

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

COMPORTAMIENTO DE VARIETADES DE CEBADA MALTERA (*Hordeum vulgare* L.) BAJO DIFERENTES TIPOS Y DOSIS DE FERTILIZACIÓN

TESIS QUE PRESENTA:

Juan Carlos Ángeles Coronado

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN
AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR:

Dra. Gisela Margarita Santiago Martínez

CODIRECTOR:

M.C. Leodegario Osorio Alcalá

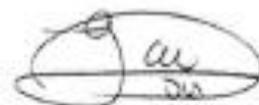
Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca.
Agosto de 2022.

La presente tesis titulada: **Comportamiento de variedades de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) bajo diferentes tipos y dosis de fertilización**, fue realizada bajo la dirección del Consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTORA

DRA. GISELA MARGARITA SANTIAGO MARTÍNEZ



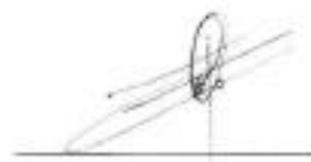
CO-DIRECTOR

M.C. LEODEGARIO OSORIO ALCALÁ



ASESOR

DR. ERNESTO CASTAÑEDA HIDALGO



ASESOR

DR. SALVADOR LOZANO TREJO



Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Agosto de 2022.



Nombre de la Información Documentada:
Formato Autorización de DEPI para entrega
de Tesis.
Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1,
8.2.2, 8.2.3, 8.5.2

Código: ITVO-AC-PR-08-03
Revisión: 1
Página 1 de 1

Nazareno Xoxocotlan, Oaxaca, **29/ Junio/2022**

OFICIO No. DEPI/0633/2022

C. JUAN CARLOS ÁNGELES CORONADO
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS
P R E S E N T E

Con base en los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, respecto a la presentación del examen de grado, me es muy grato comunicarle que esta División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo, **AUTORIZA** la entrega del documento final de su tesis en formato digital (PDF) titulada: **"Comportamiento de variedades de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) bajo diferentes tipos y dosis de fertilización"**.

Cuyo contenido ha sido revisado y aprobado por su Comité Tutorial y cumple en lo general con el formato establecido para este documento, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas.

Sin más por el momento le felicito cordialmente por el logro de esta meta y le reitero el respaldo institucional de su Alma Mater.

ATENTAMENTE

"Ciencia y Tecnología para el Campo"

DR. YURI VILLEGAS APARICIO
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del número de becario (1082267), con el tema de investigación: Comportamiento de variedades de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) bajo diferentes tipos y dosis de fertilización.

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Origen de la cebada	3
2.2 Antecedentes del cultivo	3
2.2 Antecedentes del cultivo	4
2.3 Importancia del cultivo	4
2.4 Taxonomía	6
2.5 Características fenológicas	7
2.6 Requerimientos edáficos	8
2.7 Requerimientos climáticos	9
2.8 Requerimientos nutricionales	10
2.9 Los fertilizantes	11
2.9.1 Abono orgánico bocashi	12
2.10 Los fertilizantes químicos	13
2.11 Crecimiento y desarrollo del cultivo	13
2.12 Grano para malta	14
CAPÍTULO III	16
EFFECTO DE ZONAS EDAFOCLIMÁTICAS Y FERTILIZACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DE CEBADA MALTERA (<i>Hordeum vulgare</i> L.).	16
3.1 RESUMEN	17
3.2 SUMMARY	17
3.3 INTRODUCCIÓN	18
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.4.1 Ubicación de los sitios experimentales	21

3.4.2 Manejo del cultivo	22
3.4.3 Fertilización.....	22
3.4.4 Variables evaluadas	23
3.4.5 Diseño experimental	23
3.4.6 Análisis estadísticos.....	24
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
3.5.1 Comportamiento de variedades de cebada	24
3.5.2. Comportamiento de variedades de cebada	26
3.5.3 Comportamiento de acuerdo al tipo de fertilización	27
3.5.4 Comportamiento de cebada en diferentes zonas edafoclimáticas	29
3.6 Literatura citada	34
CAPÍTULO VII	42
BIBLIOGRAFÍA GENERAL	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadro de análisis de varianza de comportamiento del cultivo de cebada	26
Cuadro 2. Comportamiento de variedades de cebada	27
Cuadro 3. Rendimiento del cultivo de cebada de acuerdo a el tipo de fertilización.....	29
Cuadro 4. Comportamiento de acuerdo al clima.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura y precipitación durante el ciclo otoño-invierno 2021 en las parcelas experimentales Yanhuitlán y Cuilapam, Oaxaca.	33
--	-----------

RESUMEN

En México el 80% de la cosecha de cebada (*Hordeum vulgare* L.) es destinado para la elaboración de malta, este cultivo ocupa el quinto lugar en cuanto a volumen de producción y representa una alternativa de siembra para la temporada otoño-invierno en zonas cálidas. Tiene el potencial de generar ingresos extras a los productores por ello el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de variedades de cebada maltera con diferentes tipos y dosis de fertilización en distintas zonas edafoclimáticas, cultivadas en condiciones de temporal. El experimento fue realizado en las regiones de Valles Centrales y Mixteca del estado de Oaxaca en el año 2021 en donde fueron evaluadas tres variedades Prunella, Brennus y Meztli; tres tipos de fertilización: químico, orgánico y mixto. las variables evaluadas fueron divididas en edafoclimáticas, comportamiento fenológico, rendimiento y calidad de grano. El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar con un arreglo factorial de 2x3x4, se realizaron pruebas de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) No hubo diferencias significativas entre variedades rendimiento y desarrollo, el fertilizante orgánico fue sobresaliente y la zona edafoclimática mixteca presentó las mejores condiciones para el desarrollo del cultivo.

Palabras clave: *Hordeum vulgare* L., clima, variedad, fertilizante, comportamiento.

SUMMARY

In Mexico, 80% of the barley (*Hordeum vulgare* L.) harvest is destined for the elaboration of malt, this crop ranks fifth in terms of production volume and represents a sowing alternative for the autumn-winter season in areas warm. It has the potential to generate extra income for producers, therefore the objective of this study was to evaluate the behavior of malting barley varieties with different types and doses of fertilization in different edaphoclimatic zones, cultivated under rainfed conditions. The experiment was carried out in the Valles Centrales and Mixteca regions of the state of Oaxaca in 2021, where three varieties Prunella, Brennus and Meztli were evaluated; three types of fertilization: chemical, organic and mixed. the evaluated variables were divided into edaphoclimatic, phenological behavior, yield and grain quality. The experimental design used was completely randomized with a 2x3x4 factorial arrangement, mean comparison tests were performed (Tukey, $p \leq 0.05$). The Prunella var was the one that presented the best yield and development, the organic fertilizer was outstanding and the Mixtec edaphoclimatic zone presented the best conditions for the development of the crop.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., climate, variety, fertilizer, behavior.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La cebada es un importante cultivo en los mercados internacionales; De acuerdo a Fernández (2013), de la producción total el 80% es destinada para alimentación y 20% para malta. Según datos de la (United States Department of Agriculture USDA, 2020). Los países productores de cebada son: Polonia, Alemania, Rusia, Francia, Canadá, Australia, Reino Unido y Ucrania. La producción aproximada de este cereal es de 97,000,000 t, en una superficie de 62,000,000 ha (Food and Agriculture Organization FAO, 2019). En México se estima que en el año 2019 se sembraron 364,000 ha de cebada, con una producción total de 1,000,000 t de grano (Centro de Información de Mercados Agroalimentarios CIMA, 2019). Mediante un modelo de producción industrial agresivo con el ambiente y que como resultado ha ocasionado una serie de limitaciones por la presencia atípica de plagas importantes que se pretenden resolver

con un aumento en las aplicaciones de plaguicidas, esto impacta en los costos de producción y la rentabilidad, en la parte ambiental con un considerable aumento en la contaminación, acidificación, e infertilidad del suelo y agua (Pérez, 2019). En este sentido para hacer frente a los problemas derivados de un sistema agroalimentario industrializado y globalizado la agroecología surge como una visión para entender la ecología de los sistemas agrícolas (Altieri, 2011).

Esto recae en la sustentabilidad y la capacidad de los agroecosistemas para y mantener un nivel de productividad de los cultivos a lo largo del tiempo sin exponer los componentes estructurales, funcionales y la contaminación de los recursos naturales (Altieri, 1999). Por ello es importante realizar prácticas agroecológicas que contribuyan a revertir este problema.

