

CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CENTRO DE MÉXICO: IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) EN TLAXCALA

CLIMATE CHANGE IN CENTRAL MEXICO: IMPACT ON BARLEY PRODUCTION (*Hordeum vulgare*) IN TLAXCALA

Joel O. Calderón-García¹; Alejandro I. Monterroso-Rivas^{1*} y Jesús D. Gómez-Díaz¹

¹ Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, km 38. carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP 56230.* Autor para correspondencia.

RESUMEN

Se evaluó la producción histórica de cebada para diez años (2003-2012) así como bajo escenarios de cambio climático para el futuro cercano (2015-2039) y para el futuro lejano (2075-2099) en el municipio de Calpulalpan, Tlaxcala. Se realizó una evaluación de las regiones aptas para la producción así como también se estimó el rendimiento de cebada histórico y futuro considerando escenarios de cambio climático a través del modelo AquaCrop (FAO). Por último, se estimaron los costos de producción promedio en la zona a través de encuestas dirigidas a productores de cebada. Los resultados muestran que más del 70% de la superficie del municipio presenta algún grado de aptitud para el cultivo de cebada. Los escenarios de cambio climático indican aumentos de aptitud en el 2% de la superficie y reducciones de hasta el 16%. El modelo de producción presentó rendimientos muy cercanos a los obtenidos por los agricultores del municipio (2.53 t/ha) y se estimó el cambio futuro, pudiendo observarse disminución en rendimientos del orden del 5% y hasta el 100% según el horizonte de tiempo. Si se consideran fijos los costos de producción actuales la relación beneficio-costo futura podría reducirse desde 1.4 y hasta 0.0 en el futuro. Lo anterior seguramente afectará la economía de los productores de la región.

Palabras clave: REA, agricultura, impacto económico, rendimiento.

SUMMARY

Historical production of barley for ten years (2003-2012) as well as under climate change scenarios for near future (2015-2039) and for near future (2075-2099) in Calpulalpan, Tlaxcala was evaluated. An assessment of suitable regions for production was performed as well as historical performance and barley considering future climate change scenarios through the model AquaCrop (FAO) also was estimated. Finally, the average production costs in the region were estimated through surveys with barley producers. The results show that over 70% of the area of the municipality has some degree of aptitude for producing barley. Climate change scenarios indicate increases proficiency in 2% of the surface and reductions of up to 16%. The production model shows very close results with those obtained by farmers in the municipality yields (2.53 t/ha), thus estimated future changes show a decline in yields of about 5% up to 100% depending on the future horizon. Considering current production costs, the benefit-cost relationship could be reduced from 1.4 and to 0.0 in the future. This will certainly affect the economy of the producers in the region.

Key words: REA, agriculture, economic impact, yield.

INTRODUCCIÓN

La cebada maltera es de gran importancia socioeconómica en México. Representa el ingreso principal de cientos de familias que habitan las zonas productoras de los valles altos de la mesa central del país. También es importante como materia prima para la industria cervecera, forrajera y en menor proporción como alimento (Zamora *et al.*, 2008). En México, existen alrededor de 16 estados productores, uno de ellos es Tlaxcala (SIAP, 2006) y destaca el municipio de Calpulalpan con una superficie aproximada de 9,655 ha sembradas al año 2013 (SAGARPA-SIAP, 2015). Cabe señalar que según la misma fuente en todo el país para ese mismo año se sembraron 335,767 ha. De acuerdo con datos del SIAP la cebada es el principal cultivo en el municipio de Calpulalpan, cuya superficie sembrada representa el 62% de la superficie total de siembra.

La cebada es un cultivo con ciclo vegetativo corto y no requiere de altos consumos de fertilizantes y agua para obtener rendimientos satisfactorios. Además, tiene un mejor desempeño en zonas

donde se retrasa el temporal y existe un periodo corto libre de heladas (SIAP, 2006). De modo que el cultivo tiene una gran adaptabilidad a muchas condiciones tanto ecológicas como edáficas. Sin embargo, pese a estas cualidades, la superficie de siembra en los últimos años ha venido disminuyendo debido en gran medida a la reducción en los rendimientos, lo que significa pérdidas económicas a sus productores.

