

LA CEBADA (*Hordeum vulgare* L.):

GENERALIDADES Y VARIEDADES MEJORADAS PARA LA SIERRA ECUATORIANA

Manual No.116

Primera Edición

LA CEBADA (*Hordeum vulgare* L.): Generalidades y variedades mejoradas para la Sierra ecuatoriana

**Luis Ponce-Molina, Patricio Noroña, Diego Campaña, Javier Garófalo,
Jorge Coronel, Carlos Jiménez, Edwin Cruz.**



Manual No. 116

Primera Edición

LA CEBADA (*Hordeum vulgare* L.): Generalidades y variedades mejoradas para la Sierra ecuatoriana

Autores:

Luis Ponce-Molina^{1,2}, Patricio Noroña², Diego Campaña², Javier Garófalo², Jorge Coronel³, Carlos Jiménez⁴, Edwin Cruz⁵

¹**Responsable Programa de Mejoramiento de Cereales – INIAP**

²**Investigador Programa de Mejoramiento de Cereales – INIAP**

³**Investigador Programa de Mejoramiento de Cereales Austro-INIAP**

⁴**Investigador Programa de Producción de Semillas Austro– INIAP**

⁵**Investigador Programa de Producción de Semillas – INIAP**

Mayor información:

Programa de Mejoramiento de Cereales

Estación Experimental Santa Catalina-INIAP

Panamericana Sur Km 1

Tel.: +593 2 3006571

E-mail: cereales.eesc@iniap.gob.ec

Web: www.iniap.gob.ec

Quito – Ecuador

Febrero, 2020

Revisores Externos:

Dr. Kang Jin Cho, Director Centro KOPIA-Ecuador

Ing. Alicia Villavicencio, Técnico Centro KOPIA-Ecuador

Comité de Publicaciones:

Ing. Luis Rodríguez, Director Estación Experimental Santa Catalina-INIAP

Ing. José Velásquez, Departamento de Producción de Semillas-INIAP

Ing. Diego Peñaherrera, Unidad de Desarrollo Tecnológico-INIAP

Ing. José Ochoa, Departamento Nacional de Protección Vegetal-INIAP

CRÉDITOS

Edición de textos: Luis Ponce, Javier Garófalo, Diego Campaña y Patricio Noroña

Fotografías: Programa de Cereales, INIAP

Diseño, diagramación e impresión: Imprenta IdeaZ, 2900 191, Quito

ISBN ESCRITO: 978-9942-22-490-3

ISBN DIGITAL: 978-9942-22-491-0

CÓMO CITAR ESTA PUBLICACIÓN:

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.

Todos los derechos reservados:

Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización.

PRESENTACIÓN

Debido a la importancia del cultivo de cebada a nivel mundial, ya que es el cuarto cereal más cultivado en el mundo, es necesario conocer a fondo este cultivo iniciando desde su origen, centros de domesticación y distribución, taxonomía, morfología, desarrollo, usos, manejo, hasta su mejoramiento genético.

En Ecuador la cebada es uno de los principales cereales dentro de la canasta básica familiar de la Sierra; sin embargo, a través del tiempo, varios factores han incidido en la producción de este cultivo, entre ellos cabe mencionar, la falta de acceso a nuevas tecnologías, políticas agrícolas y el inadecuado manejo del cultivo.

Desde su creación en 1963 el Programa de Cereales de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP ha generado, desarrollado y entregado a los productores cebaderos del Ecuador, 14 variedades mejoradas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con características deseables de producción, resistencia a enfermedades y calidad, adaptadas a las zonas de producción ubicadas en las diez provincias de la Sierra: Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Loja.

Los autores, a través de esta publicación (primera edición), ponen a disposición de los técnicos, estudiantes, productores, personas naturales e instituciones públicas o privadas, información técnica concreta del cultivo de cebada y de las variedades mejoradas para el consumo directo y agroindustrial que el Programa de Cereales del INIAP ha liberado hasta la actualidad.

Esta publicación surge como una necesidad de difundir ampliamente el conocimiento, los trabajos y las tecnologías disponibles, que han sido generadas, evaluadas y seleccionadas en los últimos 60 años de vida del INIAP a través de la investigación agrícola en favor de la seguridad alimentaria del País.

ÍNDICE



I. INTRODUCCIÓN	5
1. Origen, historia y distribución	6
2. Taxonomía.....	7
3. Producción	9
3.1. Mundial.....	9
3.2. Región Andina.....	10
3.3. Ecuador	11
4. Principales usos de la cebada	12
4.1. Alimentación animal.....	13
4.2. Grano para consumo humano	13
4.3. Malteo	14
5. Morfología de la cebada	14
6. Crecimiento y desarrollo de la cebada	15
7. Tipos de cebada.....	19
7.1. Número de hileras.....	19
7.2. Cebada de invierno y primavera	20
7.3. Semillas no cubiertas o desnudas	20
7.4. Espigas con aristas y espigas sin aristas o místicas.....	20
7.5. Dureza del endospermo del grano de cebada	20
8. Manejo agronómico, breve descripción.....	21
8.1. Prácticas de siembra.....	21
8.2. Manejo de los nutrientes	21
8.3. Manejo de malezas	21
8.4. Principales enfermedades	22
8.5. Cosecha y almacenamiento.....	25
II. VARIEDADES MEJORADAS PARA LA SIERRA ECUATORIANA	26
1. Técnicas o métodos de mejoramiento más importantes para el cultivo de cebada.....	27
1.1 Adaptación.....	27
1.2 Introducción de Germoplasma.....	27
1.3 Hibridación o Cruzamientos.....	27
1.4 Mutaciones Inducidas	28
1.5 Doble Haploides	28
1.6 Selección	29
2. Variedades mejoradas de cebada generadas por INIAP	31
Álbum fotográfico de las variedades mejoradas de cebada	36
III. GLOSARIO	43
IV. LITERATURA CONSULTADA	50

I

INTRODUCCIÓN

La 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). Entre tanto, que la importancia social y económica de la cebada se basa en su uso diversificado como alimento para consumo humano (Grando & Gómez, 2005).

Durante 50 años a través del mejoramiento genético y manejo agronómico se han podido triplicar los rendimientos en cereales. La demanda mundial de alimentos para el año 2050 se duplicará y para cubrir estas necesidades se requiere aumentar la producción en una tasa de 2.4% anual. Esto es un desafío para los investigadores ya que la tasa de crecimiento poblacional actual es de 1,3% (Araus & Cairns, 2014).

El INIAP, dentro de sus objetivos institucionales, prioriza la generación de tecnologías que contribuyan a garantizar la seguridad alimentaria de productores y consumidores del Ecuador. Por ello, el Instituto ha enfocado sus esfuerzos en la generación de variedades mejoradas que presenten precocidad, resistencia a enfermedades, calidad y alto rendimiento.

Anualmente el Programa de Cereales del INIAP, evalúa entre 500 a 1000 nuevos materiales de cebada en busca de germoplasma con características superiores, que cubran las necesidades tanto de los productores como de los consumidores de Ecuador, este proceso de mejoramiento genético es continuo y constante.



1. Origen, historia y distribución natural de la cebada

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es uno de los cultivos fundadores de la agricultura del viejo mundo. Varios sitios con restos arqueológicos de granos de cebada fueron encontrados en la región del Creciente Fértil, Mesopotamia, indicando que el cultivo fue domesticado alrededor del año 8000 A.C. La cebada probablemente es el grano cultivado más antiguo, su larga historia de desarrollo combinado con su difusión de más de un centro de origen o de diversidad ha llevado al desarrollo de una gama ecológica de extraordinaria amplitud, creciendo tanto dentro del círculo polar ártico en Finlandia, en la India tropical a una altura de 500 m.s.n.m. y en los Andes ecuatorianos por encima de 3000 m.s.n.m. (Zohary & Hopf, 1993).

El antepasado inmediato de la cebada cultivada es todavía abundante en la naturaleza. Fue descubierto en Turquía por el botánico alemán Carl Koch que la describe como una especie separada, *Hordeum spontaneum*; basado en varios criterios, ésta forma progenitora hoy en día se considera como una subespecie (ssp. *spontaneum* (C. Koch) Thell.) dentro de la misma especie mayor, *H. vulgare* L., como cebada cultivada (ssp. *vulgare*) (Bothmer, 2003). Las principales diferencias entre la cebada silvestre y domesticada son la formación de un raquis no quebradizo, incremento del peso del grano, apareamiento de espigas de seis hileras y plantas con grano desnudo en la forma domesticada.

El centro de origen de ssp. *spontaneum* es el sudeste asiático, particularmente en el Medio Oriente. La distribución natural incluye el Este del Mediterráneo (Grecia Oriental y Turquía), el área de Cyrenaica de Libia y Egipto. Este taxón se extiende hacia el Este hasta Afganistán, Turkmenistán y Pakistán Occidental (Giles & Bothmer, 1985; Zohary & Hopf, 1993). En estudios realizados por Molina-Cano et al. (1999), se sugiere que la domesticación de la cebada ocurrió también fuera del área del Creciente Fértil, particularmente en Marruecos.



Existen desacuerdos sobre el origen de las cebadas cultivadas, particularmente sobre si las cebadas de seis hileras y de dos hileras se originaron por separado, o vinieron de una población común. El punto de vista más aceptado ampliamente es un origen único, de dos hileras *Hordeum vulgare* ssp. *Spontaneum* (Parry & Parry, 1993).

2. Taxonomía

La clasificación completa de la cebada, *Hordeum vulgare* L., según Stein et al. (2013) es como se describe a continuación:

Reino:	Plantae - Plantas
Subreino:	Tracheobionta – Plantas vasculares
Superdivisión:	Spermatophyta – Plantas con semilla
División:	Magnoliophyta – Plantas que florecen
Clase:	Liliopsida - Monocotiledoneas
Subclase:	Commelinidae
Orden:	Cyperales
Familia:	Poaceae – Familia de las gramíneas
Género:	<i>Hordeum</i> – Cebada
Especie:	<i>vulgare</i> L. – Cebada común
Nombre Científico:	<i>Hordeum vulgare</i> L.
Nombre Común:	Cebada

Actualmente se acepta por unanimidad la denominación *Hordeum vulgare* L. Algunas variedades han recibido varios nombres diferentes, sin embargo, todos ellos son reconocidos como sinónimos: *Hordeum aegiceras* Nees ex Royle, *Hordeum distichon* L., *Hordeum hexastichon* L., *Hordeum hexastichum* L., *Hordeum irregulare* Aberg & Wiebe, *Hordeum sativum* Pers., *Hordeum vulgare* var. *trifurcatum* (Schlecht.) Alef (GRAMENE, 2019).

La cebada, *Hordeum vulgare* L., se encuentra en el género *Hordeum*, con 32 especies y 45 taxones (Tabla 1). Muchas de las especies de la cebada cultivada son diploides ($2n = 2x = 14$), aunque se conocen algunos tetraploides ($2n = 4x = 28$) y hexaploides ($2n = 6x = 42$). Además, dos especies muestran autopoloidia, *H. bulbosum* y *H. brevisubulatum* (Bothmer, 2003).

Tabla 1. Taxonomía del género *Hordeum*, número de cromosomas, tipo de cultivo y área de distribución.

Especies	Subespecies	2n	Tipo Cultivo*	Distribución**
<i>H. vulgare</i> L.	2	14	A	E Mediterráneo
<i>H. bulbosum</i> L.		14, 28	P	Mediterráneo
<i>H. murinum</i> L.	3	14,28,42	A	Europa, Mediterráneo y Afghanistan
<i>H. pusillum</i> Nutt.		14	A	Estados Unidos, N México y S Canadá
<i>H. intercedens</i> Nevski		14	A	SO California y N México
<i>H. euclaston</i> Steud		14	A	C Argentina, Uruguay y S Brasil
<i>H. flexuosum</i> Steud.		14	A/P	Argentina y Uruguay
<i>H. muticum</i> Presl		14	P	O Sur America
<i>H. chilense</i> Roem. & Schult.		14	P	C Chile y O Argentina
<i>H. cordobense</i> Bothm. et al.		14	P	Argentina
<i>H. stenostachys</i> Godr.		14	P	Argentina, Uruguay y S Brasil
<i>H. pubiflorum</i> Hook. f.	2	14	P	W Argentina, Chile, Bolivia, Perú
<i>H. comosum</i> Presl		14	P	Chile and W Argentina
<i>H. jubatum</i> L.		28	P	W North América y E Rusia
<i>H. arizonicum</i> Covas		42	A/P	S Estados Unidos y N México
<i>H. procerum</i> Nevski		42	P	C Argentina
<i>H. lechleri</i> (Steud.) Schenk		42	P	Chile y Argentina
<i>H. marinum</i> Huds.	2	14, 28	A	Mediterráneo a Afghanistan
<i>H. secalinum</i> Schreb.		28	P	O Europa y N África
<i>H. capense</i> Thunb.		28	P	Sudafrica y Lesotho
<i>H. bogdani</i> Wil.		14	P	C Asia
<i>H. roshevitzii</i> Bowd.		14	P	S Siberia, Mongolia y N China
<i>H. brevisubulatum</i> (Trin.) Link	5	14,28,42	P	Asia
<i>H. brachyantherum</i> Nevski	2	14,28,42	P	O Norte América y Kamchatka
<i>H. depressum</i> (Scribn. & Sm.) Rydb.		28	A	O Estados Unidos
<i>H. guatemalense</i> Bothm. et al.		28	P	N Guatemala
<i>H. erectifolium</i> Bothm. et al.		14	P	C Argentina
<i>H. tetraploidum</i> Covas		28	P	S Argentina
<i>H. fuegianum</i> Bothm. et al.		28	P	S Argentina y S Chile
<i>H. parodii</i> Covas		42	P	S Argentina y S Chile
<i>H. patagonicum</i> (Haum.) Covas	5	14	P	S Argentina y S Chile

* A= anual; P= perenne; A/P= anual o algo perenne

** N= norte; S= sur; E= este; O= oeste; C= centro

Fuente: Adaptado de Bothmer (2003)

3. Producción

3.1. Mundial

La cebada es el cuarto cereal cultivado en el mundo, después del trigo, arroz y maíz (Tabla 2); el promedio cosechado entre los años 2010-2017, es superior a 48 millones de hectáreas.