De esta manera se tomó como referencia las investigaciones realizadas por González *et al.*, (2017); Sánchez *et al.*, (2019); González *et al.*, (2019). Con la finalidad de corroborar o rechazar su viabilidad para generar alternativas en cultivos de invierno a los productores por ello el objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento de variedades de cebada maltera con diferentes tipos y dosis de fertilización en distintas zonas edafoclimáticas del estado de Oaxaca esperando encontrar una diferencia mínima en cuanto al comportamiento productivo del cultivo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de la cebada

El origen de la cebada es Etiopía y África del norte, las variedades que de ahí proceden se caracterizan por estar cubiertas con barbas largas, en tanto que, de China, Japón y el Tíbet, proceden variedades desnudas, de barbas cortas o sin barbas. (Briggs,1980 y Poehelman 1916).

2.2 Antecedentes del cultivo

El cultivo de cebada en la actualidad se encuentra distribuido en todo el mundo. Se puede producir en zonas calientes y secas, y de igual manera en las zonas templadas desde el ecuador hasta Europa y Japón, en las zonas áridas de África y Asia; hasta regiones inferiores al nivel del mar en palestina (Martínez 1986).

2.2 Antecedentes del cultivo

El cultivo de cebada en la actualidad se encuentra distribuido en todo el mundo. Se puede producir en zonas calientes y secas, y de igual manera en las zonas templadas desde el ecuador hasta Europa y Japón, en las zonas áridas de África y Asia; hasta regiones inferiores al nivel del mar en palestina (Martínez 1986).

Lamich (1959), menciona que el cultivo de cebada es el cereal mas cultivado y se encuentra desde el norte de África y todo el mediterráneo, hasta las proximidades del ártico. Robles (1985), menciona que la cebada es el alimento más antiguo del hombre y es considerada como la primera planta cultivada.

2.3 Importancia del cultivo

La cebada es un cereal con buena adaptación, es posible producirla en diversos climas alrededor del mundo. Este grano es sobre todo de uso industrial; y es destinado a la producción de cerveza y en menor medida para la elaboración de whisky, jarabes, sustitutos de café y alimentos balanceados para ganado y aves de corral (CIMA, 2019). La producción mundial de cebada es de 97 000,000 t aproximadamente para esto se destina una superficie de 62 000,000 de ha para su cultivo (FAO, 2019).

En México el uso más importante es como materia prima para la industria cervecera del total de la producción, 80% es destinada para malta. La cebada ocupa el quinto lugar en volumen de producción dentro de los diez cultivos básicos, solo detrás del maíz, sorgo, trigo y frijol (Fernández, 2013).

De acuerdo a datos reportados por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2019), la producción de cebada maltera en México se concentra en el altiplano central, contempla los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el Estado de México donde su cultivo es principalmente de temporal y en los estados del bajío, Aguascalientes, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí y Jalisco su cultivo es mediante sistema de riego, el cual varía de acuerdo a la disponibilidad de agua en la zona.

El desplome de precios en México, y la baja rentabilidad de los granos, derivada de la influencia del mercado agrícola mundial, lleva a los productores a incursionar en diversas alternativas. Una de éstas consiste en llevar a cabo cambios en el patrón de cultivos, optando por los que ofrecen mejores precios en ciertos ciclos agrícolas como la cebada (Riedemann *et al.*, 2005). Un incentivo importante por la que muestran una actitud positiva hacia para el cultivo, es debido a que presenta ventajas frente al trigo, otro grano apto a ser cultivado en el ciclo otoño invierno, otra ventaja que ofrece este cultivo, es el

mercado, debido a que se produce bajo contrato y este conviene el precio que se les pagará por su cosecha y se asegura el mercado.

Desde el punto de vista agronómico la cebada presenta ventajas sobre el trigo porque demanda menor cantidad de agua, esto se ve reflejado en un menor costo ambiental y la seguridad de que puede cultivarse cuando se presenta escasez de agua, representa un beneficio en la disminución de riegos permitiendo realizar sólo tres riegos durante el ciclo productivo, el cual es 22 días más corto, lo que, en consecuencia, permite a los productores establecer este cultivo antes o después la siembra del maíz (Loeza, 2004).

En contraste con la creciente producción y ventajas que este cultivo plantea, México, durante décadas importó alrededor de un tercio de lo que consumía, y a partir de la entrada en vigencia del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), las importaciones de cebada y de malta, han cubierto el 50% de la materia prima que se consume por la industria (Schwentesiús *et al.*, 2003).

2.4 Taxonomía

De acuerdo con Mateo (2005). La cebada pertenece a la subfamilia Poidae, dentro de la familia Poaceae e incluye plantas cultivadas y espontaneas.

Según Pérez (2014), la clasificación botánica de la cebada:

Reino: Plantae

Division: Magnoliophyta

Clase: Loliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Hordeum*

Especie: *vulgare* L.

De acuerdo con Sullivan (2004), el grano tiene un tamaño entre 7 y los 12 mm, las partes del grano son: cascara, cobertura protectora externa. Capa de aleurona: una capa de células vivas que rodea al endospermo y contiene proteína. Endospermo: la parte más grande del grano, compuesto de gránulos de almidón estos proveen carbohidratos para sustentar el crecimiento del embrión. Embrión: una planta rudimentaria presente en la semilla antes de la germinación.

2.5 Características fenológicas

Grafius (1964), menciona que algunos factores agronómicos que afectan a la cebada maltera son el volumen de una unidad, en el cual el número de espigas por unidad de

superficie, el número de granos por espiga y el peso de los granos, componen un aumento en los componentes, estos establecerán un aumento en el rendimiento, condicionado a que no haya una disminución entre los componentes.

De acuerdo con Halloran (1977) la adaptación a una zona es un fenómeno complejo es resultado de la acción e interacción de caracteres fisiológicos, la respuesta de la planta a la luz y al régimen térmico del ambiente. Por lo tanto, la simultaneidad del desarrollo con unas condiciones climatológicas propicias compone uno de los aspectos principales para optimizar la producción (Perry *et al.*, 1987; Ludlow y Muchow, 1989).

Cada especie presenta respuestas a la variabilidad de los factores ambientales, por lo tanto, es posible elegir genotipos apropiados a cada zona climática en este sentido el cultivo de cebada puede ver perjudicada su producción por el efecto de heladas primaverales atípicas o por altas temperaturas a finales de la primavera (Ford *et al.*, 1989).

2.6 Requerimientos edáficos

De acuerdo con Moreno (1992) la cebada es adaptable a diversos tipos de suelo, se desarrolla bien en suelos ligeros y drenados con buena fertilidad. La

textura óptima es franco-arenosa. Le benefician suelos de textura media. Para un óptimo desarrollo radical necesita por lo menos 30 cm de profundidad de suelo. Es altamente tolerante a la salinidad y muy tolerante a suelos alcalinos, pero no a suelos ácidos. Se desarrolla en un rango de pH de 6.5 a 8.0.

Este cultivo requiere suelos calizos o calcáreos los cuales son favorables para su desarrollo; los suelos con un contenido de nitrógeno excesivo no son favorables ya que inducen el encamado e incrementan el porcentaje de nitrógeno en el grano a niveles inapropiados (Méndez et al., 2012).

2.7 Requerimientos climáticos

La cebada demanda de óptimas condiciones para un buen desarrollo en todas sus etapas. El cultivo no presenta grandes exigencias climáticas, aunque crece mejor en climas frescos y moderadamente secos, con precipitaciones entre 400 y 600 mm anuales y puede desarrollarse en altitudes entre 1800 a los 3000 msnm (Rodríguez, 2018).

Para la germinación del grano es necesario una temperatura mínima de 6°C, florece a los 16 °C y madura a los 20 °C además puede tolerar bajas temperaturas hasta -10°C (INIFAP, 2008).

2.8 Requerimientos nutricionales

La calidad de cebada puede verse afectada por la presencia o ausencia de nutrientes que le resultan necesarios para tener un crecimiento deseado e independiente del producto que se busque obtener (malta o forraje) las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio serán clave para no afectar el rendimiento potencial o la calidad del grano (Gómez, 2006).

Nitrógeno: ayuda al crecimiento de la cebada y puede variar con el periodo de crecimiento del cultivo, el nitrógeno disponible en el suelo, que está relacionado con el nitrógeno residual del cultivo anterior y con las condiciones climáticas (Rodríguez, 2018).

Sin embargo, el exceso de este nutriente produce un encamado en la planta, esta condición no permite mantener erguida la planta debido al debilitamiento del tallo (FAO, 2001). De igual manera disminuye la calidad en cebada empleada para la fabricación de cerveza. Ocurre lo contrario en la cebada destinada a alimentación de ganado, cuya riqueza en proteínas es mayor cuando las proporciones de nitrógeno han sido mayores en el abonado (Prieto-Méndez, 2011).

Fosforo: es absorbido al inicio de la vegetación, su absorción ligada a la del nitrógeno. Aumenta el rendimiento del grano de cebada, así como su tolerancia al frío (Sharma, 2017).