México resulta ser especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático al situarse en zonas que serán impactadas por sequías e inundaciones; por fenómenos meteorológicos extremos y por su débil estructura social y económica (Conde, 2011; INECC, 2013). El sector agropecuario en el país ha sufrido una serie de cambios y adaptaciones a lo largo de los años, tanto por modificaciones en las condiciones de la tierra, las variaciones en el clima y los cambios en las demandas de la sociedad. En ocasiones esto se ha hecho al modificar las prácticas de manejo de las unidades agropecuarias y por la sustitución de cultivos o razas, entre otras causas (SAGARPA, 2013). Estimar de qué manera afecta el cambio climático a la actividad agrícola significa agregar complejidad e incertidumbre al ya complicado sistema de producción agrícola de nuestro país. La agricultura es una actividad que realiza el ser humano y que constantemente realiza ajustes y cambios en respuesta a las condiciones cambiantes del medio productivo. Esta complejidad es difícil de capturar por lo que en el presente texto nos enfocamos únicamente en la evaluación agronómica del impacto cambio climático y un acercamiento en su impacto económico. La red social de producción no será abordada en este momento.

Así, el objetivo que se planteó en el trabajo fue evaluar la aptitud actual y el rendimiento histórico de la cebada (*Hordeum vulgare*), así como con escenarios de cambio climático para poder inferir los posibles efectos en el rendimiento del cultivo, así como un acercamiento en la evaluación económica de su producción en el municipio de Calpulalpan, Tlaxcala.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló para el municipio de Calpulalpan, en el estado de Tlaxcala. Se localiza en el altiplano central mexicano al oeste del estado, a los 2580 m.s.n.m., y en las coordenadas medias 19°35'N y 98°34'W. Cubre una superficie aproximada de 274 km² lo que representa el 6% del territorio estatal. Los climas dominantes son templado subhúmedo y semifrío subhúmedo. Aproximadamente el 75% de la superficie municipal está ocupada por agricultura de temporal, menos de 2% es agricultura de riego y los bosques de encino, pino, pino-encino y oyamel asciende al 20% de la superficie.

A continuación se describe el método seguido para la estimación de la aptitud actual del cultivo, la modelación de sus rendimientos actuales y con cambio climático así como un estimado del impacto económico.

Aptitud actual de la cebada

Se siguió la metodología propuesta por la FAO (1997), la cual propone para definir zonas con alto potencial productivo basarse en combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos, edáficos y de manejo de cultivo bajo los que éstos se desarrollan. Cada zona tendrá una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y servirá como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea

incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos. También, basados en la estructura propuesta por Sys et al. (1993) para la aptitud del cultivo se elaboró una matriz de requerimientos con diferentes niveles: no apto, marginalmente apto, moderadamente apto y apto (*Cuadro 1*). A partir de los requerimientos anteriormente mencionados se generó un mapa de aptitud para el cultivo de estudio.

Cuadro 1.- Requerimientos ambientales de la cebada en Calpulalpan, Tlaxcala (información de Díaz (1953), Gómez et al. (1997), López (1991), Parson (1981), Riojas y Vanegas (1980), Robles (1976) y Ruíz et al. (1999))

Variable	Niveles de aptitud			
	No Apto	Marginalmente apto	Moderadamente apto	Apto
Precipitación en el ciclo del cultivo (mm)	-200 +700	200-300 600-700	300-400 500-600	400- 500
Temperatura media (°C)	-10 +26	10-12 22-26	12-14 18-22	12-18
Textura del suelo	Arenosa, arcilla masiva	Arena francosa, arcillosa	Franco-arenoso, franco-ligeramente arcilloso, arcilla limosa	Limoso, franco
Profundidad del suelo (cm)	-25	25-50	50-100	+100
Pendiente del terreno (%)	+30	25-30	15-25	-15