Tabla 2. Área cosechada a nivel mundial de cereales, promedio años 2010-2017.

Cultivo	ha (millones)
Trigo	219'390000
Maíz	183'845000
Arroz	163'912000
Cebada	48'575000

Fuente: FAOSTAT, 2019

La producción de cebada a nivel mundial es un tema cultural más que económico, debido a su importancia en la alimentación, así como en las bebidas de malta (Tabla 3). En la actualidad la Unión Europea es el mayor exportador de cebada y malta. Arabia Saudita, Japón y China son los mayores importadores de cebada del mundo, utilizándola para la alimentación y para la producción de piensos (US Grain Council, 2019).

Tabla 3. Área cosechada (ha) y rendimiento (t) de grano de cebada, a nivel mundial. Promedio años 2010-2017.

Región	ha	t
Mundo	48'570000	139'684000
Africa	4'650000	6'391000
Este	1'076000	2'083000
Media	1000	1000
Norte	3'485000	4'009000
Sur	87000	296000
Oeste	1000	1000
América	5'307000	18'052000
Norte	3'472000	12'343000
Central	303000	794000
Sur	1'532000	4'915000

Asia	10'443000	20'446000
Asia Central	2'124000	3'042000
Este de Asia	579000	2'011000
Sur de Asia	2'655000	5'162000
Sureste de Asia	12000	26000
Oeste de Asia	5'073000	10'204000
Europa	24'075000	85'430000
Este de Europa	13'911000	35'926000
Norte de Europa	3'260000	16'751000
Sur de Europa	3'332000	9'797000
Oeste de Europa	3'572000	22'956000
Oceanía	4'095000	9'363000
Australia y Nueva Zelanda	4'095000	9'363000

Fuente: FAOSTAT, 2019

3.2. Región Andina

La producción de cebada para alimentación, ha jugado hasta la actualidad un rol muy importante en regiones montañosas de Asia, Africa y Tibet, pero también en la región andina de América del Sur. Donde, vestigios históricos demuestran la gran importancia de este cereal en la alimentación de sus habitantes (Slafer et al., 2002).

La región andina comprende los países de Ecuador, Bolivia, Chile, Perú y Colombia, donde la producción de cebada se realiza en pequeñas superficies agrícolas, en condiciones marginales y con poca aplicación de tecnología (Tabla 4). En esta región la cebada se ha adaptado a altitudes cercanas a los 4000 m.s.n.m., que se caracterizan por ser zonas de baja precipitación, con suelos salinos y con toxicidad de aluminio. El principal uso de la cebada es para el consumo humano, así como el uso directo de pastoreo de pequeños rumiantes, la producción de heno y el ensilaje. En Chile, adicionalmente se la usa para la producción de malta (Grando & Gómez, 2005).

Tabla 4. Área cosechada (ha) y cantidad producida (t) de grano de cebada, en la Región Andina. Promedio años 2010-2017.

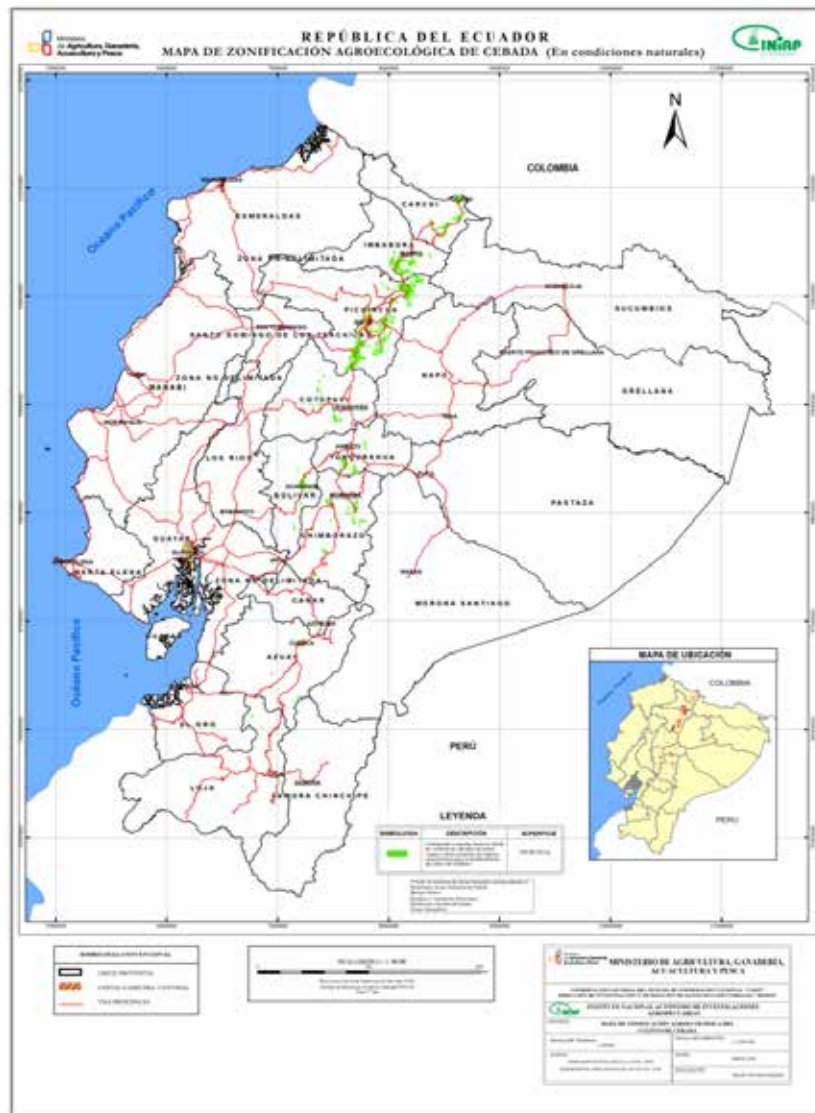
País	ha (miles)	t (miles)
Bolivia	55700	48120
Colombia	4960	10390
Chile	15170	88900
Ecuador	19500	17230
Perú	146610	214670
TOTAL	241940	379310

Fuente: FAOSTAT, 2019

La cebada (*Hordeum vulgare* L.), el trigo (*Triticum aestivum* L.), y la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) son los cereales que mayoritariamente se cultivan en el altiplano andino y son muy importantes para la seguridad alimentaria de las familias campesinas, ya que son productos utilizados para cubrir sus necesidades alimentarias, y que, además, constituyen una fuente de ingresos, al vender la producción excedente (INIA, 2010).

3.3. Ecuador

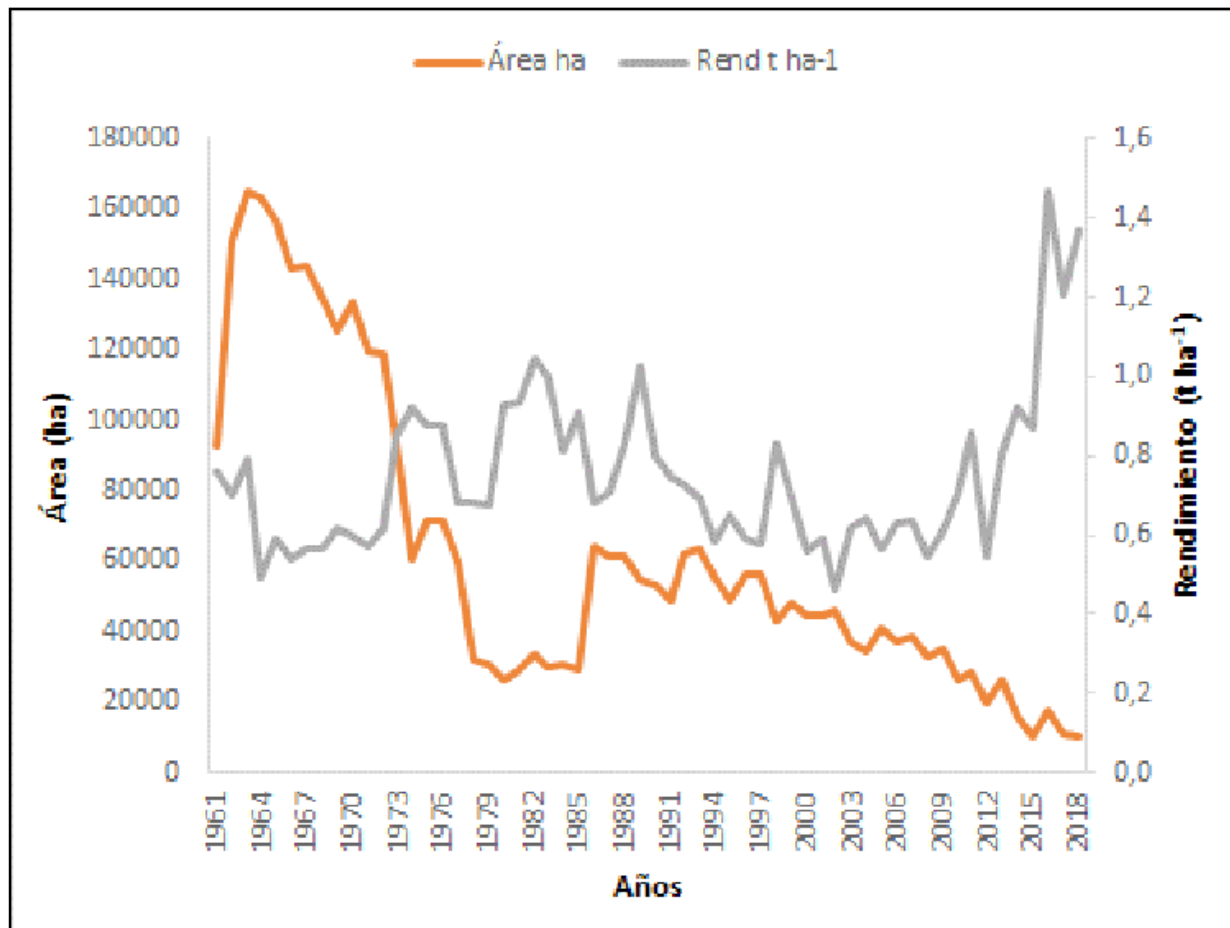
La cebada es después del maíz, el cereal de más amplia distribución en la Sierra ecuatoriana y se ha difundido ampliamente en el callejón Interandino entre los 2400 y 3500 m.s.n.m. (Falconí et al., 2013). El área potencial sin limitaciones ecológicas alcanza las 150 mil hectáreas y con ciertas limitaciones ecológicas unas 50 mil hectáreas, dándonos un total de 200 mil hectáreas potenciales para su cultivo. En el Ecuador, según las estadísticas del INEC-ESPAC, en el año 2018, la superficie dedicada al cultivo de cebada fue 10124 hectáreas con una producción anual de 13674 toneladas, mientras que las importaciones superan las 66 mil toneladas por año. El cultivo se encuentra distribuido en todas las provincias de la Sierra (Gráfico 1).



Fuente: MAGAP e INIAP, 2019

Gráfico 1. Zonas agroecológicas para el cultivo de cebada en la Sierra ecuatoriana.

Las provincias con mayor área sembrada son: Cotopaxi (2640 ha), Carchi (2419 ha), Pichincha (1197 ha) e Imbabura (976 ha) (INEC-ESPAC, 2018). El Ecuador, en la actualidad, presenta un rendimiento de grano por superficie cosechada de 1,3 t ha⁻¹ y un área cultivada que apenas supera las 10000 ha (Gráfico 2); mientras que los diez países con mayor rendimiento presentan un promedio superior a las 6 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2019).



Fuente: FAOSTAT, 2019; INEC-ESPAC 2019.

Gráfico 2. Área cosechada y rendimiento por hectárea histórico de la cebada en Ecuador, años 1961-2018.

4. Principales usos de la cebada

La cebada se cultiva para muchos propósitos, pero en su mayoría se la utiliza para pienso y malteado; y en menores cantidades como alimento humano y semilla. Las cebadas de alto valor proteico son generalmente utilizadas en alimentación, y la cebada con alto contenido de almidón y bajo contenido proteico para maltería. Las variedades y prácticas culturales utilizadas en la producción de cebada a menudo difieren según el uso final del grano de cebada (Robertson & Wesenberg, 2003; GRAMENE, 2019).

4.1. Alimentación animal

Producir cebada para la alimentación animal es un enfoque importante, que actualmente es el principal motivo para su producción. Esta tendencia se relaciona con el importante decrecimiento de la producción de cebada como alimento humano (Slafer et al., 2002).