Potasio: aumenta la calidad cervecera y la resistencia al encamado, también ayuda en la síntesis de almidones, la activación de enzimas y en la síntesis de proteínas (Sanders, 1994; Sharma, 2017).

2.9 Los fertilizantes

La agricultura orgánica es una manera de producción sostenible, minimiza el uso de fertilizantes y plaguicidas. Por ello es importante aumentar la eficiencia en el uso de los fertilizantes para disminuir el deterioro del ambiente. Por lo tanto, es necesario implementar tecnologías que permitan la aplicación eficiente con el fin de cumplir la demanda nutricional del cultivo (Delgado *et al.*, 2006). En este sentido, se ha señalado que el uso de fertilizantes es un aspecto relevante, debido al incremento en los costos y el impacto ambiental asociado con su uso inapropiado (Espinoza *et al.*, 2002).

Libreros (2012) menciona que el abono orgánico es el resultado de la descomposición de la materia orgánica por acción de microorganismos presentes en el medio, estos digieren el material y lo transforman en otros

benéficos que aportan nutrientes al suelo y al cultivo. Es un proceso controlado de descomposición de los residuos, que puede ser aeróbico o anaerobio, esto genera un producto estable de alto valor como mejorador del suelo.

Los abonos orgánicos tienen alto contenido de nitrógeno mineral y cantidades significativas de otros elementos nutritivos para las plantas (Quedraogo, 2001). Dependiendo del nivel aplicado, originan un aumento en los contenidos de materia orgánica del suelo, en la capacidad de retención de humedad y en el pH (Courtney y Mullen, 2008).

2.9.1 Abono orgánico bocashi

Según Restrepo (2010), el bocashi ha sido utilizado por los agricultores debido a que aporta una gran cantidad de microorganismos: hongos, bacterias, actinomicetos, que aportan al suelo mejores condiciones de sanidad (Restrepo, 2010). Si bien los contenidos totales de macroelementos son bajos frente a los fertilizantes minerales, la relación entre los elementos es equilibrada y puede ser modificada de acuerdo a las proporciones y los elementos que el agricultor utilice en la elaboración y la calidad del proceso realizado (Restrepo, 2010).

2.10 Los fertilizantes químicos

Se considera fertilizante a la sustancia, simple o compuesta, o una mezcla de ellas, portadora de elementos nutritivos esenciales para el desarrollo vegetal, ya sea por su aplicación al suelo o directamente a las plantas. (Engelstad and Boswell,1985). Los fertilizantes a base de nitrógeno más usados a nivel mundial son urea, amonio y nitrato, y son las principales fuentes de emisión de óxido nitroso, amoniaco y óxido nítrico (Song *et al.*, 2020).

2.11 Crecimiento y desarrollo del cultivo

Las etapas de desarrollo de la planta de cebada son, germinación de la semilla, macollage, encañado, espigadura y llenado de granos.

La germinación y el desarrollo está directamente influenciado por el ambiente, disponibilidad de agua y la nutrición presente en el suelo que se siembra. En la etapa de macollaje se presenta un desarrollo de hojas secundarias a partir de nudos en el tallo, y en particular en la etapa de encañado se produce un rápido crecimiento de tallos (Schwentenius, 2004). La etapa de espigadura comienza con la emergencia y continua con un alargamiento progresivo de esta, hasta que alcanza la posición más alta de la planta. La espiga presenta

un raquis que tiene de 10 a 30 nudos; el color puede variar desde verde a negro (Dobraszczyk, 2004).

Rodríguez (2018) menciona que al comienzo del llenado de granos muestra un contenido acuoso; luego de alcanzar su máxima longitud aumenta de forma progresiva la densidad de su contenido, el cual, se toma de aspecto lechoso y pastoso. El grano sigue creciendo hasta alcanzar la madurez fisiológica; que se produce cuando los granos alcanzan un 40% de humedad; en este momento el último nudo interno se presenta seco.

2.12 Grano para malta

La diferencia que existe en cebada maltera y forrajera se da de forma especial en el contenido de proteína; para la primera, el contenido debe ser menor al 12% para forraje, el contenido debe ser mayor, aun cuando, las estadísticas internacionales no establecen diferencias entre ellas. El contenido de proteína en el grano depende de varios factores entre ellos la fertilización, tipo de suelo, temperatura y la variedad (Pitz, 1990).

La calidad maltera en la cebada es un carácter complejo que depende además de las propiedades físicas del grano, de las enzimas sintetizadas durante el proceso de germinación (Thomas *et al.*, 1996). No obstante, el grano de cebada para malta, debe cumplir con parámetros específicos que involucran

características físicas de los mismos como tamaño y peso del grano, hasta propiedades químicas precisas que determinan el porcentaje de extracto, contenido de proteína, índice Kolbach, poder diastásico, entre otras. (Mather *et al.*, 1997).

Las características de calidad maltera son de tipo cuantitativo, por lo que su expresión no depende solo del genotipo, sino que está influenciado por diversos factores del ambiente y por la interacción del genotipo con el ambiente, haciendo que su herencia sea compleja (Zale *et al.*, 2000).

En la norma mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, se establecen los caracteres que determinan la calidad del grano de cebada maltera para su comercialización. El grano debe presentar 11.5 y 13.5% de humedad, poseer una germinación de 85%, tamaño de grano para uso maltero de 85% un máximo de 5% de granos desnudo y/o quebrados, impurezas 2%, grano dañado hasta 10%, mezclas hasta 10%, peso por hectolitro en cebadas de seis hileras como mínimo 56 kg hL, mientras que en cebadas de dos hileras esta debe tener como valor mínimo 58 kg hL; además, las características organolépticas del grano deben ser las adecuadas cuidando que el grano no este sucio, dañado, manchado, pintado o contaminado, que no tenga un olor a putrefacto, rancio o fermentado

CAPÍTULO III

EFFECTO DE ZONAS EDAFOCLIMÁTICAS Y FERTILIZACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DE CEBADA MALTERA (*Hordeum vulgare* L.).¹

EFFECT OF SOIL AND CLIMATE ZONES AND FERTILIZATION ON THE BEHAVIOR OF MALTING BARLEY (*Hordeum vulgare* L)

Juan Carlos Ángeles Coronado¹
Gisela Margarita Santiago Martínez^{2§}
Leodegario Osorio Alcala³
Ernesto Castañeda Hidalgo²
Salvador Lozano Trejo²
Gerardo Rodríguez-Ortiz ²

¹Programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas.- Tecnológico Nacional de México (TecNM)-Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). (angelescoronadocarlos@gmail.com). ²Division de Estudios de Posgrado e Investigación -TecNM-ITVO. Ex Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71230. Tel. 9515170788. (gisela.sm@voaxaca.tecnm.mx; ernesto.ch@voaxaca.tecnm.mx; lozanos2004@gmail.com; gerardo.rodriguez@voaxaca.tecnm.mx). ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Camino a Sacañil, Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca (leoosorio82@hotmail.com).

[§]Autor para correspondencia: (gisela.sm@voaxaca.tecnm.mx).

¹ Este artículo será enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas en la en la posible fecha 11 de julio del 2022.

3.1 RESUMEN

El cultivo de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) tiene gran importancia en el mundo y 20% de la producción total es destinada para la producción de malta, en México este cultivo ocupa el quinto lugar en cuanto a volumen de producción, este cultivo representa una alternativa de siembra para la temporada otoño-invierno en zonas cálidas generando ingresos extras a los productores por ello el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de variedades de cebada maltera con diferentes tipos y dosis de fertilización en distintas zonas edafoclimáticas, cultivadas en condiciones de temporal. El experimento fue realizado en las regiones de Valles Centrales y Mixteca del estado de Oaxaca en el año 2021 en donde fueron evaluadas tres variedades prunella, brennus y meztli; tres tipos de fertilización: químico, orgánico y mixto. las variables evaluadas fueron divididas en edafoclimáticas, comportamiento fenológico, rendimiento y calidad de grano. El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar con un arreglo factorial de 2x3x4, se realizaron pruebas de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$). La variedad prunella fue la que presento mejor rendimiento y desarrollo, el fertilizante orgánico fue sobre saliente y la zona edafoclimática mixteca presento las mejores condiciones para el desarrollo del cultivo.

Palabras clave: *Hordeum vulgare* L., clima, variedad, fertilizante, comportamiento.