La información de pendientes fue obtenida a partir de los modelos de elevación digital (MED) de INEGI (2013) escala 1:50000. La información de precipitación y temperatura fue elaborada con datos de las normales climatológicas 1981-2010 de 14 estaciones de CONAGUA (2014). La información edafológica fue obtenida de los suelos dominantes de INEGI (2013) escala 1:1 000 000. La información fue procesada en un sistema de información geográfica. Por último, se añadió un filtro de uso de suelo de INEGI (2013) escala 1:1 000 000 como restricción para que únicamente se definiera la aptitud en las áreas de uso agrícola. Toda vez que se estimó la superficie actual se reemplazó la información de temperatura y lluvia con escenarios de cambio para volver a estimar la aptitud futura.

Modelación del rendimiento actual y futuro

Para estimar rendimientos se utilizó AquaCrop4.0 (FAO, 2013) que es un modelo de productividad del agua en los cultivos desarrollados por la división de tierras y aguas de FAO. Realiza una simulación de la respuesta del rendimiento al agua en los cultivos herbáceos, y es especialmente adecuado para hacer frente a las condiciones en que el agua es un factor limitante en la producción de cultivos. AquaCrop está compuesto por cuatro módulos para realizar la simulación: clima, cultivo, prácticas de manejo y suelos.

La información que se requirió fueron datos mensuales de precipitación, temperatura mínima y máxima, humedad relativa, velocidad del viento y evapotranspiración de referencia (ET_o) obtenida a través de "ET_o Calculator" (FAO, 2015). El módulo manejo se ajustó con ninguna restricción de fertilidad y al 100% de la producción de biomasa, 75% de cobertura de materia orgánica, sin obras de manejo y con 50 cm de nivel de escorrentía. El módulo suelos también fue modificado y adecuado en el número de horizontes a tres, la textura fue asignada de acuerdo a la descripción de los datos vectoriales de INEGI (2013), que es textura media correspondiente a los suelos

francos, la profundidad se consideró de 1.5 metros de acuerdo a la evidencia fotográfica de los recorridos en campo y sin ninguna restricción en la profundidad del suelo.

La calibración del software fue realizada utilizando como base el archivo precargado para cebada en el programa. Se definió una densidad de plantas a 125 kg/ha (de acuerdo con resultados de encuestas), los días a la floración fueron modificados de 60 a 75 días a la siembra (Gómez et al., 1997), y la longitud máxima de la raíz a 1m. La fecha de siembra fue establecida en la primera semana de junio, con la finalidad de ajustarse a la variedad esmeralda que es la utilizada en la región de estudio.

Toda vez que se estimaron los rendimientos para cada uno de los 10 años (2003-2012) fueron comparados con aquellos rendimientos reales obtenidos en la región y reportados en SIAP. Como se estimó un grado de error bajo, se procedió a reemplazar la información de temperatura y lluvia con escenarios de cambio para volver a correr el modelo y estimar los rendimientos futuros.

Escenarios de cambio climático

Se aplicaron los valores de los escenarios denominados RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 para el futuro cercano (2015-2039) y para el futuro lejano (2075-2099) proporcionados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Los escenarios son parte del resultado de la metodología de ensamble ponderado REA (*Reliability Ensemble Averaging*). Se refieren al aumento global del desbalance de energía radiativa entrante y saliente, expresado en W/m² (INECC, 2015). El ensamble ponderado REA se calculó para las proyecciones de cambio y las simulaciones históricas de 15 modelos de circulación general por puntos de malla.

Impactos económicos del cambio climático

Durante el mes de julio de 2013 se realizó una entrevista dirigida a 15 productores de la región como una técnica empleada en diversas disciplinas para realizar estudios de carácter exploratorio. Permite captar información básica y abundante, ésta se emplea cuando no existe material suficiente material informativo sobre ciertos aspectos que interesa investigar (Rojas, 2013). Se obtuvo información de las labores realizadas en el cultivo de cebada como preparación del terreno, siembra, fertilización, manejo sanitario, cosecha y comercialización, además de incluir los costos de cada una de las labores realizadas. Con la información se evaluó la rentabilidad del cultivo, basados en la relación Beneficio-Costo, que es el cociente del valor actualizado de la corriente de beneficios sobre el valor actualizado de la corriente de los costos a una tasa de actualización previamente determinada (Domínguez, 2009). Para lo anterior se utilizó $B/C = (\text{total de ingresos})/(\text{total de costos})$; donde el beneficio bruto (B) y el costo de producción (C) permitió estimar la relación beneficio costo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aptitud para el cultivo