La cebada como parte de la alimentación animal sirve principalmente como fuente de carbohidratos y proteína, siendo la porción de carbohidratos mayor que la de proteína. El contenido de proteína varía entre el 10 al 15 por ciento. Cebadas de alto contenido proteico son las más utilizadas para la alimentación animal. Con este cereal se puede formar rollos, harinas y copos o peleteado. Los subproductos del malteado y elaboración de la cerveza también se utilizan en la producción de alimentos balanceados. La cebada también se la utiliza para pastoreo, corte, heno, forraje y como cama (GRAMENE, 2019).

4.2. Grano para consumo humano

Durante el auge de la agricultura en el Viejo Mundo, la cebada se cultivaba junto al trigo einkorn y emmer para proporcionar alimentos básicos para la alimentación humana. Evidencias del lugar que ocupaba la cebada en la dieta humana en el inicio de la agricultura se fortalecen con la temprana aparición de la cebada desnuda. Una preferencia temprana del trigo sobre la cebada se correlaciona con la transición a hornear y comer el pan, basado en la falta de gluten entre las proteínas almacenadas en los granos de cebada. Aunque el pan de cebada se menciona en la literatura antigua (algunas mezclas aditivas probablemente ocurrieron con frecuencia en la panificación antigua), los usos alimenticios de cebada están más relacionados con platos de sopa y coladas, los cuales han sobrevivido junto con el cultivo de la cebada desnuda hasta nuestros tiempos (Slafer et al., 2002).

En la región asiática, la cebada es utilizada mayormente en la dieta humana y se prefiere la cebada desnuda. En Japón un tipo especial de cebada semi-enana llamado “Uziu” que produce un grano más pequeño, es usado para cocinar junto con el arroz (Bothmer, 2003).

En Ecuador, la cebada se la utiliza principalmente para la alimentación humana, como: machica (harina de cebada tostada) y arroz de cebada (cebada perlada partida), que son los productos más demandados y juntos representan 88,3% del consumo de grano de cebada total (Grando & Gómez, 2005).

La cebada, como grano, no es considerada por los seres humanos tan apetecible como otros granos, pero se la utiliza en muchos alimentos que comemos. Antes de los 1500's la harina de cebada era el principal ingrediente para el pan. La mayoría de la cebada usada para alimentación es perlada o hecha harina.

Cebada perlada: El perlado es un pulido abrasivo que elimina la cáscara externa y parte de la capa de salvado de los granos. Después de perlado el grano se lo puede utilizar en sopa, salsas, cereales, alimentos infantiles o molido en harina. Antes de ser utilizada para el consumo humano, la cebada debe pasar 3-4 perlados (GRAMENE, 2019).

Harina: La harina de cebada puede ser obtenida como un subproducto del perlado, o moliendo el grano directamente. La harina de mejor calidad viene de la molienda de cebada perlada. Debido al bajo gluten, la harina de cebada se mezcla generalmente con 10-25% de harina de trigo para hornear. La harina de cebada se utiliza en panes, alimentos infantiles, cereales para el desayuno y para hornear (GRAMENE, 2019).

Otros usos: La cebada tostada se considera una alternativa saludable al café. La cebada también se utiliza en la producción de algunos vinagres (GRAMENE, 2019). En Ecuador se utiliza para hacer una bebida refrescante llamada “Chicha”, mientras que en Corea del Sur hacen Té de cebada.

4.3. Malteo

El segundo uso más importante de la cebada es para malta. En los Estados Unidos y Europa hay precios preferenciales para cebada cervecera. La malta es utilizada para producir cerveza, agua destilada, alcohol, jarabe de malta, leche malteada, saborizantes y alimentos para el desayuno. La cebada cervecera es de alta calidad, y frecuentemente también es utilizada para alimentación animal y nutrición humana (Canal, 2012).

En general, pero especialmente en Europa, bajo contenido de proteínas es uno de los caracteres más buscados después de los de calidad. La cebada para alimentación y para malta tienen requerimientos antagónicos para contenido de proteína, por lo que las variedades de doble propósito son escasas (GRAMENE, 2019).

Variedades de dos hileras y seis hileras se utilizan para maltería. Las variedades de seis hileras son más comunes en América del norte, y las de dos filas están más extendidas en Europa. Diferencias en el malteado, así como en las prácticas de elaboración, y en preferencias de los consumidores difieren en todo el mundo, y por lo tanto deben utilizarse diferentes tipos de variedades en cada región, según estas preferencias (GRAMENE, 2019).

En Ecuador durante los últimos años ha tomado gran importancia la elaboración y consumo de cervezas artesanales, las cuales tienen características específicas según la técnica de preparación y la variedad que se utiliza; por lo que en la actualidad se ha empezado a cultivar cebadas con características malteras.

5. Morfología de la cebada

La cebada es una planta de hojas estrechas y color verde claro. Se estima que un 60% del peso de las raíces se encuentra en los primeros 25 cm del suelo. El tallo es de porte bajo. Las flores tienen tres estambres y un pistilo de dos estigmas. Es planta autógama. El fruto es un cariósipide, con las glumillas adheridas, salvo en el caso de la cebada desnuda. Las principales características morfológicas de la cebada se presentan a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5. Características morfológicas de la cebada (Gómez-Macpherson, 2000; Guerrero, 1999; Molina-Cano, 1989)

Grano. - el grano es una cariósipide oval, acanalado con extremos redondeados, está generalmente cubierto por la palea y la lemma adheridas a este, o puede ser desnudo; puede ser de color blanco, amarillo, azul, negro, etc.



Espigas. - Las espigas pueden ser barbadas, sin barbas (múticas) y también pueden ser lisas o dentadas. La espiga está formada por espiguillas, las cuales están dispuestas de a tres en forma alterna a ambos lados del raquis. Si todas las espiguillas se presentan fértiles se originará una espiga de seis hileras (hexástica), si, sólo resultan fértiles las espiguillas centrales, se originará una espiga de dos hileras (dística).



Hojas. - las hojas son lineales, lanceoladas y compuestas de una vaina, una lámina, una lígula y dos aurículas. Son glabras (no pubescentes) y rara vez pubescentes; su ancho varía entre 5 y 15 mm.



Las vainas envuelven el tallo completamente. La lígula y especialmente las aurículas, distinguen a la cebada de otros granos de cereales: son glabras, envuelven el tallo y puede estar pigmentada con antocianinas.

Tallos. - son erectos y huecos, con 5 a 7 entrenudos cilíndricos o juntas, separados por los nudos, que llevan las hojas, las cuales se colocan opuestas a sus vecinas a lo largo del tallo.



La altura de los tallos depende de las variedades y oscila desde 0,50 cm a 1,20 cm.

Raíces. - el sistema radicular es fasciculado, fibroso y alcanza una profundidad de hasta 1,20 m.

Posee dos tipos de raíces: seminales y adventicias. Las raíces seminales de las plántulas se desarrollan desde la germinación a la etapa de macollaje. Las raíces adventicias o de la corona, aparecen con el macollamiento y cumplen con la función de anclar la planta y proporcionar agua y nutrientes.



6. Crecimiento y desarrollo de la cebada

El ciclo de crecimiento de la cebada tiene las siguientes etapas: germinación, establecimiento de plántulas, producción de hojas, macollamiento, elongación del tallo, polinización y desarrollo del grano y madurez (Tabla 6). La escala de Zadocks es la más utilizada en la actualidad para describir las etapas de desarrollo de los cereales.

Tabla 6. Estados de desarrollo de los Cereales según Zadoks, Feekes, y Haun.

Escala Zadocks	Escala Feekes	Escala Haun	Descripción
			Germinación
00			Semilla seca
01			Empieza la imbibición
03			Imbibición completa
05			Emerge la radícula
07			Emerge el coleóptilo
09		0.0	
			Crecimiento de la Plántula
10	1		1ra hoja a través del coleóptilo
11		1.+	1ra hoja desarrollada
12		1.+	2da hoja desarrollada
13		2.+	3ra hoja desarrollada
14		3.+	4ta hoja desarrollada
15		4.+	5ta hoja desarrollada
16		5.+	6ta hoja desarrollada
17		6.+	7ma hoja desarrollada
18		7.+	8va hoja desarrollada
19			9na y más hojas desarrolladas
			Macollamiento
20			Tallo principal solo
21	2		Tallo principal y 1 macollo
22			Tallo principal y 2 macollos
23			Tallo principal y 3 macollos
24			Tallo principal y 4 macollos
25			Tallo principal y 5 macollos
26	3		Tallo principal y 6 macollos
27			Tallo principal y 7 macollos
28			Tallo principal y 8 macollos
29			Tallo principal y 9 o más macollos
			Elongación del Tallo
30	4-5		Pseudo tallo erecto
31	6		1er nudo detectable
32	7		2do nudo detectable
33			3er nudo detectable
34			4to nudo detectable
35			5to nudo detectable
36			6to nudo detectable
37	8		Hoja bandera apenas visible
39	9		Lígula hoja bandera apenas visible

Escala Zadocks	Escala Feekes	Escala Haun	Descripción
			Embuchamiento
40			--
41		8-9	Vaina hoja bandera extendida
45	10	9.2	Embuche apenas visible
47			Vaina hoja bandera abierta
49		10.1	Primeras aristas visibles
			Emergencia de la Inflorescencia
50	10.1	10.2	Primeras espiguillas visibles
53	10.2		¼ de la inflorescencia emergida
55	10.3	10.5	½ de la inflorescencia emergida
57	10.4	10.7	¾ de la inflorescencia emergida
59	10.5	11.0	Emergencia completa de la inflorescencia
			Antesis
60	10.51	11.4	Inicio de la antesis
65		11.5	Antesis a medio camino
69		11.6	Antesis completa
			Desarrollo Grano Lechoso
70			--
71	10.54	12.1	Grano acuoso
73		13	Inicio de lechoso
75	11.1		Medio de lechoso
77			Lechoso tardío
			Desarrollo Grano Masoso
80			--
83		14.0	Masa temprana
85	11.2		Masa suave
87		15.0	Masa dura
			Maduración
90			--
91			Grano duro (difícil de dividir con la uña)
92			Grano duro (no puede ser marcado por la uña)
93			El grano se desprende en el día
94			Sobremaduración, el tallo muere y colapsa
95			Dormancia Semilla
96			Semilla viable con 50% germinación
97			Semilla sin dormancia
98			Segunda dormancia inducida
99			Perdida de la segunda dormancia

Germinación (Z00-Z09): La emergencia se producirá entre los 5 a 10 días según la temperatura y humedad del suelo (Rasmusson, 1985). La temperatura mínima para la germinación de la cebada es 1 a 2 grados centígrados. Después de que la semilla absorbe humedad, emerge la raíz primaria (radícula). La radícula crece hacia abajo, proporcionando anclaje y absorción de agua y nutrientes y eventualmente desarrolla ramificaciones laterales. En conjunto las raíces formadas a nivel de la semilla forman el sistema radicular seminal. Estas raíces se convierten en altamente ramificadas y permanecen activas durante la temporada de crecimiento. Después de que la radícula emerge de la semilla, sale el primer brote principal de hojas que está dentro del coleóptilo (una vaina de la hoja que encierra la planta embrionaria), el cual sirve como protección al penetrar el suelo. Por lo tanto, la profundidad de siembra no debe exceder la longitud que puede crecer el coleóptilo, generalmente no más de 7,5 cm (Anderson et al, 1995).

Establecimiento de la plántula y producción de hojas (Z10-Z19): Una vez que la plántula ha emergido, el coleóptilo deja de alargarse y aparece la primera hoja verdadera. Las hojas aparecen cada 3 a 5 días dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales. De ocho o nueve hojas normalmente se forman en el tallo principal, en variedades con maduración tardía generalmente se forman más hojas (Anderson et al., 1995).

Macollamiento o formación de tallos (Z20-Z29): Cuando la plántula tiene tres hojas, los tallos generalmente comienzan a emerger. La capacidad de macollar de las plantas de cebada es un método importante de adaptación al cambio climático. Cuando las condiciones ambientales son favorables o si se reduce la densidad de plantas, es posible una compensación mediante la producción de más tallos. Bajo condiciones culturales normales, los macollos emergen durante un lapso de 2 semanas, alcanzando el número total dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales. Una siembra profunda y alta densidad de siembra generalmente disminuyen del número de macollos formado por planta. Puede haber más macollos formados si las temperaturas son bajas, cuando la población de plantas es baja, o cuando el nivel de nitrógeno del suelo es alto. Algunos macollos forman raíces, contribuyendo al sistema de la raíz nodal. Aproximadamente cuatro semanas después de la emergencia del cultivo, algunos de los macollos previamente formados comienzan a morir sin formar una espiga. La medida a la que se produce esta muerte prematura varía dependiendo de las condiciones ambientales y de la variedad. Bajo condiciones de crecimiento pobre o estrés, las plantas responden formando menor cantidad de macollos o mostrando muerte prematura de los tallos (Anderson et al., 1995).

Por lo tanto, el número de macollos por planta es influenciado por la densidad y la genética del cultivar, así como también por los factores ambientales (Rasmusson, 1985).

Elongación del tallo o encañado (Z30-Z39) y espigamiento (Z40-Z59): El encañado inicia con la aparición del primer nudo, determinándose antes de su presencia sobre la superficie del suelo. En ese momento es posible visualizar la futura espiga, la cual se encuentra justo sobre dicho nudo, presentando un tamaño de aproximadamente 5 mm. De ahí en adelante se produce un rápido crecimiento de los tallos, los cuales, durante la etapa de encañado, van estructurándose con base en la formación de nuevos nudos y entrenudos. La espiga también comienza a crecer rápidamente,

aunque todavía es demasiado pequeña para detectarse fácilmente a través de las vainas de las hojas circundantes. Al finalizar la etapa de encañado, la espiga se hace prominente dentro de la vaina de la hoja bandera, etapa conocida como “embuche o embuchamiento” (Arellano, 2010).