3.2 SUMMARY

The cultivation of malt barley (*Hordeum vulgare* L.) is of great importance in the world and 20% of the total production is destined for the production of malt, in Mexico this crop occupies the fifth place in terms of production volume, this crop represents a sowing alternative for the autumn-winter season in warm areas generating extra income for producers so the aim of this study was to evaluate the behavior of malting barley varieties with different types and doses of fertilization in different soil and climatic zones, grown in conditions of storm. The experiment was conducted in the Central Valley and Mixteca regions of the state of Oaxaca in 2021 where three varieties of prunella, brennus and meztli were evaluated; three types of fertilization: chemical, organic and mixed.

the evaluated variables were divided into soil climate, phenological behavior, yield and grain quality. The experimental design used was a completely random one with a factorial arrangement of 2x3x4, mean comparison tests were performed (Tukey, $p \leq 0.05$). The prunella variety was the one that presented better yield and development, the organic fertilizer was on salient and the mixteca edafoclimatic zone presented the best conditions for the development of the crop.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., climate, variety, fertilizer, behavior

3.3 INTRODUCCIÓN

En el mundo 89 países producen cebada, en regiones subtropicales (África, Brasil), hasta zonas frías (Noruega, Alaska). No obstante, a su amplia distribución, la producción se concentra de manera importante en la Unión Europea ocupando el primer lugar como productor de cebada con el 46.1%; en conjunto con Rusia, Canadá, Australia y Ucrania representan el 73% de la producción mundial de cebada (González *et al.*, 2017). En México el destino de este cultivo es principalmente para la elaboración de malta y el grano requerido por la industria debe llenar un estándar de calidad, principalmente en las características de alto volumen y peso del grano, sanidad y libre de impurezas (Álvarez *et al.*, 2006). Por lo que estos índices de calidad para la industria se determinan por cualidades genéticas, manejo y condiciones edafoclimáticas.

Las características genéticas y el manejo agronómico son variables que pueden controlarse, pero las propiedades del suelo y lluvia son factores incontrolables, que resultan determinantes para obtener un buen rendimiento y una calidad de grano para malta (Gómez *et al.*, 2001).

En 2020 en México fueron sembradas 317, 256 ha de cebada maltera (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP, 2020) en condiciones de riego y temporal. Este cultivo ofrece una alternativa de producción en los valles altos de México, su ciclo corto, le permite producir como cultivo de invierno cuando no es posible lograrlo con especies como maíz y trigo (González *et al.*, 2019). Debido a que los requerimientos hídricos son menores pudiendo aprovechar las últimas lluvias del temporal (Castañeda *et al.*, 2004). En este sentido el área y región son determinantes para un buen potencial el cual está altamente influenciado por el clima, pues determina la variabilidad en los máximos y mínimos rendimientos alcanzables en un cultivo (Lobell *et al.*, 2009).

Por ello la época de siembra es uno de los aspectos importantes en el manejo agronómico del cultivo de cebada, porque está directamente relacionado el rendimiento y la calidad industrial del grano (O'Donovan *et al.*, 2012). Por lo que la diferencia climática y de suelo para producir cultivos, hace más complejo el obtener rendimientos homogéneos de acuerdo a la fluctuación que existe

entre los diferentes ambientes (Ortiz *et al.*, 2005). Bajo este principio, otro aspecto de suma importancia es el efecto de los tipos de fertilización esto con el fin de asegurar altos rendimientos, buena calidad maltera y bajos costos de producción (Lazzari *et al.*, 2001). Por lo tanto, el conjunto de los factores fertilización, practicas agronómicas, variedad y el ambiente en donde sea establecido el cultivo son componentes importantes para un buen desarrollo del cultivo (Alam *et al.*, 2011).

En la actualidad los agricultores con el fin de obtener buenos resultados emplean dosis excesivas de fertilizantes químicos, principalmente nitrogenados, y pesticidas (Grageda-Cabrera *et al.*, 2000). Lo que compromete la rentabilidad en la producción de granos pues esta se ve impactada también por el aumento excesivo en el precio de los fertilizantes químicos y demás insumos agrícolas, lo cual aporta al deterioro del suelo y el abatimiento de los mantos freáticos (Báez *et al.*, 2018). Por ello es preciso efectuar prácticas agroecológicas que ayuden a resolver esta problemática.

De esta manera se tomó como referencia las investigaciones realizadas por Jiménez *et al.* (2019); González *et al.* (2017 y 2019). Con la finalidad de corroborar o rechazar su viabilidad para generar alternativas en cultivos de invierno a los productores, por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento de variedades de cebada maltera con diferentes tipos y

dosis de fertilización en distintas zonas edafoclimáticas del estado de Oaxaca esperando encontrar una diferencia mínima en cuanto al comportamiento productivo del cultivo.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Ubicación de los sitios experimentales

Los experimentos fueron establecidos en los municipios de Santo Domingo Yanhuitlán en las instalaciones del Sitio Experimental Mixteca Oaxaqueña del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) situado en las coordenadas 17°30'30" N y 97°21'01" O, a una altitud de 2,124 m, presenta un rango de temperatura media de 14-18 °C y una precipitación anual de 600-800 mm, con suelo dominante Leptosol (Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, 2020). El municipio de Cuilapam de Guerrero en los Valles Centrales de Oaxaca en la parcela ubicada en las coordenadas 16°58'03" N y 96°46'51" O a una altura de 1,542 msnm, presenta un rango de temperatura media de 18-22°C y una precipitación anual de 600-800 mm, el suelo predominante es Fluvisol (INEGI, 2020).

3.4.2 Manejo del cultivo

La preparación del terreno se realizó en el mes de agosto del 2021 y mediante el sistema de labranza de conservación de acuerdo a la recomendación de Báez-Aguirre (2011). La siembra se realizó de manera manual con una densidad de 100 kg ha⁻¹ de semilla de cebada de las variedades Prunella, Brennus y Meztli en líneas de 25 cm de separación.

3.4.3 Fertilización

La fertilización química se realizó de acuerdo a lo recomendado por Báez-Aguirre (2011) y Huerta *et al.* (2014) e INIFAP (2016). 120-60-60 (kg ha⁻¹ N, P, K, respectivamente) en dos aplicaciones: 60-60-00 al momento de la siembra y 60-00-60 en la etapa de amacollamiento. Orgánica a base de 10 t ha⁻¹ de bocashi de acuerdo a las recomendaciones de Torres *et al.* (2016) y Quiroga *et al.* (2006). aplicado el 100% de la dosis al momento de la siembra.

Mixta fue realizada mediante la combinación de las fertilizaciones antes mencionadas obteniendo como resultado una dosis de 5 t ha⁻¹ de bocashi aplicado al momento de la siembra y 60-30-30 (kg ha⁻¹ N-P-K) aplicando 30-30-00 al momento de la siembra y 30-00-30 al momento del amacollamiento.

3.4.4 Variables evaluadas

El factor clima fue evaluado diariamente durante el ciclo productivo del cultivo con las variables temperatura máxima (T_{mx} , °C), temperatura mínima (T_{mn} , °C), precipitación y (P_p , mm); en tanto el desarrollo vegetal fue medido de acuerdo a días a germinación (DG), número de macollos (NM), número de hojas (NH), crecimiento semanal (CS, cm), crecimiento mensual (CM, cm), altura de tallo (AT, cm), largo de espiga (LSP, cm), área de raíz (AR, cm), largo de raíz (LR, cm); por último, los datos de rendimiento fueron medidos con las variables rendimiento (REN, kg ha^{-1}), peso de mil granos (P1000G, gr), largo de grano (LG, mm) y ancho de grano (AG, mm).

3.4.5 Diseño experimental

Se utilizó diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial $2 \times 3 \times 4$ con tres repeticiones, para un total de 24 tratamientos. La superficie total del experimento fue de $1,200 \text{ m}^2$. Cada unidad experimental fue de 12 m^2 ($2 \times 6 \text{ m}$); con una superficie útil de 4 m^2 . El ensayo se estableció durante el otoño invierno en los meses de septiembre a diciembre de 2021. Las parcelas experimentales tuvieron una dimensión de 36 m de ancho por 20 m de largo.

3.4.6 Análisis estadísticos

Los datos obtenidos se sometieron a un proceso de verificación de homogeneidad de varianza y supuestos de normalidad de errores, mediante pruebas de Bartlett y Shapiro-Wilk ($\alpha=0.05$). Las variables que no cumplieron los criterios de normalidad se sometieron a una transformación con $\sqrt[2]{(x + 1)}$. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de medias Tukey. El software estadístico que se utilizó fue SAS/STAT® 9.4 (SAS Institute Inc., 2016).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Comportamiento de variedades de cebada

El factor C presentó diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en cuanto a las variables de crecimiento, rendimiento y calidad de grano, sin embargo, en la interacción CxV hubo diferencia significativa en las variables NM y NH. en tanto la interacción CxF presento diferencia significativa en CM, AT, REN, P1000G, NM y AR. La interacción CxVxF presento diferencia en CM, AT, NM, NH y AR. (Cuadro 1). Puesto que las condiciones ambientales son esenciales

durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, en especial la temperatura (Mendoza *et al.*, 2011).