Aproximadamente el 86% de la superficie agrícola del municipio de Calpulalpan es apta para el cultivo de cebada. Se debe a que la precipitación es adecuada para el desarrollo del cultivo al encontrarse entre 400 y 500 mm durante el ciclo del cultivo; la temperatura media anual oscila entre 12 y 18°C, una textura del suelo media, profundidad del suelo mayor o igual a 100 cm y una

pendiente menor a 15%. El 11% de la superficie del municipio es moderadamente apta para el cultivo de cebada, principalmente en la parte poniente y suroriente del municipio.

Al aplicar el escenario de cambio climático REA en horizonte de corto plazo (2015-2039) se observa una reducción de las áreas aptas según los RCP4.5 y RCP6.0 en aproximadamente 16 y 8% de la superficie agrícola del municipio respectivamente; en tanto para el RCP8.5 habría un aumento de aproximadamente 1%. En los escenarios a largo plazo (2075-2099) se muestra un incremento de casi 2% en las áreas aptas según los RCP4.5 y 6.0, en tanto que para RCP8.5 hay una disminución aproximadamente de 10% del total de la superficie agrícola (Figura 1).

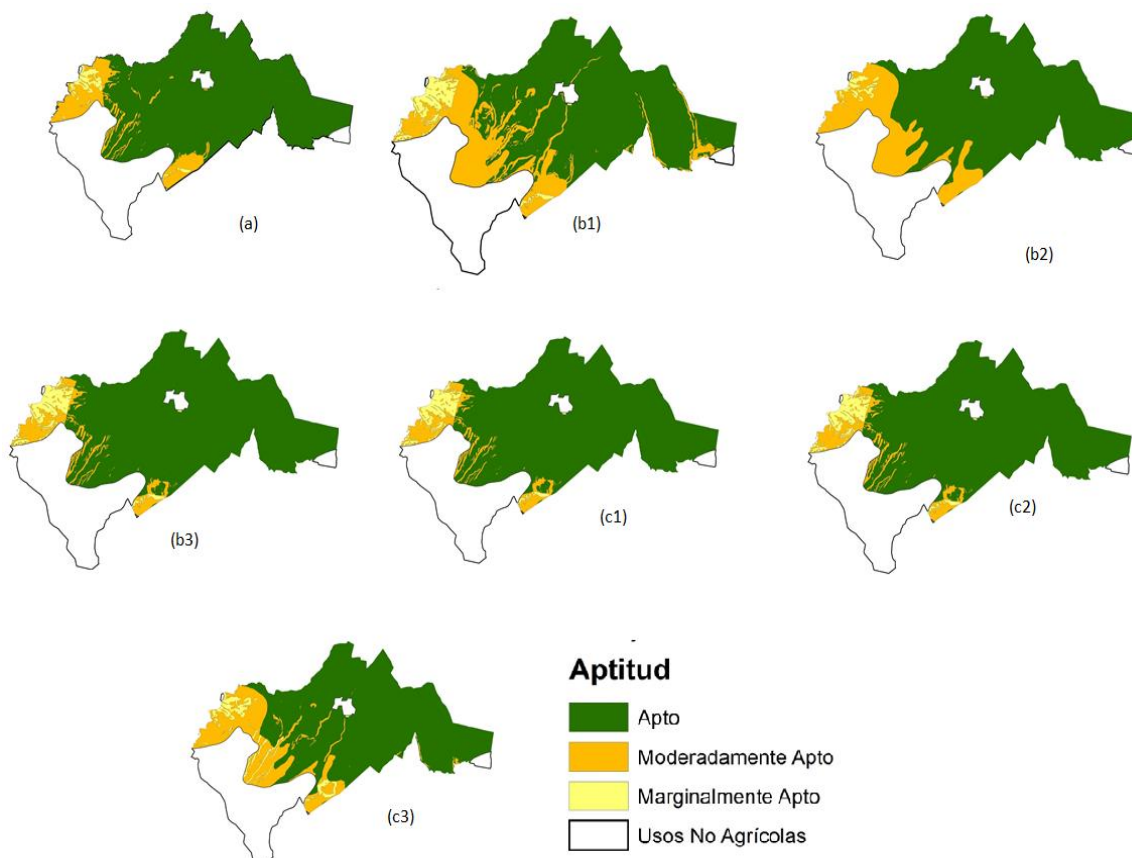


Figura 1.- Áreas con algún potencial para el desarrollo del cultivo de cebada en situaciones actuales y futuras: (a) aptitud actual; (b) y (c) escenarios para el corto y largo plazo respectivamente; (1), (2) y (3) corresponden a RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5.

Modelación del rendimiento actual y futuro

El rendimiento durante el periodo estudiado se presenta en el Cuadro 2. Se observa que hay rendimientos más bajos en los años 2009 y 2011, esto se debe principalmente al exceso de humedad que se tuvo, ya que en estos años la precipitación durante el ciclo de cultivo fue muy abundante e incluso con fuertes granizadas y lluvias máximas de hasta 50 mm, ello al inicio del ciclo, lo cual tuvo serias repercusiones en el desarrollo de la planta (Cuadro 2). El resultado de calcular el RMSE fue de 0.582, este valor es el promedio global entre los rendimientos observados y estimados es decir, un indicador de la incertidumbre (Flores *et al.*, 2013), esto indica que hay un error promedio de 0.582 t/ha^{0.1}, en las estimaciones.