El espigamiento se caracteriza por la emergencia de las aristas y por la presencia de las espiguillas primordiales (Rasmusson, 1985).

Polinización (Z60-Z69): La polinización en la cebada ocurre generalmente justo antes o durante la aparición de la espiga en el embuchamiento. La polinización comienza en la porción central de la espiga y avanza hacia la punta y la base. La flor se abre por 100 minutos, pero la extrusión de las anteras y su dehiscencia es de solamente 10 minutos; la floración se completa en dos días (Arellano, 2010).

Puesto que la formación de polen es sensible al estrés, déficit de agua y altas temperaturas, en esta etapa, puede disminuir el número de granos que se forman y puede reducir los rendimientos (Anderson et al., 1995).

Desarrollo del grano y maduración (Z70-Z99): Una vez que la espiga emerge y la polinización ocurre, los granos empiezan a desarrollarse. La longitud del grano de cebada se establece en primer lugar, seguido por su anchura. Esto ayuda a explicar por qué un grano de cebada desarrollado bajo condiciones de estrés es generalmente tan largo como un grano normal, pero es más estrecho o delgado. El primer período de desarrollo del grano, señalado como etapa “lechosa”, dura unos 10 días. Aunque los granos no engordan mucho durante esta fase, es muy importante porque determina el número de células que posteriormente se utilizará para el almacenamiento de almidón. Los granos que almacenan almidón y crecen rápidamente se caracterizan por una consistencia semi-sólida blanca llamada “pasta blanda”. Este periodo generalmente dura unos 10 días después de la etapa lechosa. Por último, cuando se acerca la madurez el grano comienza a perder agua rápidamente, su consistencia se vuelve más sólida, denominada “pasta dura o masa”; aquí es cuando el núcleo también pierde su color verde (Anderson et al., 1995).

La acumulación de carbohidratos, proteínas y el llenado del grano de cebada se completa en 30 días después de la antesis (Arellano, 2010).

Cuando la humedad del núcleo ha disminuido alrededor de 30 a 40%, ha alcanzado la madurez fisiológica y no se acumula más materia seca. El potencial de rendimiento final se ha establecido en este momento. Un indicador de campo que identifica la madurez fisiológica es el 100 por ciento de pérdida de color verde de las glumas y el pedúnculo. Aunque el contenido de humedad del grano sigue siendo demasiado alto para usar una máquina cosechadora, se puede cosechar y emparvar. Cuando la humedad del grano ha disminuido de 13 a 14 por ciento, el grano de la cebada está listo para la cosecha y la trilla (Fotografía 1) (Anderson et al., 1995).



Fuente: Programa de Cereales, INIAP.

Fotografía 1. Espigas de cebada en madurez de campo y en estado masoso.

7. Tipos de cebada

Los diferentes tipos de cebada se dan por los caracteres intrínsecos y extrínsecos que están determinando su diversidad, así:

7.1. Número de hileras

Hay dos tipos principales de cebada, de dos y seis hileras; dependiendo del desarrollo de los tripletes (tres espiguillas de flores, una en cada nodo del raquis). Las dos florecillas laterales son pedunculadas, y pueden ser estériles (como en la cebada de dos filas) o fértiles (como en la cebada de seis hileras). El número de hileras es controlado básicamente por el gen *vrs1* (Tanno et al., 2002), y las seis hileras es recesivo a dos hileras. El desarrollo de granos laterales también es controlado por el gen *int-c* (*intermedium spike-c*), que regula el tamaño de las espiguillas laterales (Bothmer, 2003). Los mejoradores son reacios a cruzar las cebadas con diferente número de hileras, debido a la laboriosa tarea de limpieza de la progenie hasta que se recuperan los tipos de dos o seis hileras. Debido a esto, los grupos de germoplasma de dos hileras y seis hileras se manejan independientes, y se asume que esta característica es una de las mayores divisiones de la diversidad genética de la cebada.

7.2. Cebada de invierno y primavera

Los cereales de grano pequeño se dividen en dos tipos, conocidos como: variedades de “invierno” y de “primavera”. Se considera como tipos de invierno, a los genotipos que requieren acumulación de horas frío (generalmente se cultivan en países de cuatro estaciones); mientras que los tipos de primavera son los que no requieren vernalización (generalmente se cultivan en países de dos estaciones como Ecuador) (Igartua et al., 2008).

7.3. Semillas no cubiertas o desnudas

Otra clara distinción en el germoplasma de cebada se basa en la cubierta de las semillas. A diferencia de otros cereales, las glumas de la cebada están fundidas o pegadas a la semilla, pero existen pocas variedades domesticadas que tienen semillas desnudas debido a la presencia en el *Cromosoma 1* de un alelo recesivo de gen *Cariópside desnudo* (Salamini, 2002). El grano desnudo o no cubierto es un carácter recesivo del grano cubierto, es un tipo silvestre.

La cebada desnuda se distribuye ampliamente en el mundo, pero hay una preferencia mayor por las cebadas desnudas en Asia oriental, especialmente en el Tíbet y al norte de Nepal, India y Pakistán (Bothmer, 2003). En el Ecuador también existe demanda de este tipo de grano, pero su producción es muy baja.

7.4. Espigas con aristas y espigas sin aristas o místicas

La diversidad morfológica de las espigas de cebada es el resultado de la combinación de genes vinculados a la fertilidad de las espiguillas, y el gen de no formación de aristas *Lks1* está estrechamente ligado con el gen *vrs1* que determina el número de hileras en la espiga (Takahashi & Hayashi, 1987). En algunas regiones de América del Sur, los tipos místicos se prefieren para el pastoreo y para hacer heno, porque estos tipos no lastiman la boca del ganado, mejorando la palatabilidad.

7.5. Dureza del endospermo del grano de cebada

La dureza del endospermo es un carácter que puede ser influenciado por factores genéticos y de manejo del cultivo, sobre todo un exceso de fertilización nitrogenada produce un alto contenido de proteína. Con base en la dureza del endospermo, los granos de cebada se pueden clasificar como:

Harinosos	<1/4 del endospermo es vítreo
Semivítreo	>1/4 and < 3/4 del endospermo es vítreo
Vítreo	>3/4 del endospermo es vítreo y duro

Esta información se basa en el índice de producción de harina, que califica la calidad comercial por la consistencia del endospermo. Los valores estándar de producción de harina de calidad comercial son: 85% granos harinosos; 10% semivítreos; y 5% vítreos (Grando & Gómez, 2005).

8. Manejo agronómico, breve descripción

8.1. Prácticas de siembra:

Preparación del suelo

Las condiciones deseables para la producción de cebada es un suelo que promueve la rápida germinación, emergencia uniforme y pronto establecimiento. Un suelo moderadamente fino pero firme que maximice el contacto entre la semilla y el suelo húmedo, garantiza una germinación rápida y uniforme. La sobrecarga de trabajo o exceso de laboreo en el terreno, consume la humedad del suelo superficial y promueve la formación de costras del suelo.

Época de siembra

La cebada que se cultiva en Ecuador, requiere una temperatura del suelo como mínima de 4 °C y como óptima entre 12 y 24°C, para los procesos de germinación. La época óptima de siembra varía por localidad y por año. En Ecuador las épocas de siembra son al inicio de la época lluviosa o invernal en cada localidad, estimando que la época de cosecha coincida con la época seca.

Densidad de siembra

La cebada es sembrada a densidades de 135 a 180 kilogramos por hectárea empleando semillas de calidad. La densidad puede variar dependiendo del porcentaje de germinación.

Profundidad de siembra

Una buena germinación y emergencia de la semilla de cebada ocurre cuando la profundidad de siembra es de 2,5 a 4,0 centímetros.

8.2. Manejo de los nutrientes

La administración de nutrientes es muy importante para obtener un buen rendimiento y cumplir con los requisitos de calidad final. Si existen niveles inadecuados de nutrientes, la producción de cebada y la calidad final se ven afectados. Por lo tanto, el manejo adecuado de nutrientes, es esencial para el productor y la comunidad.

La recomendación de fertilización media general es de 80, 60, 40 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, y K₂O respectivamente (Garófalo et al., 2011); con esta recomendación se podría alcanzar un rendimiento potencial de hasta 3 t/ha; ya que según Agro Inversiones S.A. (2010), la extracción de nutrientes por tonelada de grano de cebada producida es de 26 kg de N, 9 kg de P, 21 kg de K.

8.3. Manejo de malezas

El control exitoso y económico de las malezas depende de la integración de las mejores prácticas preventivas, culturales, mecánicas y de control químico. Las prácticas preventivas y culturales incluyen el control de las malezas en cultivos anteriores o en rotación con la cebada, mantener los

bordes del lote libres de malezas, sembrar semilla de calidad libre de maleza, y el uso de prácticas agronómicas que promueven un adecuado desarrollo del cultivo (Morishita & Thill, 2003). De ser necesario el control químico de malezas de hoja ancha se puede utilizar un herbicida específico, siguiendo las instrucciones del fabricante.

8.4. Principales enfermedades

En el Ecuador las enfermedades más limitantes en el cultivo de cebada son las royas, caracterizadas por ser patógenos policíclicos que puede mutar rápidamente; otras enfermedades importantes son: escaldadura, virus del enanismo de la cebada, Septoria y carbón (Ponce et al, 2019).

8.4.1. Roya amarilla

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



Fotografía 2. Hoja y espiga con presencia de roya amarilla (*Puccinia striiformis*).

8.4.2. Roya de la hoja

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



Fotografía 3. Hojas con presencia de roya de la hoja (*Puccinia hordei*).

8.4.3. Virus del enanismo amarillo de la cebada (Barley Yellow Dwarf Virus, BYDV).

El enanismo amarillo de la cebada es probablemente la virosis de los cereales con mayor distribución en el mundo. Esta enfermedad es causada por un virus que es diseminado mediante un vector, como los pulgones de varias especies; este virus puede producir enanismo ya que afecta la elongación de los entrenudos, y causar la pérdida de color de las hojas, desde el ápice, por los márgenes hacia la base (Fotografía 4). La presencia o no de enanismo, depende de la época de inoculación del virus en relación al desarrollo de la planta y de la variedad. Se debe usar variedades resistentes para combatir a este patógeno.



Fotografía 4. Plantas que presentan síntomas severos de virosis.

8.4.4. Carbón

La cebada es atacada por el hongo *Ustilago nuda* (Fotografía 5) conocido como carbón desnudo. Las semillas resultan infectadas durante la floración y son la fuente primaria de inóculo en el siguiente cultivo. El hongo sobrevive dentro de la semilla y cuando esta germina, el micelio del hongo se propaga hacia arriba dentro de la planta hasta la yema apical y el primordio seminal. La aparición de la enfermedad comienza desde la época de la floración y se manifiesta antes que las espigas salgan de la vaina que la rodea. La infección solo es visible tras la emergencia de la espiga. Las espigas infectadas salen antes que las demás y es fácilmente reconocible ya que la espiga es sustituida por una masa de esporas de carbón tipo hollín. Las teliosporas que se forman en semillas infectadas sistemáticamente, infectan a su vez a las semillas nuevas adyacentes o cercanas. Germinan en un día e infectan los tejidos internos de las nuevas semillas infectadas, y así se diseminan ciclo a ciclo a través del grano. La forma de combatirlo es a través del uso de semilla de calidad y la desinfección de la semilla.



Fotografía 5. Espiga de cebada afectada por *Ustilago nuda*.

8.4.5. Escaldadura

La mancha foliar denominada “escaldadura” es causada por el hongo *Rhynchosporium secalis*, ataca a todos los órganos de la planta; se presenta como manchas aisladas o agrupadas, de forma romboidal y de color verde oliváceo claro a verde grisáceo (Fotografía 6). Esta enfermedad se puede transmitir por la semilla y por el rastrojo infectado que queda en el campo. Para combatirlo hay que usar variedades resistentes y semilla de calidad desinfectada.



Fotografía 6. Hoja de cebada afectada por escaldadura

8.5. Cosecha y almacenamiento

El manejo del cultivo de cebada continua en la cosecha y el almacenamiento. La cebada debe ser cosechada antes de romperse o germinar en la espiga, pero debe estar lo suficientemente seca para un almacenamiento seguro (menor al 15% de humedad). Si el contenido de humedad del grano es superior al 13%, debe secarse antes de ser almacenado. La trilladora debe calibrarse correctamente para evitar pelar o agrietar el grano y minimizar las pérdidas de cosecha. El grano pelado o agrietado germina en cualquier momento y es más susceptible al daño causado por moho e insectos (Veseth & Robertson, 2003). Los sacos empleados para almacenar el grano deben estar limpios y el lugar donde se ubiquen debe ser seco y bien ventilado.



Fotografía 7. Grano de cebada listo para ser almacenado



VARIETADES MEJORADAS PARA LA SIERRA ECUATORIANA

Las variedades generadas por el INIAP han sido desarrolladas empleando métodos convencionales de mejoramiento genético.

El uso de herramientas de investigación participativa ha permitido la generación de variedades mejoradas con los agricultores, facilitando la adopción de las mismas, contribuyendo a la Seguridad y Soberanía Alimentaria del Ecuador.