De igual manera el factor F fue preponderante y tuvo una alta significancia para las variables CM, AT, LSP, REN, NM, NH, AR y LR. En tanto que en la interacción C×F las diferencias significativas se presentaron en las variables CM, AT, REN, P1000G, NM y AR. La interacción V×F Presento diferencias significativas en las variables AT, REN, NM y NH. y en la interacción C×V×F las variables con alta significancia fueron CM, AT, NM, NH y AR. Lo anterior muestra que aplicar mayor cantidad de fertilizante solo generara forraje por lo tanto es innecesario y además aumenta los costos de producción (Báez *et al.*, 2018). En tanto el factor V presentó alta significancia en las variables DG, NM, NH, AT, AR. En la interacción C×V las variables alta mente significativas fueron NM y NH. En la interacción V×F la alta significancia se presentó en las variables AT, REN, NM y NH. La interacción de los factores C×V×F presento diferencia altamente significativa en las variables CM, AT, NM, NH y AR. Debido a que, en cebada, el cultivar tiene una función importante en el rendimiento de grano, y las características agronómicas, como el potencial de rendimiento, macollos por planta y calidad física del grano, permiten mejorar la estabilidad del rendimiento (Friedt *et al.*, 2011). Esta variación se debe a que los genotipos generalmente muestran adaptaciones específicas a determinadas condiciones ambientales (Bolandi *et al.*, 2012).

Cuadro 1. Cuadro de análisis de varianza de comportamiento del cultivo de cebada

Variable	GLE	C	F	V	C x V	C x F	V x F	C x V x F	CV%
CM	326	116.04**	14.89**	0.77 ^{ns}	0.67 ^{ns}	13.23**	2.85 ^{ns}	3.24**	13.9
GE	332	40.96 ^{ns}	46.00*	36.20 ^{ns}	0.68 ^{ns}	10.82 ^{ns}	16.04 ^{ns}	14.38 ^{ns}	5.1
AT	332	21811.17**	6536.83**	1052.26**	100.05 ^{ns}	715.52**	1553.17**	540.96**	5.2
LSP	328	5.00 ^{ns}	33.04**	7.79 ^{ns}	5.48 ^{ns}	13.93 ^{ns}	6.65 ^{ns}	14.34*	4.3
REN (kg ha ⁻¹)	48	6340.95**	158.71**	5.99 ^{ns}	5.44*	95.77**	70.23**	35.05*	13.8
P1000G	48	7605.55**	16.81 ^{ns}	5.56 ^{ns}	76.22*	223.62**	17.70 ^{ns}	28.52*	15.84
DG	336	2.33**	0.26 ^{ns}	0.48**	0.05 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.41 ^{ns}	0.23 ^{ns}	13.55
NM	336	39.33**	2.41**	6.90**	4.47**	9.73**	2.46**	1.65**	18.37
NH	336	87.02**	21.05**	2.43**	8.74**	0.61 ^{ns}	2.95**	2.10**	15.66
AR	336	130.80**	74.94**	75.66**	4.07 ^{ns}	15.45**	3.72 ^{ns}	9.81**	16.00
LR	336	629.26**	52.35**	2.98 ^{ns}	1.65 ^{ns}	3.43 ^{ns}	4.24 ^{ns}	5.17*	10.88
AG	456	33.96**	0.07 ^{ns}	0.75*	0.06 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.16 ^{ns}	16.53
LG	456	969.46**	0.60 ^{ns}	2.32*	0.23 ^{ns}	1.23 ^{ns}	1.11 ^{ns}	0.44 ^{ns}	11.43

GLE= grados de libertad del error; C= clima; F= fertilización; V= variedad; CxV= interacción clima variedad; CxF= interacción clima fertilización; VxF= interacción variedad fertilización; CxVxF= interacción clima variedad y fertilización; CS= crecimiento semanal; CM= crecimiento mensual; GE= granos por espiga; AT= altura de tallo; LSP= largo de espiga; REN= rendimiento; P10S= peso de 10 espigas; P1000G= peso de 1000 granos; DG= días a germinación; NM= número de macollos; NH= número de hojas; AR= ancho de raíz; LR= largo de raíz; AG= largo de grano; LG= largo de grano; CV%= coeficiente de variación; ns= no significativo; *=significativo; **= altamente significativo; Tukey P<0.05.

3.5.2. Comportamiento de variedades de cebada

No se presentó una diferencia significativa entre variedades de cebada en cuanto a rendimiento, en crecimiento la var. Bren tuvo un crecimiento menor, en cuanto a la variable altura de tallo la var. Prun, que presentó mejor comportamiento en cuanto a variables fenológicas, esto se debe a que los genotipos generalmente muestran adaptaciones específicas a determinadas condiciones ambientales (Bolandi *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Comportamiento de variedades de cebada

Variable	Variedad		
	Prun	Bren	Mezt
CM (cm)	3.45 ± 0.08a	3.36 ± 0.09ba	3.29 ± 0.08b
GE	5.3 ± 0.04a	5.19 ± 0.03a	5.16 ± 0.03a
AT (cm)	7.58 ± 0.14a	7.1 ± 0.1b	6.98 ± 0.1b
LSP (cm)	4.61 ± 0.03a	4.59 ± 0.02a	4.55 ± 0.03a
REN (kg ha ⁻¹)	1055.6 ± 2.27a	1056.75 ± 2.28a	1003.5 ± 2.27a
P1000G	30.33 ± 0.2a	30.33 ± 0.23a	29.5 ± 0.24a
DG	2.02 ± 0.007a	2.03 ± 0.01a	2.06 ± 0.01a
NM	2.12 ± 0.01ba	2.12 ± 0.02ba	2.15 ± 0.01a
NH	2.38 ± 0.01ba	2.43 ± 0.02a	2.41 ± 0.02a
AR (cm)	3.79 ± 0.02ba	3.87 ± 0.04a	3.83 ± 0.02ba
LR (cm)	3.44 ± 0.02b	3.29 ± 0.06c	3.38 ± 0.02cb

CM= crecimiento mensual; GE= granos por espiga; AT= altura de tallo; LSP= largo de espiga; REN= rendimiento; P10S= peso de 10 espigas; P1000G= peso de 1000 granos; DG= días a germinación; NM= número de macollos; NH= número de hojas; AR= ancho de raíz; LR= largo de raíz; AG= largo de grano; LG= largo de grano. Los promedios se acompañan de ± error estándar; letras distintas en una misma hilera representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

3.5.3 Comportamiento de acuerdo al tipo de fertilización

El análisis estadístico empleado no mostró diferencia significativa entre los tratamientos de fertilización, sin embargo, en cuanto a rendimiento la fertilización MIX tuvo una diferencia de 143 k frente a la fertilización a base de BOCASH. En tanto los tratamientos QUIM y CERO presentaron diferencias frente a BOCASH de 380 k y 480 k respectivamente, esta información se representa en el Cuadro 3. De esta forma se coincide con lo reportado por Montemurro *et al.* (2006) los cuales mencionan que la mezcla de fertilizantes

orgánicos e inorgánicos puede remplazar parcialmente los requerimientos nutricionales del cultivo en función del rendimiento.

Esto debido a los altos contenidos de nitrógeno y cantidades elevadas de elementos nutritivos para las plantas lo que ocasionó un aumento en el contenido de materia orgánica del suelo, en la capacidad de retención de humedad y en el pH de acuerdo a lo que comprobó Ramos *et al.* (2014).