Cuadro 2.- Rendimientos observados, estimados y futuros para la cebada en Calpulalpan, Tlaxcala

Año	Rendimiento observado (t/ha) (SIAP)	Rendimiento estimado (t/ha)	Diferencia (t/ha)
2003	3.0	3.10	+0.10
2004	2.1	2.47	+0.37
2005	3.1	2.20	-0.90
2006	3.3	3.10	-0.20
2007	2.5	2.77	+0.27
2008	2.5	1.19	-1.32
2009	1.8	1.30	-0.50
2010	3.0	3.00	0.00
2011	0.47	0.00	-0.47
2012	3.5	3.16	-0.34
promedio	2.53	2.23	-0.30
*RCP4.4 (2015-2039)		2.28	-0.25
RCP6.0 (2015-2039)		2.41	-0.12
RCP8.5 (2015-2039)		2.49	-0.04
RCP4.4 (2075-2099)		1.65	-0.88
RCP6.0 (2075-2099)		1.37	-1.16
RCP8.5 (2075-2099)		0.00	-2.53

*Nota: las diferencias en los escenarios de cambio climático son respecto al rendimiento promedio de 2.53 t/ha.

La modelación de los rendimientos con el software AquaCrop tuvo una confiabilidad del 75% respecto a la información real obtenida. Es decir, se tuvo un grado de certidumbre al realizar las estimaciones de rendimientos pasados que permitió elaborar con certidumbre los escenarios futuros. Así, de acuerdo con los resultados obtenidos de las estimaciones de rendimientos futuros con escenarios de cambio climático se observa la posibilidad real de una disminución del rendimiento en comparación del promedio observado durante el periodo 2003-2012, el rango de esta disminución va de los 0.12 (5%) y hasta las 2.53 t/ha (100%).

La disminución en el rendimiento está asociada principalmente a la falta de humedad, pese a un ligero aumento en precipitación proyectada. También, se observó un aumento de temperatura y por lo tanto también un aumento considerable en evapotranspiración, lo cual disminuye la humedad remanente, es decir, que el cambio climático afectará negativamente el rendimiento potencial del cultivo. El decremento en el rendimiento estimado con los RCP's coincide con la disminuciones observadas para el periodo 2003-2012.

