. graminis*. Para el resto de los factores no se observó diferencias significativas. El promedio

general fue de 6,32 t ha⁻¹ para rendimiento, 69,17 kg hl⁻¹ para peso hectolítrico y valores entre 32,57 y 37,16% para reacción a enfermedades.

Los resultados obtenidos en forma general nos indicaron que en las variables evaluadas la mayor variabilidad hubo entre las localidades, y que dentro de cada localidad el comportamiento de las líneas fue similar, excepto, en las variables peso hectolítrico y *P. graminis*, que si existió diferencias entre variedades y localidades.

Tabla 39. ANOVA para rendimiento, peso hectolítrico y reacción a enfermedades en avena del Ensayo de Rendimiento (ER1) de triticale implementado en cuatro localidades, 2021.

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Cuadrados Medios			
		Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)	<i>P. coronata</i>	<i>P. graminis</i>
Total	59				
Repeticiones	2	0,04 n.s.	0,71 n.s.	3,03 n.s.	38,4 n.s.
Localidades (L)	3	72,7 **	116,34 **	13,33 n.s.	278,6 **
Repetición en Localidad	8	1,38	1,12	8,63	4,3
Líneas (V)	4	2,09 n.s.	13,5 **	0,87 n.s.	48,86 *
L x V	12	1,77 n.s.	4,04 **	2,33 n.s.	18,41 n.s.
Error	32	1,16	1,21	1,63	12,47
Promedio		6,32	69,17	1,13	4,87
CV (%)		17,03	1,59	37,16	32,57

¹Nivel de significancia 5%: (**) altamente significativo, (*) significativo, (n.s.) no significativo

Fuente: INIAP, 2021.

La prueba LSD al 5% para líneas en las cuatro localidades (Tabla), en la variable rendimiento de grano y peso hectolítrico se observó que todas las líneas presentan un rendimiento superior a 6 t ha⁻¹, superando al testigo que alcanzó 5,8 t ha⁻¹. En la variable peso hectolítrico sobresale la línea TCL-10-004, con un valor promedio de 71,0 kg hl⁻¹. En cuanto a severidad a enfermedades se observó que las líneas evaluadas son más resistentes comparadas con el testigo Triticale 2000 (Tabla 40).

Tabla 40. Promedios y prueba LSD al 5% para rendimiento, peso hectolítrico y severidad a enfermedades en avena. Ensayo de Rendimiento (ER1) de triticale implementado en cuatro localidades de la Sierra ecuatoriana, 2021.

Líneas	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso Hectolítrico (kg hl ⁻¹)		<i>P. coronata</i>	<i>P. graminis</i>
TCL-10-001	6,8	69,0	b	0,0	0,0
TCL-11-006	6,6	68,4	b	0,0	0,0
TCL-10-004	6,4	71,0	a	0,0	2,0

TCL-10-007	6,1	68,8	b	0,7	0,0
TRITICALE 2000	5,8	68,7	b	1,7	1,7

Con base a los resultados obtenidos de campo, se seleccionaron dos líneas de triticale: TCL-10-004 y TCL-10-001, por presentar alto rendimiento, peso hectolítrico y tolerancia a las enfermedades. Estas líneas formarán los ensayos de rendimiento y regionales de triticale en el año 2022.

11.7.6.2. Incremento de semilla con categoría Básica y Seleccionada.

Durante el ciclo 2020 en la EESC, se incrementó dos materiales de triticale, obteniéndose un total de 90 kg de semilla de categoría básica (Tabla 41).

Tabla 41. Incremento de variedades de triticale categoría Básica y seleccionada en la EESC, 2021.

N°	Variedad	Cantidad (kg)
1	INIAP-Triticale 2000	45
2	TCL-10-004	45
Total		90

11.7.7. Conclusiones:

El Programa de Cereales cuenta con 2 líneas promisorias de triticale seleccionadas por sus buenas características de rendimiento ($\geq 3 \text{ t ha}^{-1}$), resistencia a enfermedades y calidad, que servirá de base para la selección de líneas élites que podrán ser liberadas como futuras variedades mejoradas para los productores de cereales del Ecuador.

11.7.8. Recomendaciones:

Continuar con el proceso de mejoramiento y selección de materiales promisorios de triticale, que presentan características deseables: agronómicas, alto rendimiento y de calidad industrial. Las cuales servirán como fuente de diversidad para el Programa de Cereales y para los productores.

11.7.9. Referencias:

Belaid, A. (1994). Nutritive and economic value of triticale as a feed grain for poultry. CIMMYT.

Garófalo, J., Ponce, L. y Abad, G. (2011). Guía del cultivo de trigo.

Guerrero, A. (1992). Cultivos Herbáceos Extensivos, 5ta Edición, Ed. Mundi-Prensa, España.

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cereales. (2000). Información técnica de la variedad INIAP-Triticale 2000. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3278>

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cereales. (s. f.). Informe anual 1976. Farinología. (p. 23). INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/615>

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cereales. (1980). Información técnica de las variedades de triticale INIAP-Promesa e INIAP-Maná. INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3326>

Ponce-Molina, L., Garófalo, J., Campaña, D. y Noroña, P. (2019). Parámetros de evaluación y selección en cereales.

Tohver, M., Kann, A., Täht, R., Mihhalevski, A. and Hakman, J. (2005). Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in northern conditions. *Food Chemistry*, 89(1), 125–132.

Varughese, G., Barker, T. and Saari, E. (1987). *Triticale CIMMYT*. Mexico, DF, 32.

ANEXO 1. Publicaciones Técnicas