De manera que la absorción de nutrientes por las plantas aportado por los este fertilizante, fue positivo y podrían relacionarse con la disponibilidad de agua el ciclo del cultivo puesto que un primer indicador de esta disponibilidad es la cantidad de mm de lluvia presentes durante el desarrollo del cultivo Aguinaga (2004) en contra parte y de acuerdo a la investigación de Lázzari *et al.* (2001) el efecto de aplicación de urea no fue significativo en el rendimiento de modo que no es un fue un factor relevante para la productividad de grano del en comparación con la producción de biomasa esto señala Torres-Moya *et al.* (2016) y Ahmad *et al.* (2011) donde la disponibilidad de N de los fertilizantes inorgánicos en contraste con los abonos orgánicos es elevada pero tiene que ser absorbida de forma eficiente debido a su alta volatilidad en comparación con los abonos orgánicos los cuales liberan nutrientes de forma lenta, debido a que este proceso depende de la actividad microbiana en el suelo y de factores abióticos esto dificulta garantizar las necesidades nutricionales de los

cultivos inmediatamente después de su aplicación presentando diferencias a partir del segundo o tercer ciclo productivo (Chen, 2006; Chang *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Rendimiento del cultivo de cebada de acuerdo a el tipo de fertilización

Variable	Fertilización			
	BOCASH	MIXT	QUIM	CERO
CM (cm)	3.67 ± 0.08a	3.68 ± 0.11a	3.31 ± 0.09a	2.82 ± 0.08a
GE	5.21 ± 0.03ba	5.1 ± 0.04b	5.24 ± 0.04ba	5.27 ± 0.04a
AT (cm)	7.45 ± 0.08b	7.71 ± 0.08a	7.12 ± 0.1c	6.17 ± 0.11d
LSP (cm)	4.58 ± 0.02ba	4.48 ± 0.03b	4.59 ± 0.02ba	4.46 ± 0.02a
REN (kg ha ⁻¹)	1146 ± 3ba	1289 ± 2.93a	909.6 ± 2.07bc	809.1 ± 2.15c
P1000G	30.44 ± 0.22a	28.66 ± 0.21a	30.88 ± 0.23a	30.22 ± 0.35a
DG	2.03 ± 0.009a	2.03 ± 0.01a	2.05 ± 0.01a	2.04 ± 0.01a
NM	2.14 ± 0.02a	2.18 ± 0.02a	2.13 ± 0.01a	2.03 ± 0.01b
NH	2.45 ± 0.02a	2.43 ± 0.02a	2.44 ± 0.02a	2.23 ± 0.02a
AR (cm)	3.92 ± 0.02a	3.83 ± 0.03b	3.82 ± 0.02b	3.67 ± 0.03c
LR (cm)	3.64 ± 0.03a	3.41 ± 0.02b	3.36 ± 0.02b	3.21 ± 0.03c

CM= crecimiento mensual; GE= granos por espiga; AT= altura de tallo; LSP= largo de espiga; REN= rendimiento; P10S= peso de 10 espigas; P1000G= peso de 1000 granos; DG= días a germinación; NM= número de macollos; NH= número de hojas; AR= ancho de raíz; LR= largo de raíz; AG= largo de grano; LG= largo de grano. Los promedios se acompañan de ± error estándar; letras distintas en una misma hilera representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

3.5.4 Comportamiento de cebada en diferentes zonas edafoclimáticas

El Cuadro 3 se representa las diferencias puntuales entre los factores, respecto a los climas evaluados YANH tuvo un rendimiento 3.7 veces mayor que lo obtenido en el sitio CUILP, en un cuanto a las variables fenológicas y calidad de grano debido a la influencia de las bajas temperaturas presentadas

en el desarrollo del cultivo REN y desarrollo (CS, CM, AT, DG, NM, NH, LR y AR). Hossain *et al.* (2012) mencionan que el comportamiento es afectado en gran medida por la fecha de siembra, principalmente por efecto de la variación de temperaturas en climas cálidos por ello se desarrollara mejor en la temporada otoño-invierno tratando de aprovechar las últimas lluvias del ciclo de temporal (Mendoza *et al.*, 2011). Resultados similares fueron reportados por Castro *et al.* (2010) quienes mencionaron que los rendimientos están condicionados a los factores de ambiente y genotipo. De esta forma también Pérez-Ruiz *et al.* (2015) al comparar diferentes zonas edafoclimáticas encontró diferencias estadísticas en el rendimiento de grano en ambientes similares a los estudiados en este trabajo debido a que el rendimiento esta vinculado fundamentalmente a los efectos ambientales durante el ciclo biológico del cultivo. En este sentido los resultados de este estudio coinciden con los obtenidos por Negash *et al.* (2013) quienes evaluaron la estabilidad del rendimiento de grano en trigo, hallaron que el efecto que contribuyó más a la varianza total del comportamiento fue el correspondiente al factor ambiente.

Cuadro 4. Comportamiento de acuerdo al clima

Variable	Clima	
	Yanh	Cuilp
CM (cm)	3.94 ± 0.02a	2.79 ± 0.01b
GE	5.17 ± 0.02a	5.24 ± 0.02a
AT (cm)	7.64 ± 0.02a	6.59 ± 0.05b
LSP (cm)	4.56 ± 0.02a	4.58 ± 0.02a
REN (kg ha ⁻¹)	1633.66 ± 0.02a	443.61 ± 0.4b
P1000G	40.33 ± 0.02a	19.77 ± 0.1b
DG	2.06 ± 0.02a	2.02 ± 0.005b
NM	2.19 ± 0.02a	2.04 ± 0.005b
NH	2.49 ± 0.02a	2.28 ± 0.005b
AR (cm)	3.33 ± 0.02a	3.5 ± 0.005a
LR (cm)	3.99 ± 0.02a	3.62 ± 0.005b

CM= crecimiento mensual; GE= granos por espiga; AT= altura de tallo; LSP= largo de espiga; REN= rendimiento; P10S= peso de 10 espigas; P1000G= peso de 1000 granos; DG= días a germinación; NM= número de macollos; NH= número de hojas; AR= ancho de raíz; LR= largo de raíz; AG= largo de grano; LG= largo de grano. Los promedios se acompañan de ± error estándar; letras distintas en una misma hilera representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Las temperaturas diarias y precipitación que imperaron en el ciclo productivo del cultivo en el sitio experimental Cuilapam en el cual se observó que las temperaturas máximas (Tmax) estuvieron dentro de un rango de 18 a 34 C⁰ y la temperatura mínima (Tmin) de 5 a 18 C⁰ durante el ciclo productivo lo cual genero alta concentración de unidades calóricas y por tanto una disminución en el rendimiento del cultivo, en tanto la precipitación (Pp) tuvo un volumen de 380.4 mm. En contraste con las temperaturas que tuvieron lugar en el sitio experimental Yanhuítlán en donde las Tmax estuvieron en un rango de 15 a 30 C⁰ y la Tmin estuvo en un rango de entre -3 a 15 C⁰ genera una menor acumulación de horas frío, em tanto la Pp tuvo un volumen de 471 mm. estos datos de representan en la Figura 1. Para el análisis de estos datos fue

realizada una prueba estadística T Student para muestras independientes el cual mostró que las variables Pp no hubo diferencia significativa, mientras que las variables Tmax y Tmin presentaron diferencias altamente significativas, por lo que, de acuerdo con Pérez-Ruiz *et al.* (2016) las bajas temperaturas favorecen el amacollamiento de la cebada y elevan el rendimiento al generar mayor número de espigas por ello es importante establecer el cultivo en la temporada de invierno en zonas cálidas. De igual manera Lobell *et al.* (2009) mencionan a las condiciones ambientales como factor determinante para el rendimiento del grano pues este es influenciado por las altas temperaturas y la escases de agua en las etapas críticas del desarrollo. Por ello también la precipitación se presenta como componente importante debido a que ayuda a la disponibilidad de nutrientes (Hussain *et al.*, 2013). El rendimiento de un cultivo es el resultado final de una compleja interrelación entre los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos, fuertemente afectados por factores genéticos y ambientales, y principalmente por la interacción de ambos (Slafer, 2007).

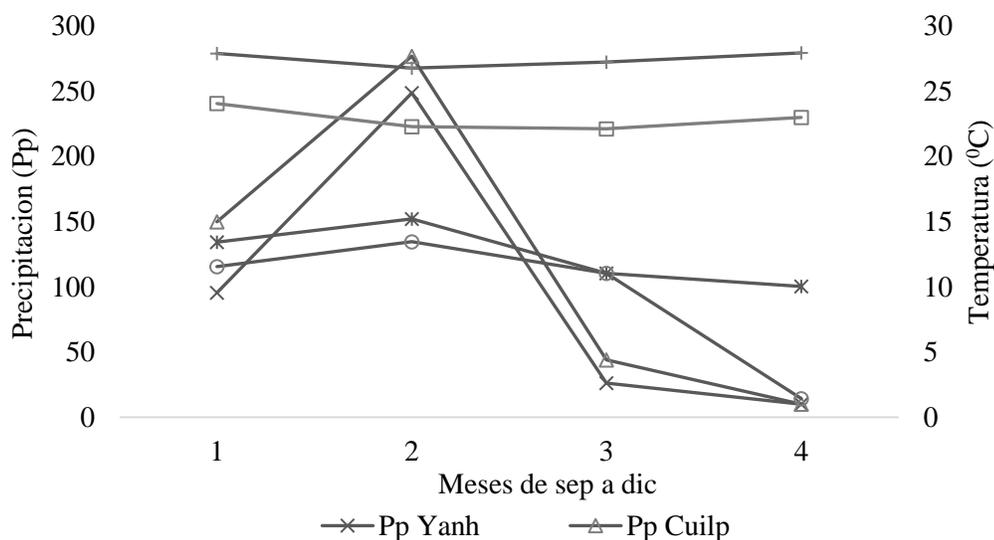


Figura 1. Temperatura y precipitación durante el ciclo otoño-invierno 2021 en las parcelas experimentales Yanhuitlán y Cuilapam, Oaxaca.

CONCLUSIONES

Las variedades empleadas no mostraron diferencias significativas entre ellas puesto que estuvieron a igualdad de circunstancias en los dos climas establecidos. Por lo que se concluye que el factor determinante para esta investigación fue el clima.

La aplicación de materia orgánica en los suelos mediante abonos orgánicos aumenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo y como resultado un mejor ciclo productivo del cultivo en este caso el tratamiento mixto a base de bocashi y fertilizante fue sobre saliente en comparación con los tratamientos 100% orgánico y químico.

Las condiciones ambientales de los sitios de desarrollo del cultivo influyeron en el comportamiento agronómico, rendimiento y de calidad física del grano, esta puede ser una alternativa viable como cultivo de invierno para zonas cálidas, pero está altamente condicionada a que la constante de temperatura no sea mayor a 30 C⁰, y a que las precipitaciones residuales del temporal sean elevadas para tener rendimientos aceptables.

AGRADECIMIENTOS

Al Sitio Experimental Mixteca Oaxaqueña del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias por las facilidades para la realización de este trabajo.

3.6 Literatura citada

- Álvarez, P.; Luna, M.; Hernández, J.; Lara, A.; Salas, M. y Cabañas, B. 2006. Sistemas de producción de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) en el estado de Zacatecas, México. *Técnica en México*. 32 (2): 181-190.
- Aguinaga, A. 2004. Análisis de las relaciones entre proteínas de reserva, calidad maltera y ambiente de cultivo en cebada cervecera. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 149 p.
- Ahmad, A. H.; Wahid, A.; Khalid, F.; Fiaz, N. & Zamir, M. S. I. Impact of organic and inorganic sources of nitrogen and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of forage oat (*Avena sativa* L.). *Cercetari Agronomice in Moldova*. 147:39-49, 2011.
- Alam, M. Z., S. A. Haider, and N. K. Paul. 2007. Yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) in relation to sowing times. *J. Biol.* 15: 139-145. <https://doi.org/10.3329/jbs.v15i0.2154>
- Báez-Pérez A.; Arreola J.; Bernard T.; Bautista A. y Licea P. 2018. Implementación de siembra directa para producción de cebada maltera en el estado de Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:(8). 1509-19. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i8.1317>.
- Báez, M.; Aguirre, J. 2011. Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo *Terra Latinoamericana*. 29:(2). 113-121.
- Bolandi, A., A. A. Imani, H. Shahbazi, and A. Mehraban. 2012. The study of compatibility and stability of grain yield in barley advanced genotypes in tropical and subtropical rainfed regions. *Ann Biol. Res.* 3: 5540-5544.

- Castañeda, M. C. S.; López, C. C.; Molina, M. J.; Colinas, L. T. B. y Livera, H. A. 2004. Crecimiento y desarrollo de cebada y trigo. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:167-165.
- Castro, A., Benítez, A., Hayes, P., Viega, L. y Wright, L. 2010. Coincident quantitative trait loci effects for dormancy, water sensitivity and malting quality traits in the BCD47 × Baronesse barley mapping population. *Crop and Pasture Science*, 61 (9), 691-699. doi: 10.1071/CP10085.
- Chang, K.; Wu, R.; Chuang, K.; Hsieh, T. & Chung, R. 2010. Effects of chemical and organic fertilizers on the growth, flower quality and nutrient uptake of *Anthurium andreanum*, cultivated for cut flower production. *Sci. Hortic.-Amsterdam*. 125 (3):434-441
- Chen, J. H. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use. Thailand: Land Development Department.
- Friedt, W., R. D. Horsley, B. L. Harvey, D. M. Poulsen, R. Lance, S. Ceccarelli, and F. Carpettini. 2011. Barley breeding, history, progress, objectives and technology. *In: Barley: production, improvement and uses*. Ullrich S. E. (ed.). Blackwell Publishing Ltd. pp: 160-220.
- González, M.; Zamora M. y Solano S. 2017. Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:(1). 159-71. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i1.380>.

- González, S.; Viega, L., Beretta, A.; Córdoba, M. y Rossi, C. 2019. Efecto de la temperatura y la precipitación durante el llenado de grano sobre la dormición y sensibilidad al agua en granos de cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Agriscientia*. 36 (2): 19-27.
- Gómez, M.; Turrent, F.; Ortiz, S. y Peña, O. 2001. Productividad en cebada maltera. I. Uso de factoriales en el estudio integrado de factores controlables e incontrolables. *Agric. Téc. Méx.* 27:84-94.
- Grageda-Cabrera, O. A.; Esparza-García, F.; Zapata, F. and Peña-Cabriales, J. J. 2000. Influence of sorghumcrop residue management on the recovery of la belled fertilizer by wheat in Mexico. *Journal of Sustainable Agricultural* 16:75-91.
- Hussain, M., M. B. Khan, Z. Mehmood, A. B. Zia, K. Jabran, and M. Farooq. 2013. Optimizing row spacing in wheat cultivars differing in tillering and stature for higher productivity. *Arch. Agron. Soil Sci.* 59: 1457-1470.
- Hossain, A., J. A. Teixeira da Silva, M.V. Lozovskaya, V. P. Zvolinsky, and V. I. Mukhortov. 2012. High temperature combined with drought affect rainfed spring wheat and barley in south-eastern Russia: Yield, relative performance and heat susceptibility index. *Journal of Plant Breed. Crop Sci.* 4: 184-196.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2020. Mapas territoriales. (Consultado: 16/02/22). Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>

- INIFAP. 2016. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 16. ISBN 978-607-37-0667-4
- Jiménez-Sánchez E., Rodríguez-Sánchez I. A., Guzmán-Ortiz F. A., Román Gutierrez A. D. 2009. Mejoramiento en la producción de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) mediante el uso de abonos verdes. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos vol 4. 38-47 pp.
- Lazzari, M.; Landriscini, M.; Cantamutto, M.; Miglierina, A.; Rosell, R. Mockel, F.; Echague, M. 2001. Absorción de nitrógeno por cebada cervecera en dos suelos del sur Bonaerense. Ciencia del Suelo. 19(2):101-102
- Lobell, D., Cassman, K., Field, C., 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes and Causes. Ann. Rev. Environ. Resour. 34: 179-204.
- Mendoza M., Cortez E., Rivera J. G., Rangel J. A., Andrio E., y F. Cervantes. 2011. Época y densidad de siembra en la producción y calidad de semilla de triticale (*X Triticum secale* Wittmack). Agron. Mesoamericana 22: 309-316.
- Montemurro, F.; Maiorana, M.; Convertini, G. & Ferri, D. 2006. Compost organic amendments in fodder crops: effects on yield, nitrogen utilization and soil characteristics. Compost Sci. Util. 14 (2):114-123.
- Negash, A.W., H. Mwambi, T. Zewotir, and G. Taye. 2013. Additive main effects and multiplicative interactions model (AMMI) and genotype main effect and genotype by environment interaction (GGE) biplot analysis of

multi-environmental wheat variety trials. African Journal of Agricultural Research 8(12):1033-1040

O'Donovan J. T., T. K. Turkington, M. J. Edney, P. E. Juskiw, R. H. McKenzie, K. N. Harker, G. W. Clayton, G. P. Lafond, C. A. Grant, S. Brandt, E. N. Johnson, W. E. May, and E. Smith. 2012. Effect of seedling date and seedling rate on malting barley production in western Canada. Can. J. Plant Sci. 92: 321-330.

Ortiz, S. C. A.; Gutiérrez, C. M. C. y Nieves, F. J. 2005. Estimación de rendimientos de maíz con el método FAO en el ejido de Atenco, Estado de México. Rev.Geografía Agríc. 35:57-65

Pérez-Ruiz, A., Mauro Zamora-Díaz, José Mejía-Contreras, Adrián Hernández-Livera, y Salomón Solano Hernández .2015. Estabilidad del rendimiento de grano en cebada maltera en el bajío, México. Chilean J. Agric. Anim. Sci., Agro-Ciencia. 31(3): 12-19.

Pérez-Ruiz, J. A., Mauro Zamora-Díaz, J. A., Mejía-Contreras, A. Hernández-Livera, A. Salomón Solano-Hernández. 2016. Evaluación de 10 genotipos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en cinco fechas de siembra y dos ciclos agrícolas. Agrociencia 50: 201-213.

Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E., & Peinemann, N. (2006). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pamapas of Argentina. Soil & Tillage Research, 90, 63-68.

- Huerta-Zurita, R., Mauro R. Zamora Díaz, Salomón Solano Hernández y Martha Laura López Cano. 2014. Friabilidad de malta y predicción de calidad en el mejoramiento genético de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.5 Núm.4 pp. 577-590
- Ramos-Agüero, D., Terry-Alfonso, E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas *Cultivos Tropicales*. 35:(4). 52-59
- SAS Institute. 2016. SAS/SAT User's Guide. Version 6.09. SAS Inst., Cary. NC. pp: 100-120.
- SIAP. SADER. 2020. secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx>, consultado el 15 de mayo del 2022.
- Slafer, G.A. 2007. Physiology of determination of major wheat yield components. p. 557–565. In H.T. Buck, J.E. Nisi and N. Salomón (eds.). *Wheat Production in Stressed Environments*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Torres-Moya, Edwin; Ariza-Suárez, Daniel; Baena-Aristizabal, Carlos D.; Cortés-Gómez, Sebastián; Becerra-Mutis, Laura; Riaño-Hernández, Camila A. 2016. Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avenasativa*). *Estación Experimental de Pastos*

y Forrajes "Indio Hatuey" Matanzas, Cuba. Pastos y Forrajes. 39 (2):
102-110

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Altieri, M. 1999. Agroecología bases científicas para una agricultura sustentable. Ed. Nordan–Comunidad. Uruguay. 29-63 pp.
- Altieri M. y Toledo V. 2011. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies* 38: 587–612.
- CIMA. 2019. Reporte del mercado de la cebada. Centro de Información de Mercados Agroalimentarios.
- Courtney, R. G. y Mullen, G. J. 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. *Bioresource Technology*. 99: 2913-2918. ISSN 1873-297

- Delgado, R. y Salas, A. M. 2006. Consideraciones para el Desarrollo de un sistema integral de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo y aplicación de fertilizantes para una agricultura sustentable en Venezuela. *Agronomía Tropical*. pp. 289-323. ISSN 0002-192X
- Dendy, D. A. y Dobraszczyk, B. J. 2004. Cereales y productos derivados, química y tecnología. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 403-421 pp.
- Engelstad P and Boswell, F. 1985. Soil Science Society of America. Editorial:Madison, Wis. : 633 p.
- Espinoza, J. y Mite, F. 2002. Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano. *Revista Informaciones Agronómicas*. 48: 4-9.
- FAO, 2001. Manejo integrado de la fertilidad de los suelos de Nicaragua. Proyecto (Manual del extensionista) GCP /NIC /025 /NOR. INTA/ FAO. Gobierno de Nicaragua y Noruega. 130 pp.
- FAO. 2019. Perspectivas agrícolas 2019-2028 Enfoque Especial: América Latina. Food and Agriculture Organization. 133 p
- Fernandez, P. 2013. La fertilización en el laboreo de conservación. En *Agricultura de Conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*. Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos. 75-104 pp
- González, M., Zamora M. y Solano S. 2017. Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:(1). 159-71. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i1.380>.

- González, S., Viega, L., Beretta, A.; Córdoba, M. y Rossi, C. 2019. Efecto de la temperatura y la precipitación durante el llenado de grano sobre la dormición y sensibilidad al agua en granos de cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Agriscientia*. 36 (2): 19-27.
- Halloran, G.M. 1977. Developmental basis of maturity differences in spring wheat. *Agron. J*, 69:899-902.
- INIFAP. 2011. Manejo Integrado del Cultivo de Cebada en Condiciones de Temporal en San Luis Potosí. Folleto técnico No 40. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México. 56 p.
- Lamich. J. 1959. Cebada, Variedades Cerveceras y Cerveza. Ed. AEDAS. Barcelona, España.
- Libreros, S. 2012. La caña de azúcar fuente de energía: compostaje de residuos industriales en Colombia. *Tecnicaña*. 28: 13-14. ISSN 0123-0409.
- Ludlow, M. y Muchow, R. 1989, A critical evaluation of traits for improving crop yield in water-limited environments. *Adve in agron*, 43:107-153.
- Mateo, J. 2005. Cultivos Agrícolas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. España. 580 p.
- Maathius, F. and Sanders. 1994. Mechanism of high affinity potassium uptake in roots of arabidosis thaliana. *ProC. Natl. Acad. Sci*. 91: 9272-9276.
- Mather, D. E.; Tinker, N. A.; Laberge, D. E.; Edney, M.; Jones, B. L.; Rossnagel, B. G.; Legge, W. G.; Briggs, K. G.; Irvine, R. B.; Falk, D. E. and Kasha, K. J.

1997. Regions of the genome that affect grain and malt quality in a North American two row barley cross. *Crop Science*. 37:544-554.
- Méndez, J., Prieto F., Roman A. y Acevedo, O. 2012. Análisis proximal del cultivo de cebada maltera (*Hordeum sativum* Jess) del sur del estado de Hidalgo y su relación con la calidad de suelos. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12 (2): 447-455.
- Méndez, V. 2013. La agroecología como un enfoque transdisciplinar, participativo y orientado a la acción. *Agroecología* 8: 9-18
- Moreno, R. 1992. Criterio para la interpretación de resultados de análisis de suelos. INIFAP Campo Experimental de Toluca. Estado de México. México. 25 p.
- Pérez. J. 2014. Rendimiento de grano, fenología y calidad de semilla en genotipos de cebada. Instituto de enseñanza e investigación de ciencias agrícolas. Estado de Mexico. Mexico. 36 p.
- Pérez, M. 2019. Plaguicidas altamente peligrosos utilizados en el Bajío de Guanajuato. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A. C. Texcoco. México. 221-247 pp.
- Pitz, W. 1990. An analysis of malting Research. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 48:33-44
- Poehlman J. 1976. *Mejoramiento Genético de la Cosecha* la Ed. LIMUSA México.
- Ouédraogo, E.; Mando, A. y Zombré, N. P. 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West

- Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 84 (3): 259-266 ISSN 0167-8809.
- Restrepo, J. 2010. A, B, C de la agricultura orgánica y panes de piedra: Abonos orgánicos fermentados. Colombia: Feriva S.A. 86 pp. ISBN 978-958-44-126-1.
- Robles, S. 1985. Producción de Granos y Forrajes. 4ª Ed. LIMUSA. México
- Rosales, C. 1999. El cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare*) y sus principales plagas y enfermedades. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División de Agronomía Departamento de Fitomejoramiento. Coahuila, México 104 pp.
- Rodríguez, I. 2017. Enriquecimiento de suelos a través del uso de abonos verdes y su efecto en cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México
- Rodríguez, I y Jimenez, E. 2018. Efecto de enriquecimiento de suelos con abonos verdes sobre la producción de cebada maltera. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 99 p.
- SADER, 2019. Reporte del mercado de cebada en México, México. 11 p.
- Song, L., J. Drewer, B., Zhu, M., Zhou, N., Cowan, P. and U, Skiba. 2020. The impact of atmospheric N deposition and N fertilizer type on soil nitric oxide and nitrous oxide fluxes from agricultural and forest Eutric Regosols. *Biol. Fert. Soils* 56: 1077-1090. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01485-6>.

- Schwentenius, R.; Aguilar, A., y Gómez, C. 2003. La cadena industrial de cebada - malta - cerveza: propuesta para la renegociación del TLCAN y política de fomento para su reconstrucción. In: El campo no aguanta más. Schwentenius R., R.; Gómez C., A. y Calva, J. L. (coord.). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. p. 133-157.
- Steffen-Riedemann, C. y Echánove-Huacuja, F. 2005. La sustitución del trigo por cebada en tierras ejidales de riego de Guanajuato, México: una alternativa efímera Cuadernos Geográficos. Universidad de Granada Granada, España núm. 37: 135-151 pp.
- Sharma, M. 2017. Guía para la identificación de las deficiencias de nutrientes en cereales. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México.
- Sullivan, P.M. 2004 National Barley Foods Council.
- Thomas, W.; Powell, W.; Swanston, J.; Ellis, R.; Chalmers, K.; Barua, M.; Lea, V.; Foster, B.; Waugh, R. and Smith, D. 1996. Quantitative trait loci and malting quality characters in a spring barley cross. *Crop Science* 36:265-273.
- Zamora, D., 2009., Variedad de cebada maltera para temporal de mediana y buena productividad en Valles Altos. Catálogo de Productos y Servicios. Valles altos de la Región Centro de México.2: 39-42.
- Zale, J. M.; Clancy, J. A.; Ulrich, S. E.; Jones, B. L.; Hayes, P. M. and The North American Barley Genome Mapping Project. 2000. Summary of barley malting quality QTLs mapped in various populations. *Barley Genetics Newsletter*. 30:44-54.