La cebada madura pronto, lo cual permite al agricultor sembrar tarde cuando las lluvias se retrasan con menores riesgos de que las heladas tempranas afecten al cultivo, y por otro lado, puesto que la cebada no necesita mucha agua para su desarrollo, puede hacerlo bien aun con poca lluvia; así, al sembrar cebada el agricultor podría tener mayores probabilidades de cosecha que con otros cultivos que tardan más para madurar o que requieren mayor humedad para su desarrollo (Riojas y Venegas, 1980).

Impactos económicos

De acuerdo a los resultados de la encuesta los costos de producción ascienden en promedio a un total de \$6,480 pesos que equivale a US\$ 511 (julio de 2013 y un tipo de cambio de 12.67 por dólar). De ese total, el 17% corresponde a preparación del terreno, el 22% a siembra, 21% a fertilización, 24% a manejo sanitario y el 16% a la cosecha.

La relación beneficio-costo para el año 2013 es de 2.16. Es decir que por cada peso invertido se obtiene un beneficio de 1.16 pesos, lo que se traduce como un cultivo viable para la zona. Si se consideran fijos estos costos de producción y se extiende la información a un horizonte corto de tiempo la relación beneficio-costo es de 1.4 (RCP4.5), 1.49 (RCP6.0) y 1.54 (RCP8.5).

En el caso de los escenarios de futuro lejano solo para RCP4.5 existiría un beneficio (1.02) y en los RCP6.0 y RCP8.5 la relación se traduce en 0.85 y 0.0, respectivamente. Basados en la información recopilada en campo de los costos de producción, debido a la disminución de rendimientos al hacer la evaluación beneficio-costo, dejaría de ser redituable para el futuro lejano (2075-2099), ya que esta será menor a la unidad, aunque se debe considerar algunos otros aspectos como los precios actualizados tanto para los costos de producción como para el precio de venta del cultivo, considerando la inflación futura.

CONCLUSIONES

En toda la superficie agrícola del municipio se observa algún nivel de aptitud. Lo anterior indica que el área de estudio tiene un alto potencial para continuar desarrollando el cultivo, como se ha hecho por muchos años. Con respecto a la aptitud con escenarios de cambio climático se observa que es posible mantener la superficie agrícola con alguna aptitud.

La modelación de los rendimientos fue confiable al 75% respecto a la información real observada, es decir, este es el grado de certidumbre al realizar las estimaciones de los escenarios futuros, con un error promedio de 0.582 t/ha. Los rendimientos estimados bajo escenarios de cambio climático muestran una disminución considerable en comparación del rendimiento promedio del periodo 2003-2012. El decremento en el rendimiento estimado con los RCP coincide con las disminuciones observadas para el periodo 2003-2012.

Debido a la disminución de rendimientos al hacer la evaluación beneficio-costo, el cultivo podría dejar de ser redituable para el futuro lejano (2075-2099), aunque se debe considerar algunos otros aspectos como los precios actualizados tanto para los costos de producción como para el precio de venta del cultivo, considerando la inflación futura.

Una posible estrategia de adaptación sería recorrer la fecha de siembra alrededor de uno y dos meses con el fin de que el cultivo alcance un mejor desarrollo y con ello mejor rendimiento, esto con base en la distribución de las anomalías de temperatura y la precipitación, ya que al recorrer la fecha coincidiría el periodo de lluvias con el ciclo de cultivo. Sin embargo, esto último requiere de nueva investigación para validarse.