1. Métodos de mejoramiento más importantes para el cultivo de cebada

Existen varios métodos de mejoramiento que se emplean en los programas de mejora para el cultivo de cebada, en Ecuador los principales son:

1.1 Adaptación

Es el método más antiguo de mejora donde interviene la selección natural, es decir el proceso mediante el cual un organismo se adapta más al ambiente donde vive, medido en cambios generacionales (de padres a hijos). Podemos decir que una especie está adaptada a un ambiente, solo si ese ambiente ha generado fuerzas selectivas que han afectado a los ancestros de esa especie y han moldeado su evolución dotándoles de rasgos que benefician la explotación de dicho ambiente (temperatura, agua, luz, viento, suelo, etc.).

En Ecuador se han realizado varias colectas de germoplasma local, el cual se encuentra adaptado a las condiciones de la sierra ecuatoriana. Este material “andinizado” se encuentra formando parte de la denominada Colección Nacional conformada por 52 variedades (38 locales y 14 mejoradas). Este germoplasma es la base de la variabilidad genética empleada en el Programa de Cereales del INIAP. Empleando este método, más el empleo de las adecuadas técnicas de selección, se liberó una variedad mejorada para el Ecuador, INIAP-Duchicela 1978 (Tabla 8).

1.2 Introducción de Germoplasma

La introducción de germoplasma es una técnica muy utilizada en zonas donde la cebada no es endémica, consiste en coleccionar o introducir material genético foráneo, esta técnica permite el flujo de nuevo germoplasma aumentando la variabilidad y la introducción de nuevos genes a la región, generalmente se utiliza para mejorar caracteres de altura de planta, resistencia, calidad y producción.

Esta es una técnica muy empleada por los Programa de Mejoramiento a nivel mundial, especialmente en países donde los cereales no son endémicos, como el Ecuador. Las principales fuentes de germoplasma introducido para el Programa de Cereales del INIAP son, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), el Centro Internacional para Investigaciones Agrícolas en las Zonas Secas (ICARDA), y Universidades de Canadá y Estados Unidos.

Anualmente, se evalúan más de 1000 introducciones, con el fin de seleccionar germoplasma con características deseables y que se adapten a nuestras condiciones. Empleando esta técnica se han liberado diez nuevas variedades mejoradas de cebada para el Ecuador (Tabla 7 y Tabla 8).

1.3 Hibridación o Cruzamientos

Consiste en combinar dos progenitores homocigotos con características específicas para generar una línea pura, la cual se reproducirá idéntica a sí misma con las características deseadas. Dentro de este método podemos hablar de varios tipos de cruzamientos entre ellos: cruza simples, dobles, triples, retrocruzamientos y cruza amplias.

El método de hibridación a través de cruzamientos es el método más empleado en los programas de mejoramiento para aumentar la variabilidad genética, acumular e introducir nuevos genes (cruzas

amplias); este método se emplea para mejorar cualquier característica deseable en los cultivos, las principales características a mejorar son: resistencia a factores bióticos y abióticos (resistencia a enfermedades, tolerancia a sequía, salinidad, pH, etc.), calidad, productividad y producción, eficiencia, precocidad, altura de planta, etc.

Cada cultivo o especie tiene sus propias particularidades requiriéndose por lo tanto un absoluto conocimiento de los hábitos de floración de la especie con la cual se está trabajando.

El Programa de Cereales del INIAP anualmente genera entre 50 y 100 nuevos cruzamientos con el objeto de generar germoplasma mejorado con características deseables. Las principales fuentes de variabilidad genética para la selección de parentales son la Colección Nacional y el material mejorado del Programa de Cereales, así como las Introducciones. Empleando esta técnica se han generado tres nuevas variedades mejoradas adaptadas a las condiciones de la Sierra ecuatoriana (Tabla 7).

1.4 Mutaciones Inducidas

Las mutaciones suceden de forma normal en la naturaleza, y de hecho son la principal fuente natural de variabilidad. Muchas variedades de plantas que se cultivan desde hace tiempo son resultado de mutaciones. Bien del hallazgo de mutaciones naturales, o bien de mutaciones inducidas.

Las mutaciones inducidas son las provocadas por un agente exógeno (físicos, químicos y/o biológicos) es la técnica más propicia a emplear para generar nueva variabilidad genética en especies que no la tiene. Las mutaciones nos permiten generar o modificar regiones codificantes, a través de cambios puntuales, sustitución, inserción, delección y/o duplicación, promoviendo nuevas proteínas que codifican para nuevas características. A través de estas técnicas se ha logrado generar germoplasma resistente a enfermedades y a factores abióticos (pH, sequía, etc.), así como mejoras en calidad nutricional, también se han generado materiales resistentes a herbicidas, entre otros. (Solano et al., 1998)

El Programa de Cereales del INIAP está implementando esta tecnología dentro del proceso de generación de germoplasma para el Ecuador, es así que en el año 2008 se iniciaron los primeros trabajos. El agente físico con el que se trabaja son las irradiaciones de Cobalto 60, la dosis que se está empleando es 130 grays. Empleando esta técnica se han generado tres líneas promisorias de cebada con características deseables.

1.5 Doble Haploides

Un doble haploide (DH) es un genotipo que se forma cuando las células (n) de un haploide experimentan un proceso espontáneo o inducido artificialmente (mediante el uso de agentes químicos como la Colchicina) de duplicación cromosómica. La metodología utilizada en general para la obtención de DH ofrece múltiples ventajas para el mejoramiento genético de plantas. La más importante radica en la posibilidad de alcanzar rápidamente una completa homocigosis pudiendo de esta manera reducir el tiempo y el costo en desarrollar nuevos potenciales cultivares. La producción de dobles haploides (DH) en cebada se realiza a través de la cruce entre *Hordeum vulgare* y la cebada silvestre *Hordeum bulbosum* (Jobet et al., 2003; Prasanna et al., 2013).

El uso de la técnica de dobles haploides en mejoramiento de plantas tiene el potencial de acortar

los ciclos de mejoramiento genético en comparación a los métodos convencionales (cruzamientos), mediante la producción rápida (un ciclo) de líneas homocigóticas provenientes de poblaciones segregantes, lo que conlleva a la rápida homogeneización y estabilización genética; sin embargo, la variabilidad genética del germoplasma es menor debido a que los materiales que se emplean para esta tecnología son materiales que han sufrido un solo ciclo de recombinación genética (F1), por lo tanto, se sugiere aplicar esta técnica a partir de poblaciones más avanzadas (F2 o F3).

1.6 Selección

Es uno de los procedimientos de mejoramiento más antiguo y constituye la base de todo el mejoramiento genético.

Es un proceso natural o artificial mediante el cual se separan un grupo de plantas de una población heterogénea (con variabilidad genética). La eficiencia de la selección depende de la variabilidad genética.

En la actualidad existen varias técnicas de selección de germoplasma, que se las emplea a la par con los métodos antes descritos. Estas técnicas son fundamentales para la generación de germoplasma con características deseables; para el caso de las autógamias como la cebada hablamos de:

a. Selección Masal

Consiste en la selección y cosecha de todos los individuos de una población y llevarlos a una siguiente población segregante. El objetivo es aumentar la frecuencia de genes favorables de caracteres cuantitativos en una población, sin pérdidas de la variabilidad genética (Gráfico 3) (Olmedo-Arcega et al., 1995).

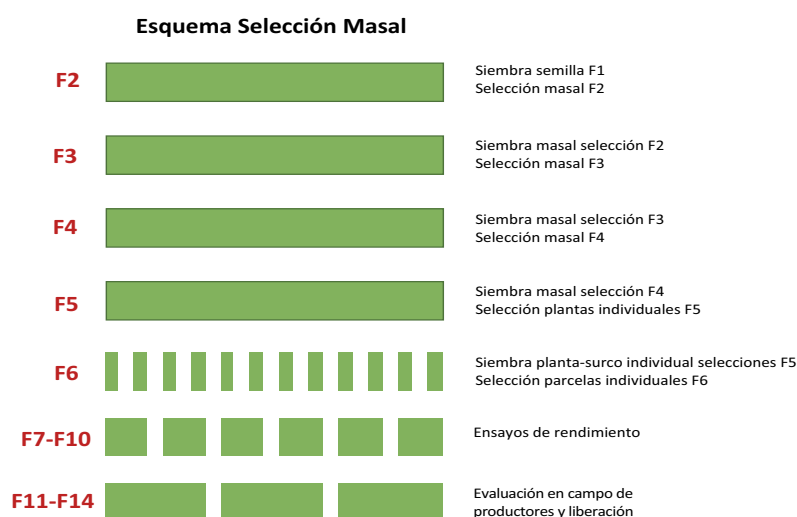


Gráfico 3. Esquema de selección masal para el mejoramiento de cereales.

b. Selección Individual o Pedigree

Esta selección se basa en la elección de las mejores plantas dentro de una población en la que existe variabilidad genética (Gráfico 4). La semilla de las plantas seleccionadas se cosecha por separado y se siembra en un surco o parcela independiente. La siembra en estas parcelas es espaciada para poder hacer la selección de plantas individuales (Cubero, 2003).

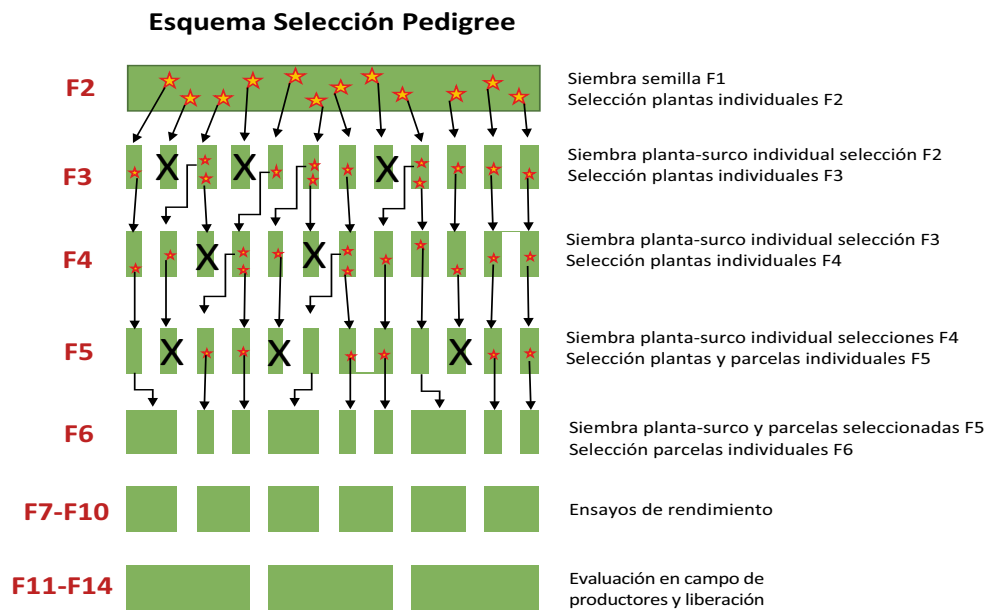


Gráfico 4. Esquema de selección por pedigree para el mejoramiento de cereales.

c. Selección Mixta o Combinada

Consiste en emplear las dos técnicas de selección antes mencionadas, y queda a criterio y experiencia del mejorador. Existen numerosas variantes.

d. Descendencia de una Sola Semilla.

En las generaciones F2 a la F5 (Gráfico 5) se cosecha de todas y cada una de las plantas una sola semilla. Las semillas se siembran de forma individual en la siguiente generación (F3 a F6). En la F6, cuando la homocigosis es muy alta, las semillas se siembran a marcos amplios y se efectúa una selección positiva (Cubero, 2003).

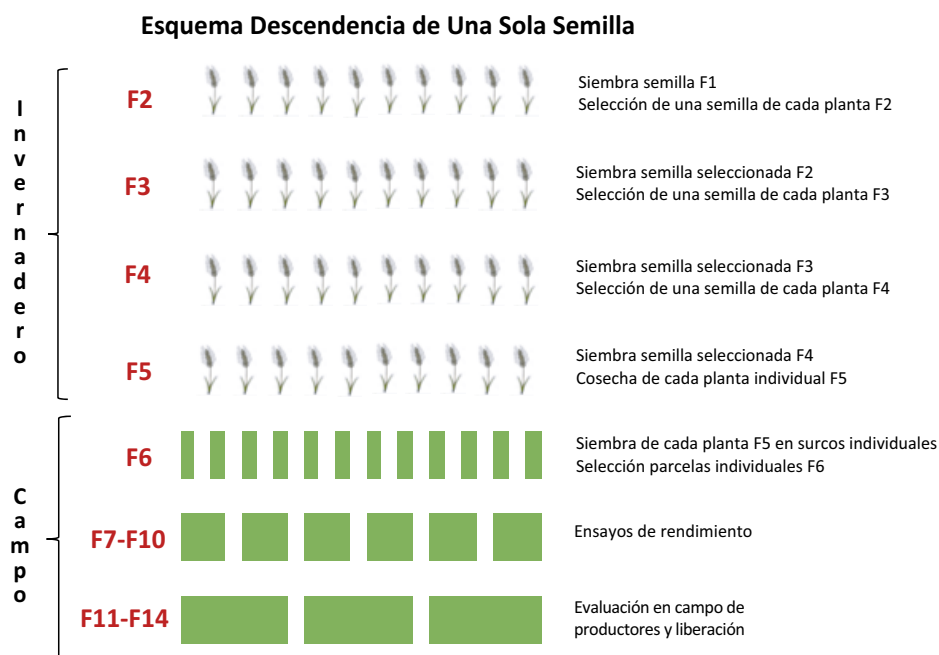


Gráfico 5. Esquema de selección por descendencia de una sola semilla.

e. Selección Asistida por Marcadores (MAS).

Una de las técnicas que se está incursionando en la actualidad es la MAS, la cual se está empleando para la caracterización y selección de germoplasma resistente a las principales enfermedades que afectan a la cebada (Cubero, 2003). La selección se basa en la detección de secuencias de ADN altamente relacionadas con características de interés productivo (Gráfico 6).

Esquema de Selección Asistida por Marcadores

(adaptado de Collar et al., 2015)

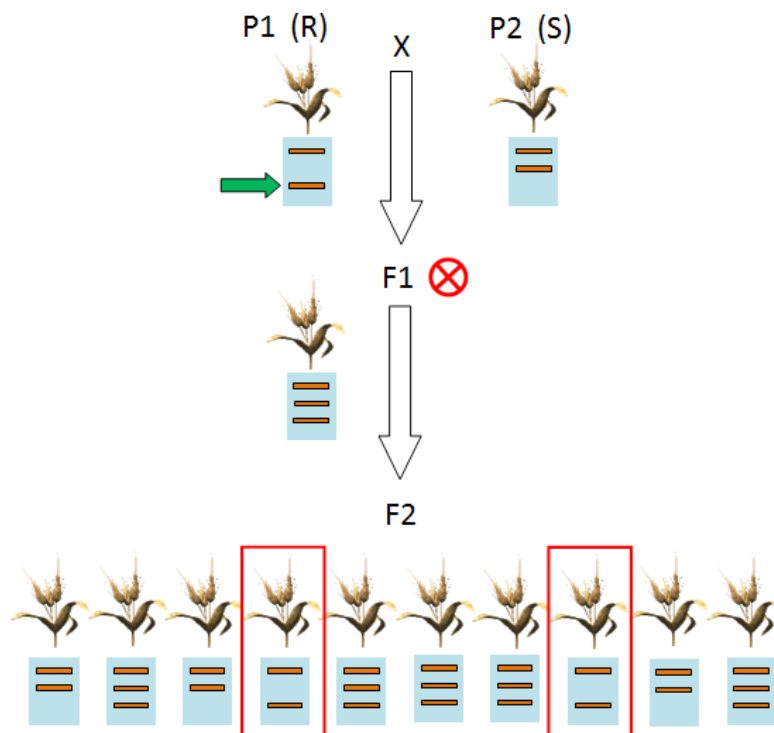


Gráfico 6. Esquema de selección asistida por marcadores.

2. Variedades mejoradas de cebada generadas por INIAP

En Ecuador se han entregado un total de 14 variedades mejoradas de cebada (Tabla 7 y Tabla 8), aplicando todas las técnicas de selección en combinación con los métodos de mejora antes descritos; germoplasma con características deseables, de alto rendimiento, resistente a enfermedades y con calidad industrial.

Estas variedades mejoradas fueron entregadas a los productores cerealeros de la Sierra ecuatoriana a su debido tiempo y son fruto del trabajo continuo de los Investigadores del Programa de Mejoramiento de Cereales del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), el cuál fue creado en el año de 1963.

En promedio el proceso de generación y desarrollo de una nueva variedad mejorada conlleva entre 10 y 15 años de trabajo de investigación, evaluación y selección, antes de que llegue a manos del usuario final, los productores.

Tabla 7. Principales características de variedades mejoradas de cebada de dos hileras, dísticas.

CARACTERÍSTICAS	INIAP-Terán 1978	INIAP-Shyri 1989	INIAP-Atahualpa 1992	INIAP-Shyri 2000	INIAP-Pacha 2003	INIAP-Cañicapa 2003	INIAP-Guaranga 2010	INIAP-Palmira 2014
Características Agronómicas								
Ciclo del cultivo (días)	145	154	155	179	160	180	170	160
Días al espigamiento	80	84	80	88	85	90	104	80
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	1500-5400	1533-4937	1560-3600	7000	4500	2700-4500	2700-3600	1350-2700
Peso 1000 granos (g)	40-50	52-54	35-48	60	63	62	52	40
Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)	60-65	61-64	65-69	63-65	61-65	63-65	63-65	65
Reacción a enfermedades								
Roya Amarilla	Resistente	Tolerante	Tolerante	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	Resistencia Parcial
Roya de la Hoja	Moderada	Tolerante	Tolerante	Resistente	Resistente	Resistente	Resistencia Parcial	Resistencia Parcial
Escaldadura	Resistente	Tolerante	Tolerante	Resistente	Resistente	Resistente	-	-
Carbón	Resistente	Susceptible	Tolerante	Susceptible	Resistente	Resistente	-	-
Enanismo Cereales	Moderada	Susceptible	-	-	-	-	Resistente	Resistente
Fusarium	-	-	-	-	Resistente	Resistente	-	-
Tolerancia a Sequía					Tolerante	Tolerante	Resistente	Tolerante
Características Morfológicas								
Número granos espiga	28-32	26-30	20-30	30	30	30	35-40	20-25
Número de hileras	2	2	2	2	2	2	2	2
Tipo de espiga	Barbada	Barbada	Barbada	Barbada	Barbada	Barbada	Barbada	Barbada
Tipo de grano	Cubierto	Cubierto	Descubierto	Cubierto	Cubierto	Cubierto	Cubierto	Cubierto
Densidad de espiga	Semicompacta	Compacta	Compacta	Compacta	Compacta	Compacta	Compacta	Compacta
Forma de grano	Oblongo	Oblongo	Oblongo	Oblongo	Oblongo	Oblongo	Oblongo	Oblongo

Color de espiga	Amarillo claro	Amarillo	Amarillo claro	Amarillo	Blanco	Blanco	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Resistente al acame	Amarillo claro	-	
Color de grano	Amarillo pálido	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Amarillo claro	Blanco	Tolerante al acame	Blanco	Amarillo claro	
Número de macollos	5-8	5-7	6-8	12	10-12	8-10	6-8	12	12	10-12	8-10	6-8	8-10	6-8	6	6	6	
Tipo de tallo	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Tolerante al acame	Tolerante al acame	Tolerante al acame	Tolerante al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	
Altura de planta (cm)	95-105	100-105	70-100	110	100-110	110-120	109-120	110	110-130	100-110	110-120	109-120	110-130	109-120	90-110	90-110	90-110	
Tamaño de espiga (cm)	10	12	10	-	11	12	10	11	12	11	12	10	12	10	8	8	8	
Características de Calidad																		
Proteína (%)	13-15	13.7	14.3	12.3	9.6	14	12.6	14	14	9.6	14	12.6	14	12.6	12.1	12.1	12.1	
Fibra (%)	-	6	2	7.1	5.8	5.7	6.9	5.7	5.7	5.8	5.7	6.9	5.7	6.9	5.6	5.6	5.6	
Extracto (%)	75	-	-	-	73.5	62.5	79.2	62.5	62.5	73.5	62.5	79.2	62.5	79.2	77.4	77.4	77.4	
Cenizas (%)	-	-	-	-	2.1	2.4	-	2.4	2.4	2.1	2.4	-	2.4	-	2.4	2.4	2.4	
Rendimiento harinero	-	-	-	-	67	65	65	67	65	67	65	65	65	65	-	-	-	
Zona agroecológica de cultivo en la Sierra ecuatoriana																		
Altura m.s.n.m	2500 - 3300	2500-3500	2500-3380	2400-3600	2400-3200	2400-3200	2400-3500	2400-3200	2400-3200	2400-3200	2400-3200	2400-3500	2400-3200	2400-3500	2200-3400	2200-3400	2200-3400	
Precipitación (mm)	600-800	600-800	500-600	600-800	500-700	500-700	500-600	500-800	500-700	500-700	500-700	500-600	500-700	500-600	300 o menos	300 o menos	300 o menos	
Origen de la Variedad																		
Método de Mejora	Introducción y Selección	Introducción y Selección	Introducción y Selección	Cruzamiento y Selección	Cruzamiento y Selección	Cruzamiento y Selección	Introducción y Selección	Cruzamiento y Selección	Cruzamiento y Selección	Cruzamiento y Selección	Cruzamiento y Selección	Introducción y Selección	Cruzamiento y Selección	Introducción y Selección	Introducción y Selección	Introducción y Selección	Introducción y Selección	
Pedigree	Abyssinian 669	LIGNEE640/ KOVER/TERAN 78	SUTTER/ GLORIA "S" /COMES "S" /3/ PI6384/ CAPUCHONA	INIAP-SHYRI 89/ GRIT	INIAP-SHYRI 89/ GRIT	INIAP-SHYRI 89/ GRIT	JAZMIN/CARDO /TOCTE	INIAP-SHYRI89 /3/GAL/PI6384 /ESC-II-72-607- 1E-1E-1E-5E	RHODES// TB-B/CHZO/3/ GLORIA-BAR /COPAL /4/ESC.II.72. 83.3E.7E. 5E.1E/5/ALELI	RHODES// TB-B/CHZO/3/ GLORIA-BAR /COPAL /4/ESC.II.72. 83.3E.7E. 5E.1E/5/ALELI	JAZMIN/CARDO /TOCTE	RHODES// TB-B/CHZO/3/ GLORIA-BAR /COPAL /4/ESC.II.72. 83.3E.7E. 5E.1E/5/ALELI	RHODES// TB-B/CHZO/3/ GLORIA-BAR /COPAL /4/ESC.II.72. 83.3E.7E. 5E.1E/5/ALELI	RHODES// TB-B/CHZO/3/ GLORIA-BAR /COPAL /4/ESC.II.72. 83.3E.7E. 5E.1E/5/ALELI	RHODES// TB-B/CHZO/3/ GLORIA-BAR /COPAL /4/ESC.II.72. 83.3E.7E. 5E.1E/5/ALELI	RHODES// TB-B/CHZO/3/ GLORIA-BAR /COPAL /4/ESC.II.72. 83.3E.7E. 5E.1E/5/ALELI	RHODES// TB-B/CHZO/3/ GLORIA-BAR /COPAL /4/ESC.II.72. 83.3E.7E. 5E.1E/5/ALELI	RHODES// TB-B/CHZO/3/ GLORIA-BAR /COPAL /4/ESC.II.72. 83.3E.7E. 5E.1E/5/ALELI
Historial de Selección	-	CMB-83A-1561- A-2M-1Y-LLAG- LE-0GH	CM86-767-C-2Y- 168GH-2M-0Y	E-93-8891-2E-1E- 4E-0E-0E-0E-0E	E-93-8891-2E-1E- 4E-0E-0E-0E-0E	E-93-8891-2E-1E- 4E-0E-0E-0E-0E	E97-9053-3E-0E- 1E-0E-0E-0E-0E	E97-9053-3E-0E- 1E-0E-0E-0E-0E	E97-9053-3E-0E- 1E-0E-0E-0E-0E	E-93-8891-2E-1E- 4E-0E-0E-0E-0E	E-93-8891-2E-1E- 4E-0E-0E-0E-0E	E97-9053-3E-0E- 1E-0E-0E-0E-0E	E97-9053-3E-0E- 1E-0E-0E-0E-0E	E97-9053-3E-0E- 1E-0E-0E-0E-0E	E97-9053-3E-0E- 1E-0E-0E-0E-0E	E97-9053-3E-0E- 1E-0E-0E-0E-0E	E97-9053-3E-0E- 1E-0E-0E-0E-0E	E97-9053-3E-0E- 1E-0E-0E-0E-0E

Tabla 8. Principales características de variedades mejoradas de cebada de seis hileras, hexásticas.

CARACTERÍSTICAS	INIAP-Dorada 1971	INIAP-Duchicela 1978	INIAP-Calicuchima 1992	INIAP-Cañari 2003	INIAP-Quilotoa 2003	INIAP-Ñusta 2016
Características Agronómicas						
Ciclo del cultivo (días)	150	160	150	170	175	120
Días al espigamiento	80	90	80	84	88	70
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	1818-5227	1410-5730	1676-5148	2900	3100	4050
Peso 1000 granos (g)	40	50-55	35-45	35	35	45
Peso hectolitrico (kg hl ⁻¹)	60-65	60-65	60-63	60-65	63-65	65
Reacción a enfermedades						
Roya Amarilla	Resistente	Resistente	Resistente	Tolerante	Tolerante	Tolerante
Roya de la Hoja	Moderada	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	Tolerante
Escaldadura	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	Tolerante
Carbón	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	-
Enanismo Cereales	-	Resistente	-	-	-	Tolerante
Fusarium	-	-	Resistente	-	-	-
Tolerancia a Sequía	-	-	-	Tolerante	Tolerante	Tolerante
Características Morfológicas						
Número de granos por espiga	40-50	40-50	40-50	49-62	46-58	55-65
Número de hileras	6	6	6	6	6	6
Tipo de espiga	Barbada	Barbada	Barbada	Barbada	Barbada	Barbada
Tipo de grano	Cubierto	Cubierto	Cubierto	Cubierto	Cubierto	Descubierto
Densidad de espiga	Semicompacta	Compacta	Compacta	Compacta	Compacta	Compacta
Forma de grano	Oblongo	Oblongo	Oblongo	Oblongo	Oblongo	Oblongo

Color de espiga	Amarillo claro	Amarillo pálido	Amarillo claro	Blanco	Azul	-
Color de grano	Dorada	Amarillo pálido	Amarillo claro	Amarillo	Blanco	Amarillo Claro
Número de macollos	6-8	5-8	7-9	10	9	5-7
Tipo de tallo	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Resistente al acame	Tolerante al acame
Altura de planta (cm)	110	110-120	70-115	90-100	95-105	90-100
Tamaño de espiga (cm)	10	10	12	8-9	7-8	7-8
Características de Calidad						
Proteína (%)	11.6	11.5-12.5	11	11.1	12.1	13
Fibra (%)	-	-	11.8	11.7	7.1	3.2
Extracto nitrógeno (%)	-	-	76.2	75.5	79.8	-
Cenizas (%)	-	-	2.8	2.9	2.8	2.4
Rendimiento harinero	-	-	-	66	64	-
Zona agroecológica de cultivo en la Sierra ecuatoriana						
Altura (m.s.n.m)	2500 - 3600	2800-3200	2500-3350	2800-3400	2800-3400	2400-3000
Precipitación (mm)	-	600-800	500-700	500-700	500-600	500
Temperatura (°C)	8-18	-	-	-	-	-
Origen de la variedad						
Método de Mejora	Introducción y Selección	Adaptación y Selección	Introducción y Selección	Introducción y Selección	Introducción y Selección	Introducción y Selección
Pedigree	C.I.9650	Colección Nacional No. 48	LBIRAN/ UNA8271 /GLORIA "S" /COME "S"	MS2375/3/ ROBUR /HOR728// F3BULKHIP /4/GLORIA "S" /COME "S" /5/CARDO "S"	LIGNEE527 /4/MCU33 /FZA/ITIB /3/PI356456 /5/LIGNEE527 /F770077	PETUNIA/ SUTTER'S/ COME'S/2/ PI6124// CAPUCHONA
Historial de selección	-	II-17641-1E-1E-9E-0E	CM84A-1127-D-2B-1Y-6M-0Y-0E	CM891A-11-3E-1E-3E-0E-0E-0E	CM885A-1300-E-15B-5E-0E-0E-0E-0E-0E-0E	CM98-860-C-Y-Y-GH-2M-0Y-0Y-0M-0E

Álbum fotográfico de las variedades mejoradas de cebada



Fotografía 8. Espigas y grano de INIAP-Dorada 71

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 9. Espigas y grano de INIAP-Terán 78

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 10. Espigas y grano de INIAP- Duchicela 78

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 11. Espigas y grano de INIAP-Shyri 89

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 12. Espigas y grano de INIAP-Calicuchima 92

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 13. Espigas y grano de INIAP-Atahualpa 92

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 14. Espigas y grano de INIAP-Shyri 2000

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 15. Espigas y grano de INIAP-Cañari 2003

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 16. Espigas y grano de INIAP-Quilotoa 2003

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 17. Espigas y grano de INIAP-Pacha 2003

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 18. Espigas y grano de INIAP-Cañicapa 2003

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 19. Espigas y grano de INIAP-Guaranga 2010

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 20. Espigas y grano de INIAP-Palmira 2014

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



Fotografía 21. Espigas y grano de INIAP-Ñusta 2016

Fuente: Programa de Cereales, INIAP.



G L O S A R I O

Abióticos.- Factores inertes o componentes físico-químicos presentes en el medio ambiente y que afectan a los ecosistemas. Los principales factores abióticos son la temperatura, la luz, la humedad, la salinidad, el pH, el suelo, el oxígeno y los nutrientes.

Acamado.- Designa a aquellas plantas de cereales, (especialmente en la cebada) que se encuentran echadas unas sobre otras en tal forma que no se mantienen erguidas debido a condiciones climáticas o a que el tallo no es lo suficientemente fuerte para sostenerla.

Adaptación.- Proceso mediante el cual un organismo o ser vivo evoluciona durante un periodo, permitiéndole condicionarse a un ambiente, de tal manera que incrementa a largo plazo sus expectativas de supervivencia y garantiza el éxito en su reproducción.

Alelo.- Variante de la secuencia de ADN en un determinado locus; es una forma alternativa de un gen (un miembro de un par) que se localiza en una posición específica de un cromosoma específico.

Aleurona.- Conjunto de gránulos de proteína presente en las semillas, generalmente localizados en la parte externa del endospermo. Proviene de la palabra griega *aleurion* que significa harina.

Alogamia o Polinización Cruzada.- Polinización o fecundación de un individuo o biotipo con polen de otro individuo o biotipo de la misma especie.

Ancestros.- Individuo del que desciende otro. Antepasado directo por parentesco; bien del progenitor inmediato (padre o madre) o, el progenitor de cada uno de ellos (abuelos, bisabuelos, tatarabuelos, y así sucesivamente).

Autogamia o Autopolinización.- Polinización o fecundación de un individuo o un biotipo con su propio polen, a cuya prole se le denomina autofecundados (que se fecunda a sí mismo).

Autopoliploidia.- Capacidad de un individuo o especie de tener dos o más múltiplos del conjunto de haploides de los cromosomas de su especie. Ambos juegos de los cromosomas de los padres han sido duplicados en la descendencia, lo que a veces resulta en la formación de una nueva especie.

Biodiversidad.- Variación y abundancia de las diversas especies que habitan en una zona o región.

Bióticos.- Factores cuyo origen reside en los seres vivos y sus productos, que influyen en la forma de un ecosistema. Puede referirse a la flora y la fauna de un lugar y sus interacciones.

Calibrar.- Ajustar la escala o la medida de un instrumento con la precisión deseada.

Características Agronómicas.- Son todas aquellas características que podemos observar durante

el desarrollo del cultivo y que pueden relacionarse con la producción, entre ellas, días a la floración, días a la cosecha, resistencia a enfermedades, altura de planta, tamaño de la espiga, tamaño del grano, entre otras.

Caracteres Intrínsecos.- Caracteres internos o genotípicos, referentes a la constitución genética propia del individuo.

Caracteres Extrínsecos.- Caracteres externos o fenotípicos, los caracteres morfológicos que se pueden observar en el individuo.

Cariópside.- Fruto seco que tiene una sola semilla con el pericarpio adherido a la misma.

Centro de Origen.- Región o regiones donde se inició el proceso de domesticación de una especie y donde existen los parientes silvestres que originaron ese cultivo.

Ciclo de Cultivo.- Es el ciclo total del cultivo que va desde la siembra hasta el fin de la maduración y posterior cosecha, se divide en subperíodos vegetativos y reproductivos delimitados por las fases fenológicas que muestran el cumplimiento de distintas etapas del desarrollo de la planta.

Creciente Fértil .- Región histórica que corresponde los territorios del Levante Mediterráneo, Mesopotamia y Persia. Se considera que fue el lugar donde se originó la revolución neolítica (el hombre pasa de nómada a sedentario), y nace la agricultura y ganadería.

Cromosoma.- Estructura en el núcleo de célula, constituida por el ADN (Ácido Desoxirribonucleico) o que lo contiene, que lleva la información genética esencial de la célula.

Cruzamiento.- Reproducción sexual de dos individuos diferentes, que resulta en una progenie que se queda con parte del material genético de cada progenitor. Los organismos parientes deben ser genéticamente compatibles y pueden ser de variedades diferentes o de especies muy cercanas.

Cruzas Amplias. - Cruzamiento de dos especies distintas pero emparentadas.

Cruzas Simples.- Cruzamiento entre el individuo A y el individuo B, su progenie se la conoce como Filial 1 (F1) y tiene el material genético de los dos parentales, se la denomina como F1AB.

Cruzas Dobles.- Cruzamiento entre dos F1 de distintos parentales, por ejemplo, F1AB se cruza con el F1CD, la progenie es una nueva Filial 1 pero con el material genético de ABCD.

Cruzas Triples.- Cruzamiento de una F1 con un nuevo individuo o variedad, por ejemplo, F1AB se cruza con el individuo E, la progenie es una nueva Filial 1 con el material genético de ABE.

Diploide.- Organismo o célula que tiene en su núcleo dos juegos de cromosomas emparejados u homólogos, uno de cada progenitor.

Diversidad.- Designa a la diferencia o a la distinción entre seres vivos o cosas, a la existencia de la

variedad o a la abundancia de cosas de distintas características. El término diversidad es de origen latín “*diversitas*”.

Diversidad Genética.- Es el número total de características genéticas dentro de una especie (número y variedad de genes). Cuanto mayor sea la diversidad genética, mayores probabilidades tienen las especies de sobrevivir los cambios del medio ambiente.

Diversidad Morfológica.- En un sentido amplio, es la diversidad de formas y estructuras que presentan los organismos vivos. Está relacionada con la variedad de familias de genes de una especie.

Degradación.- Proceso por el cual se van perdiendo materiales por la acción de diversos factores como la temperatura, agua, viento, humedad y por acción de los seres vivos.

Doble Haploide.- Es un genotipo que se forma cuando las células de un haploide experimentan un proceso espontáneo o inducido artificialmente de duplicación cromosómica. Como técnica de mejoramiento, acorta de manera considerable el ciclo de mejoramiento al permitir obtener líneas completamente homocigotas en dos generaciones.

Domesticación.- Proceso mediante el cual las plantas son genéticamente modificadas mediante selección por parte del ser humano a través del tiempo, para características más deseables o ventajosas para los humanos.

Eficiencia.- Es la capacidad de lograr un efecto específico con el mínimo de recursos posibles y en el menor tiempo posible. En el caso de las plantas la productividad.

Endémico.- Limitado a un ámbito geográfico reducido y que no se encuentra de forma natural en ninguna otra parte del mundo. Una especie es endémica de una región porque solo es posible encontrarla en forma natural en ese lugar.

Endospermo.- Es un tejido existente en las semillas de la mayoría de las plantas, que rodea el embrión y sirve como almacén de nutrientes (almidón, proteínas y aceites) durante la germinación y primeras etapas de la vida de la planta.

Emparvar.- Poner, colocar o situar en parva o en montón, el cereal segado o cosechado en la era para trillar.

Especie.- Conjunto de organismos o poblaciones naturales capaces de entrecruzarse y producir descendencia fértil; grupo de organismos reproductivamente homogéneo, aunque muy cambiante a lo largo del tiempo y del espacio.

Evolución.- Conjunto de cambios de caracteres fenotípicos y genéticos de poblaciones biológicas a través de generaciones.

Exógeno.- Que se debe a causas externas.

Factores Ambientales.- Cada uno de los elementos del medioambiente que actúan directamente sobre el ser vivo (o al menos sobre una fase de su ciclo vital).

Fenotipo.- Conjunto de características o rasgos físicos de un organismo o individuo.

Fotoperiodo.- Tiempo de exposición de la luz solar diaria.

Foráneo.- Que procede o es propio de otro lugar.

Gama ecológica.- Diversidad de ecosistemas.

Gen.- Unidad de la herencia genética, pues almacena la información genética y permite transmitirla de generación en generación durante la reproducción. Cada gen consiste de una secuencia de nucleótidos, ocupando una posición específica a lo largo del cromosoma. Muchos genes codifican un producto funcional específico.

Genética Intrínseca.- Constitución genética propia de un individuo.

Género.- Grupo de organismos que a su vez puede dividirse en varias especies.

Genotipo.- Es toda la información o constitución genética que posee un organismo en particular, en forma de ADN. Es el conjunto de genes de un individuo.

Genotipo Dominante - Es el miembro de un par alélico que se manifiesta en un fenotipo determinado, tanto si se encuentra en dosis doble, por haber recibido una copia de cada padre (combinación homocigótica); así como se halla en dosis simple porque solo uno de los padres aportó el alelo dominante en su gameto (heterocigosis).

Genotipo Recesivo.- Se aplica al miembro de un par alélico que no puede manifestarse cuando el alelo dominante está presente. Para que este alelo se manifieste en el fenotipo, el organismo debe poseer dos copias del mismo, provenientes una de cada progenitor.

Germoplasma.- Se dice del conjunto de los genes que, mediante células reproductoras o gametos, son transmitidos a los descendientes a través de la reproducción. El concepto de germoplasma se utiliza comúnmente para designar a la diversidad genética de las especies vegetales silvestres y cultivadas de interés para la agricultura y, en ese caso, se asimila al concepto de recurso genético.

Hábitos de floración.- Refiere a los tipos de plantas que podemos encontrar, a los tipos de flores que estas poseen y su funcionamiento (plantas con flores hermafroditas, plantas monoicas, plantas dioicas, plantas autógamas y alógamas, etc)

Hexaploide.- Seis juegos de cromosomas.

Hibridación.- Individuos producidas por un cruzamiento de dos variedades o especies genéticamente diferentes. Las plantas híbridas se crean cuando el polen de un tipo de planta se emplea para polinizar

una variedad completamente diferente, resultando en una planta totalmente nueva. Sinónimo de cruzamiento.

Heterocigoto.- Individuo que para un gen dado tiene en cada cromosoma homólogo un alelo distinto.

Homocigoto.- Individuo que para un gen dado tiene en cada cromosoma homólogo el mismo tipo de alelo..

Homocigosis.- Unión de gametos con idénticas características que producirán sujetos de raza pura (homocigotos).

Índice de Producción.- Es el cociente entre la producción del proceso agrícola y el gasto o consumo de un recurso.

Introducir.- En mejoramiento, traer germoplasma de otro lugar para ser evaluado bajo nuestras condiciones.

Investigación Participativa.- Metodología en que participa el usuario o productor dentro del proceso de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, permitiendo el intercambio de experiencias y facilitando su adopción.

Línea.- En mejoramiento genético se refiere a un material vegetal en desarrollo, que podría llegar a ser una variedad.

Lixiviación.- Proceso en el que un disolvente líquido (agua) pasa a través de un sólido pulverizado (suelo) para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

Locus.- (del latín *locus*, lugar; plural *loci*) Es una posición fija sobre un cromosoma. Es el sitio que ocupa un gen o alelo en el cromosoma.

Macollaje.- es una etapa fenológica en el que se desarrolla los brotes secundarios y los tallos de los brotes basales de las plantas herbáceas, como los cereales.

Maleza.- Toda planta que crece en forma agresiva, impidiendo el desarrollo normal de un cultivo, que compiten con el cultivo por luz, agua y nutrientes.

Monocotiledónea.- Clase de planta angiosperma (con flores), que presenta piezas florales compuestas en grupos de tres, es decir, trímeras con cinco verticilos (tres sépalos, tres pétalos, dos verticilos de tres estambres cada uno, y tres carpelos). Presentan un sólo cotiledón, hoja primordial que se encarga de proporcionar alimento en los primeros estadios de las plántulas.

Mutación.- Es el cambio en la secuencia de un nucleótido o en la organización del ADN (genotipo) de un organismo vivo, que produce una variación en las características de este y que no necesariamente se transmite a la descendencia. Se presenta de manera espontánea y súbita o por la acción de mutágenos.

Mútricos.- Son los órganos sin punta o sin arista terminal.

Observación.- El registro de sucesos a fin de obtener información sobre el fenómeno de interés.

Palatabilidad.- Características organolépticas de un producto que le convierte en más o menos atractivo para alguien en sabor, aroma, textura, apariencia, etc.

Pedúnculo o Pedicelo.- Ramilla que sostiene una inflorescencia o un fruto después de su fecundación. Posee la estructura de un tallo y es responsable de la sustentación y conducción de savia a las flores.

Peso Hectolítrico.- Peso en gramos de una masa de granos que ocupa el volumen de 1 litro.

Precocidad.- Capacidad de una planta o variedad para brotar, crecer o fructificar antes que lo usual en su especie.

Productividad.- Es la relación cantidad de biomasa producida por los organismos primarios autótrofos, por unidad de tiempo o/y área.

Progenitor o Parental.- Individuo con características deseadas que sirve como fuente de herencia genética para transmitirlo a una progenie.

Progenie.- Descendencia del cruzamiento entre los progenitores masculinos y femeninos; la cual manifiesta determinadas relaciones genotípicas y fenotípicas.

Recesivo.- Alelo o gen que no se manifiesta en el aspecto exterior de un individuo si el alelo que lo acompaña es dominante.

Regiones Codificantes.- Son aquellas partes del gen cuya información (secuencia de nucleótidos) se utiliza para sintetizar la proteína correspondiente.

Retrocruzas.- Refiere al cruce de un descendiente híbrido de la primera generación (F1) con uno de los padres o con un genotipo idéntico al paterno.

Resistencia a Enfermedades.- Capacidad que tiene un organismo para superar, totalmente o hasta cierto grado, el efecto de un patógeno u otro factor perjudicial

Selección.- Método mediante el cual el hombre interviene en el escogimiento de individuos dentro de una población, en base a rasgos elegidos o específicos, de productividad, resistencia, estética, calidad y otros.

Silvestre.- Especies vegetales no domesticadas que crecen o se desarrollan en un hábitat natural, sin haber sido introducidos por los seres humanos. Estas especies poseen un pool genético amplio que puede ser utilizado por los mejoradores.

Taxón.- Grupo de organismos emparentados, que en una clasificación dada han sido agrupados, asignándole al grupo un nombre en latín, una descripción si es una especie, y un tipo.

Teliospora.- Espora sexual, tardía, de pared gruesa que puede resistir un largo período de reposo y germinar en el próximo ciclo vegetativo.

Transgénico u Organismo Genéticamente Modificado.- Organismos vivos que han sido obtenidos artificialmente mediante ingeniería genética con mezcla de ADN de otros organismos en sus genes.

Tetraploide.- Organismo con cuatro juegos básicos (X) o haploide (n) de cromosomas (cuatro genomas = 4n).

Tolerancia.- Capacidad de soportar los efectos de una enfermedad sin que muera, sufra daños serios o se pierda la cosecha. Son plantas susceptibles al patógeno pero no son destruidas por él,

Variabilidad Genética.- Diversidad en las frecuencias de los genes. La variabilidad genética puede referirse a las diferencias entre individuos o las diferencias entre poblaciones, como consecuencia de las mutaciones, reproducción sexual y deriva genética.

Variedad.- Población de plantas mejoradas genéticamente que puede ser identificadas por sus caracteres al menos genéticos.

Vernalización.- Condición natural física de requerimiento de periodos variables de frío de algunas plantas herbáceas para que se produzca la apertura de sus flores, siendo variable entre las distintas especies y genotipos.

IV

LITERATURA CONSULTADA

- Anderson, P.M., Oelke, E.A., Simmons, S.R. 1995. Growth and Development Guide for Spring Barley. St. Paul, MN: University of Minnesota Extension Service. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, <http://hdl.handle.net/11299/165839>.
- Araus, J. L., & Cairns, J. E. 2014. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. *Trends in plant science*, 19(1), 52-61.
- Arellano, V. 2010. Manual de la cebada cervecera. Bogotá, CO. Agroinversores. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/14229542/Manual-Cebada>
- Blanco, C. 2008. Cultivos transgénicos para la agricultura latinoamericana. Fondo de cultura económica, México DF, México.
- Bothmer, R. von, Sato, K., Sato, K., Komatsuda, T., Yasuda, S., and Fischbeck, G. 2003. The domestication of cultivated barley. In: Bothmer, R. von, Hintum, Th. van, Knüpffer, H., and Sato, K., (eds), *Diversity in Barley (Hordeum vulgare)*, pp. 9-27. Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands.
- 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.
- Collard B.C.Y.; Jahufer, M.Z.Z.; Brouwer, J.B. Y Pang, E.C.K. 2005. An introduction to markers, quantitative trait loci (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: The basic concepts. *Euphytica* 142: 169–196.
- Cubero, J.I. 2003. Introducción a la Mejora Genética de plantas. Mundi-Prensa. Madrid. Capítulo 8.
- Falconí, E., Garófalo, J., Llangarí, P., y Espinoza, M. 2013. Boletín Divulgativo N° 390. El cultivo de cebada: Guía para la producción de semilla de calidad. INIAP-Ecuador.
- FAOSTAT. Consultado en 2019. Data/Crops. Actualizada en Enero 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Garófalo, J., L. Ponce-Molina and S. Abad. 2011. Guía del Cultivo de Trigo. Boletín divulgativo No.411. Estación Experimental Santa Catalina, Quito. p. 20.
- Giles, B., and Bothmer, R. von. 1985. The progenitor of barley (*Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*)- its importance as a gene source. *J.Swedish Seed Assoc.* 95:53-61.

- Gómez-Macpherson, H. 2000. *Hordeum vulgare*, Plant. EcoPort ID:1232, <http://ecoport.org/>
- Grando, S., and Gomez, H. 2005. Food Barley: Importance, Uses and Local Knowledge. Proceedings of the International Workshop on Food Barley Improvement, 14-17 January 2002, Hammamet, Tunisia. ICARDA, Aleppo, Syria. 156 pp.
- Guerrero, A. 1999. Cultivos Herbáceos extensivos. Sexta Edición. Mundi-Prensa. Bilbao-España. Pp 833. ISBN: 84-7114-797-1
- GRAMENE. Consultado en 2019. Species: Barley (*Hordeum*). Copyright © 2000-2007 Cold Spring Harbor Laboratory and Cornell University, USA. Last modified: Mon Oct 1 11:53:49 2007 <http://www.gramene.org/>
- Igartua, E., Cuesta, M., Lasa, J.M., Gracia, M., Yahiaoui, S., Moralejo, M., Molina-Cano, J.L., Ciudad, F., y Casas, A. 2008. Fenología y adaptación de la cebada. pp. 157-182. En: La adaptación al ambiente y los estreses abióticos en la mejora vegetal. Eds: Ávila, C., Atienza, S., Moreno, M., y Cubero, J. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Sevilla-España.
- INIA. Consultado en 2010. Cultivos Andinos. Resumen. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima-Perú. <http://www.inia.gob.pe/cultivosandinos/resumen.htm>
- Jobet, C., Zuñiga, J., y Campos de Quriz, H. 2003. Plantas doble haploides generadas por cruza intergenerica de trigo x maíz. Agric. Téc. v.63 n.3.
- Molina-Cano, J.L. 1989. Taxonomía, Cítología. Origen Genético. La Cebada. Ediciones Mundiprensa-Madrid.
- Molina-Cano, J.L., Igartua, E., Moralejo, M.I.E., and Romagosa, I. 1999. Further evidence supporting Morocco as a center of origin of barley. Theoretical and Applied Genetics 98:913-918. DOI: 10.1007/s001220051150
- Morishita, D., and Thill, D. 2003. Weed Management. In: Idaho Spring Barley Production Guide. Robertson, L., and Stark, J. (eds). University of Idaho, BUL 742.
- Olmedo-Arcega, O. B., E. M. Elias, and R. G. Cantrell. 1995. Recurrent selection for grain yield in durum wheat. Crop Science 35: 714-719.
- Parry, M.L., and Parry, C.J. 1993. Agricultural Geography of Barley. In: The Agrometeorology of Rainfed Barley-based Farming Systems. Proceedings of an International Symposium 6-10 March 1989, Tunis. (Eds) Jones, M., Mathys, G., and Rijks, D. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, ICARDA. Aleppo, Syria.
- Ponce-Molina L., Garófalo J., Campaña D. y Noroña P. 2019. Parámetros de Evaluación y Selección en Cereales. Boletín Divulgativo No.--. INIAP. Quito-Ecuador. 69 p.

- Prasanna, B.M., Chaikan, V., y Mahuku, G. (editores). 2013. Tecnología de Dobles Haploides en el mejoramiento de maíz: teoría y práctica. Mexico DF, CIMMYT.
- Rasmusson, D. 1985. Barley. Wisconsin, US. Columbia editor. p. 522
- Robertson, L., and Wesenberg, D. 2003. Major uses of barley. In: Idaho Spring Barley Production Guide. Robertson, L., and Stark, J. (eds). University of Idaho, BUL 742.
- Solano, J., Barriga, P., Krarup A., et al. 1998. Estabilidad temporal del rendimiento de genotipos mutantes de trigo, mediante el modelo de interacción multiplicativa y efectos principales aditivos (AMMI: additive main effect and multiplicative interaction model). Agro sur, jul., 26(2):19-32. ISSN 0304-8802.
- Stein, J., Naithani, S., Monaco, Mk., Wei, S., Dharmawardhana, P., Kumari, S., Amarasinghe, V., Youens-Clark, K., Thomason, J., Preece, J., Pasternak, S., Olson, A., Jiao, Y., Lu, Z., Bolser, D., Kerhornou, A., Walts, B., Wu, G., D'eustachio, P., Haw, R., Croft, D., Kersey, Pj., Stein, L., Jaiswal, P., and Ware, D. 2013. Gramene 2013: Comparative plant genomics resources. Nucleic Acids Res. 42 (1): 1193-1199. Disponible en: <http://www.gramene.org>
- Salamini, F., et. al. 2002. Genetics and geography of wild cereal domestication in the near East. Nature Reviews, Genetics. Volume 3, June 2002. www.nature.com/reviews/genetics
- Slafer, G., Molina-Cano, J.L., Savin, R., Araus, J.L., and Romagosa, I.(eds). 2002. Barley Science: Recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality. Food Products Press®, an imprint of The Haworth Press, Inc. Binghamton, NY, United States of America.
- Tanno, K., Taketa, S., Takeda, K. and Komatsuda, T. 2002. A DNA marker closely linked to the vrs1 locus (row type gene) indicates multiple origins of six-rowed cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.) Theor. Appl. Genet. 104:54-60.
- Takahashi, R. and Hayashi, J. 1987. Studies on chlorotic plants of barley by dominant complementary genes and geographical distribution of the genes concerned. In: Barley Genetics V. Proc. 5th Int. Barley Gent. Symp., Okayama, Japan, pp. 139-144.
- US Grain Council. Consultado en 2019. Barley. © 2019 U.S. GRAINS COUNCIL. WASHINGTON, DC 20001. <http://www.grains.org/barley>
- Veseth, R., and Robertson, L. 2003. Harvest and Storage. In: Idaho Spring Barley Production Guide. Robertson, L., and Stark, J. (eds). University of Idaho, BUL 742.
- Zohary, D., and Hopf, M. 1993. Domestication of Plants in the Old World. Oxford Science Publications.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

- Luis Ponce Molina
- Patricio Noroña
- Diego Campaña
- Javier Garófalo
- Jorge Coronel
- Carlos Jiménez
- Edwin Cruz.

2020



Estación Experimental Santa Catalina-INIAP
Panamericana Sur Km 1
Tel.: +593 2 3006571
E-mail: cereales.eesc@iniap.gob.ec
Web: www.iniap.gob.ec
Quito – Ecuador

Facebook: [agroinvestigacionecuador](https://www.facebook.com/agroinvestigacionecuador)
Twitter: [@INIAPECUADOR](https://twitter.com/INIAPECUADOR)
Youtube: [agroinvestigación iniap](https://www.youtube.com/channel/UC...)