LITERATURA CITADA

- Conde, C. (2011). Coping with Climate Change Impacts on Coffee and Maize for Peasants in Mexico. En H. G. Brauch (Ed.), *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security* (Hexagon Se., pp. 1067-1080). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-642-17776-7
- Díaz del Pino, A. (1953). Cereales de Primavera. Salvat Editores S.A. Barcelona-Madrid, España. pp. 230-238.
- Domínguez, A. R. (2009). Utilización de opciones reales en proyectos de inversión agrícola. Tesis de doctorado. Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo. pp. 12-13.
- FAO. (1997). *Zonificación agro-ecológica: Guía general*. Boletín de suelos de la FAO 73. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2013). Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de arroz en los departamentos de Tolima y Meta. FAO Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural.
- FAO. (2013). División de Aguas. Consultado: 20 de julio 2013. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_aquacrop.html
- Gómez, M. R., García, S. R. y Pérez, C. J. P. (1997). Guía para cultivar cebada maltera en temporal en el estado de Hidalgo. Folleto para productores. Núm. 8. Campo experimental Pachuca. p 8.
- INECC. (2013). *Desarrollo de la Estrategia Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Gestión de Riesgos ante el Cambio Climático y Diagnóstico de Vulnerabilidad. Resumen Ejecutivo y Anexo Metodológico*. México, DF: INECC-qbic-Global Green Growth Institute.
- INEGI. (2013). Datos vectoriales 1: 1000000. Consultada: el 21 de abril 2013. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/hidrologia/InfoEscala.aspx>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2015). Escenarios de Cambio climático. Consultado el 10 de enero 2015. Disponible en: <http://iecc.inecc.gob.mx/escenarios-introduccion.php>
- López, B. L. (1991). Cultivos herbáceos Vol. 1. Cereales. Ediciones Mundi-prensa. España. pp. 253.
- Parson, D. B. (1981). Trigo, Cebada, y Avena (Manuales para la educación Agropecuaria. Producción vegetal). Editorial Trillas. México.
- Riojas, G. E. y Venegas, G. E. (1980). EL cultivo de cebada en el estado de Tlaxcala. Secretaria de agricultura y recursos hidráulicos. Instituto nacional de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central Campo Agrícola Experimental "Valle de México". pp. 3.

- Robles, S. R. (1976). Producción de granos y forrajes en México. Editorial Limusa. México. pp. 247; 249-251.
- Rojas, S. R. (2013). Guía para realizar investigaciones sociales. Plaza y Valdez Editores. Trigésima Octava edición. México. pp. 216.
- Ruiz, C. J. A., Medina, G. G., González, A. I. J., Ortiz, T. C., Flores, L. H. E., Martínez, P. R. y Byerly, M. (1999). Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- SAGARPA. (2013). *Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018*. (SAGARPA, Ed.). Mexico, DF: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2006). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGARPA). La cebada. Situación actual y perspectivas de la producción.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2013). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGARPA). México. Consultado el 2 de septiembre de 2013 Disponible en:
http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350
- Sys, C., Van, R. E., Debaneye, J. y Beernaert, F. (1993). Land Evaluation. Part III. Crop Requirements. Agricultural publications. No. 7. General Administration for Development Cooperation. Place du Champ. International Training Centre for Post-Graduate. Soil Scientist. University Ghent. Brussels Belgium.
- Zamora, D. M. *et al.* (2008). Adabella: variedad de cebada maltera para valles altos de la mesa central de México. *Agricultura Técnica en México*, 34(4), pp. 491-493.

SÍNTESIS CURRICULAR

Joel O. Calderón García

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables por la Universidad Autónoma Chapingo. Sus temas de interés son los recursos naturales y su manejo sustentable. Correo electrónico: jo.calderon.g@hotmail.com

Alejandro I. Monterroso Rivas

Doctor en Geografía por la UNAM. Profesor Investigador del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. Sus líneas de investigación son vulnerabilidad al cambio climático y manejo de recursos naturales. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), CONACYT – México. Correo electrónico: aimrivas@correo.chapingo.mx

Jesús D. Gómez Díaz

Doctor en Edafología por el COLPOS. Profesor Investigador del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. Sus líneas de investigación son degradación de tierras, desertificación y cambio climático. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), CONACYT – México. Correo electrónico: dgomez@correo.chapingo.mx

Adán G. Ramírez García

Doctor en Geografía por la UNAM. Profesor Investigador del Centro Regional Universitario del Noroeste – CRUNO, de la Universidad Autónoma Chapingo. Su línea de investigación es el desarrollo comunitario y sustentable. Correo electrónico: