



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA
REGIONAL

**POTENCIAL PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE SOYA
EN EL VALLE DE PUEBLA**

KARLA HERNÁNDEZ TECOL

TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2019



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN
CAMPUS PUEBLA

CAMPUE- 43-2-03

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **Karla Hernández Tecol**, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Potencial productivo del cultivo de soya en el Valle de Puebla**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, 29 de julio del 2019.

Karla Hernández Tecol

Juan de Dios Guerrero Rodríguez

Vo. Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis
Nombre completo y Firma

La presente tesis, titulada: **Potencial productivo del cultivo de soya en el Valle de Puebla**, realizada por la alumna: **Karla Hernández Tecol**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. JUAN DE DIOS GUERRERO RODRÍGUEZ

ASESOR:



DR. JOSÉ ISABEL OLVERA HERNÁNDEZ

ASESOR:



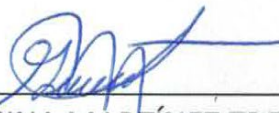
M.C. ERNESTO ACEVES RUÍZ

ASESOR:



DR. RAMÓN DÍAZ RUÍZ

ASESOR:



DRA. GUILLERMINA MARTÍNEZ TREJO

Puebla, Puebla, México, 29 de julio del 2019

POTENCIAL PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE SOYA EN EL VALLE DE PUEBLA

Karla Hernández Tecol, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

En México la producción de soya no cubre la demanda que se genera, por lo que se importa de otros países. Este cultivo se produce en las zonas tropicales con variedades bien adaptadas, pero puede extenderse a otras regiones, principalmente las templadas, para incrementar la producción nacional. Por ello, la presente investigación evaluó el comportamiento productivo de siete selecciones experimentales y dos variedades comerciales de soya, además del *Lupinus angustifolius*, variedad Voragine, como especie de referencia, de tres sitios en el Valle de Puebla: Calpan, Ciénega (Coronango) y Coronango. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental consistió de 4 surcos de 5 metros de largo. Las variables evaluadas fueron floración, altura de planta, ancho de dosel y producción de grano. Las variedades con menor número de días a floración fueron “Hoja Seca Original”, “Hoja Seca Vainas Abundantes” y “Varita” con 81, 78 y 82 días, respectivamente; la localidad en donde se alcanzó más pronto la floración fue Coronango (89 días). Las variedades que se diferenciaron en rendimiento fueron Varita y Nainary con un promedio de 2.38 y 1.43 t ha⁻¹. La localidad en donde se obtuvo el mayor rendimiento fue la Ciénega (2.62 t ha⁻¹). El lupino sólo prosperó en Calpan (rindió 1.2 t ha⁻¹ muy por debajo de las variedades de soya probadas), mientras que en las otras dos localidades no prosperó. En conclusión, existe potencial para que el cultivo de la soya pueda introducirse en el Valle de Puebla. La variedad Varita presentó mayor precocidad y rendimiento de grano; por ello, puede ser la más recomendable en la zona del Valle de Puebla, pues su ciclo productivo se ajusta más al régimen pluviométrico y térmico de la región. La localidad con el mejor potencial para cultivo de soya fue la Ciénega, lo cual puede ser atribuido a que posee la mejor calidad del suelo.

Palabras clave: adaptación zonas templadas, altiplano, producción de grano, soya.

PRODUCTIVE POTENTIAL OF SOYBEAN CROP IN THE PUEBLA VALLEY

Karla Hernández Tecol, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

In Mexico soybean production does not cover the demand that is generated, so it is imported from other countries. This crop is produced in tropical zones with well adapted varieties, but can be extended to other regions, mainly temperate ones, to increase national production. Therefore, the present research evaluated the productive performance of seven experimental selections and two commercial cultivars of soybean, as well as, *Lupinus angustifolius*, variety Voragine, as species of reference, of three sites in the Valley of Puebla: Calpan, Ciénega (Coronango) and Coronango. The experimental design used was a random complete blocks with four repetitions, with an experimental unit consisting of 4 rows of 5 meters long. The variables evaluated were flowering, plant height, canopy width and grain production. The varieties with less days to flowering were “Hoja Seca Original”, “Hoja Seca Vainas Abundantes” and “Varita” with 81, 78 and 82 days, respectively; the locality where flowering was reached earlier was Coronango (89 days). Only two varieties were different in grain yield, “Varita” and “Nainary” with 2.38 and 1.43 t ha⁻¹, respectively. The locality where the highest yield was obtained was the Ciénega (2.62 t ha⁻¹). The lupine only prospered in Calpan (yielding 1.2 t ha⁻¹ much lower than the soybean varieties), while in the other two locations it did not show potential. In conclusion, there is potential that the soybean crop can be introduced in the Puebla Valley. The “Varita” variety presented greater precocity and grain yield; therefore, it may be the most recommended in the Puebla Valley area, since its production cycle is more in line with the rainfall and thermal regime of the region. The locality with the best potential for soybean cultivation was the Ciénega, which can be attributed to having the best soil quality.

Keywords: adaptation to temperate zones, grain production, highlands, soybeans.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, porque gracias a ellos inicié y sigo en este camino. A mis hermanas Minerva, Lilia, Ana Ruth y a mi hermano Saúl que me han apoyado incondicionalmente para la realización de este trabajo.

A mi amigo y novio Gamaliel, gracias por tu apoyo y los consejos que me has brindado. A las personas que han estado a mi lado en todos los momentos de mi vida, algunas permanecen otras ya han partido, pero todas han tenido influencia en las decisiones que he tomado.

A mi abuelo Rafael, por todos los momentos felices que trajo a mi vida.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis profesores por la guía y el apoyo que me han brindado para la realización de esta investigación, gracias por el aporte de su conocimiento para mi formación académica y personal.

A las personas que me brindaron las facilidades para la realización de este trabajo, especialmente al M.C. José Luis Peña Ramos, Director del Centro Bachillerato Tecnológico Agropecuario número 255 de San Andrés Calpan y al Ing. Silvestre Villa Elizondo profesor en este plantel.

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad de seguirme preparando para mi vida profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por las facilidades de financiamiento para mi formación profesional.

Contenido

Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Lista de cuadros.....	x
Lista de figuras.....	xi
1. Introducción.....	1
2. Revisión de literatura.....	2
2. 1. Leguminosas en la alimentación animal.....	2
2. 1. 1. Descripción botánica de la soya.....	3
2. 1. 2. Composición química de la soya.....	3
2. 1. 3. Factores antinutricionales en soya.....	6
2. 2. Requerimientos nutrimentales de vacas lactantes.....	9
2. 3. Requerimientos nutrimentales en otras especies.....	9
2. 4. Adaptación de individuos.....	10
2. 4. 1. Factores que intervienen en la adaptación del cultivo de soya.....	11
2. 5. Distribución geográfica del cultivo de soya.....	15
2. 5. 1. Soya en México.....	15
2. 5. 2. Soya en el Valle de Puebla.....	19
3. Justificación.....	25
4. Planteamiento del problema.....	25
5. Objetivo.....	26
6. Hipótesis.....	26
7. Materiales y métodos.....	26
7.1. Localización del área de estudio.....	26
7. 1. 1. Calpan.....	26
7. 1. 2. Coronango.....	27
7.2. Material vegetal.....	27
7. 3. Preparación del terreno y siembra.....	27
7. 4. Cosecha del cultivo de soya.....	27
7. 5. Variables de estudio.....	27
7. 5. 1. Floración.....	27

7. 5. 2. Altura y ancho del dosel.....	28
7. 5. 3. Producción de grano.....	28
7. 6. Diseño experimental.....	28
8. Resultados.....	29
9. Discusión.....	46
10. Conclusiones.....	50
11. Recomendaciones.....	50
12. Literatura citada.....	51
13. Anexos.....	59

Lista de cuadros

	Página
Cuadro 1. Contenido de aminoácidos en el grano de algunos géneros de leguminosas (mg/100g de proteína).....	4
Cuadro 2. Valor nutricional del grano de soya en 100 g de materia seca.	5
Cuadro 3. Contenido de aminoácidos en el grano de soya.....	6
Cuadro 4. Contenido de Factores antinutricionales presentes en el grano de soya	8
Cuadro 5. Requerimientos nutrimentales diarios de vacas lecheras.....	9
Cuadro 6. Características físicas del suelo de los municipios de Calpan y Coronango.....	22
Cuadro 7. Análisis de varianza para el cultivo de soya en el Valle de Puebla.....	29

Lista de figuras

	Página
Figura 1. Rango de temperatura para el cultivo de soya (Constable y Rose, 1988; Nahar <i>et al.</i> , 2016).....	12
Figura 2. Principales países productores de soya.....	16
Figura 3. Principales estados productores de soya para el año 2016..	17
Figura 4. Consumo estimado de soya en México, producción e importaciones.....	18
Figura 5. Uso de tecnología para el cultivo de soya en México.....	19
Figura 6. Normales climatológicas del municipio de Puebla.....	20
Figura 7. Normales climatológicas del municipio de Calpan.....	21
Figura 8. Temperatura semanal del municipio de Calpan para el ciclo de cultivo 2018.....	30
Figura 9. Temperaturas y precipitaciones semanales correspondientes al municipio de Santa María Coronango para el ciclo de cultivo 2018.....	31
Figura 10. Altura promedio del cultivo de la soya en tres localidades del Valle de Puebla.....	32
Figura 11. Altura promedio de nueve variedades de soya en tres localidades del Valle de Puebla.....	33
Figura 12. Promedio de ancho del dosel del cultivo de soya en tres localidades del Valle de Puebla.....	34
Figura 13. Promedio de ancho del dosel de nueve variedades de soya cultivadas en el Valle de Puebla.	35
Figura 14. Promedio de los días a floración de soya cultivada en tres localidades del Valle de Puebla.....	36
Figura 15. Promedio de días a floración de nueve variedades de soya cultivadas en el Valle de Puebla.....	37
Figura 16. Promedio del número de vainas por planta del cultivo de soya en tres localidades del Valle de Puebla.....	38

Figura 17.	Promedio de vainas por planta de nueve variedades de soya en el Valle de Puebla.....	39
Figura 18.	Promedio del número de granos por planta del cultivo de soya en el Valle de Puebla.....	40
Figura 19.	Promedio del número de granos por planta de nueve variedades de soya en el Valle de Puebla.....	41
Figura 20	Promedio de rendimiento por hectárea del cultivo de la soya en tres localidades del Valle de Puebla.	42
Figura 21.	Rendimiento por hectárea del cultivo de la soya y lupino en tres localidades del Valle de Puebla.....	43
Figura 22.	Promedio del rendimiento por hectárea de nueve variedades de soya en el Valle de Puebla.....	44
Figura 23.	Promedio del peso de granos vanos por hectárea del cultivo de soya en tres localidades del Valle de Puebla.....	45
Figura 24.	Promedio del peso de granos vanos por hectárea de nueve variedades de soya en el Valle de Puebla.....	46
Figura 25.	Establecimiento del cultivo de soya. a) siembra del cultivo y b) germinación del cultivo.....	59
Figura 26.	Etapa vegetativa del cultivo de soya.....	59
Figura 27.	Crecimiento del cultivo de soya (a) e inicio de la etapa reproductiva (b).....	60
Figura 28.	Llenado del grano en la localidad de Calpan (a) y la Ciénega (b).....	60
Figura 29.	Pérdida de plantas en el cultivo de soya en el Valle de Puebla.....	61
Figura 30.	Enfermedades del cultivo de soya en el Valle de Puebla.....	61

1. Introducción

La soya es un cultivo de alto valor económico, por los múltiples usos en la alimentación humana y animal, debido a las elevadas concentraciones de proteína y energía que posee. En México, el cultivo de esta especie se concentra en regiones de clima cálido y su producción es de 173,161 toneladas la cual no abastece su demanda, que para el año 2013 fue de 3, 785, 846 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2017). Por otro lado, en las regiones de clima templado, las cuales se asocian a altitudes de los 2000 metros en adelante, se carece de un cultivo proteínico-energético para la producción animal, dado que los existentes (haba, garbanzo, frijol) son destinados exclusivamente a la alimentación humana. Es por tanto importante incursionar en la adaptación de la soya a climas templados de los Valles Altos, los cuales son zonas de potencial productivo que pueden ser una opción para cubrir la demanda que se tiene de este grano, además de que son zonas donde existe una población rural que demanda mejoras en su nutrición y es también donde se encuentran los mayores puntos de consumo.

Para adaptarse a ambientes fríos las plantas responden cambiando su expresión genética, teniendo un impacto en su distribución, supervivencia y rendimiento. Muchas plantas de origen tropical o subtropical resultan dañadas o mueren por estar expuestas a bajas temperaturas (que no llegan al punto de congelación). Las lesiones por frío se expresan comúnmente en clorosis, necrosis o retraso del crecimiento (Sanghera *et al.*, 2011). Se ha encontrado que en el cultivo de soya las bajas temperaturas (7°C) no tuvieron efecto sobre la oxidación de proteínas tilacoides de las hojas, el daño se encontró cuando se cambió la temperatura de 7°C a 25°C, observándose una disminución en la capacidad fotosintética (Tambussi *et al.*, 2004). En otras investigaciones se señala que la soya que se cultiva al sur de Ontario Canadá y norte de Estados Unidos en un clima continental húmedo, tolera en sus inicios temperaturas de 3 a 10°C que tienen como efecto la reducción en la germinación que puede ir de 44% a 58%, respectivamente (Vanhiea *et al.* 2015). Plantas de soya sometidas a temperaturas de 15°C en el día y 10°C en la noche, disminuyen la elongación de las vainas de 70 a 90%, hasta llegar a 40% (Ohnishi *et al.*, 2010). En América del Norte y Sudáfrica algunas variedades de soya toleran un rango de temperaturas de 2° a 5°C,

disminuyendo la tasa de desarrollo de 0.8 a 0.85, respectivamente, lo que repercute en el tiempo para alcanzar la floración que puede ser de hasta 120 días (Piper *et al.*, 1996). En México, reportes de producción de soya a altitudes de 989, hasta 2013 m, fueron hechos por López y Muñoz (1989), que evaluaron la producción de siete variedades de soya en la Mixteca Poblana en los climas tropical, semiárido y templado. En el municipio con clima templado reportó que la producción osciló entre 456 a 950.3 kg ha⁻¹. Adicionalmente encontró que al pasar de 989 a 2013 m se prolongó el tiempo para alcanzar la floración de 14 a 39 días dependiendo de la variedad, lo cual interaccionó con la presencia de sequía que enfrentó el cultivo.

Con base en lo anterior, aún se desconoce cuál es la adaptabilidad de la soya en los Valles Altos, en los que el efecto de las temperaturas bajas pudiera ser mayor. Por ello, el objetivo de esta investigación fue conocer el potencial de producción de grano de siete selecciones experimentales y dos variedades comerciales de soya en tres sitios a altitudes de 2190 a 2240 msnm. Con el propósito de poner a disposición de los productores, en el futuro cercano, una nueva especie y variedades para la siembra que apoye en los sistemas de producción agropecuarios de algunas de las zonas templadas.

2. Revisión de literatura

2. 1. Leguminosas en la alimentación animal

Por su alto valor nutritivo las leguminosas han sido usadas tanto en la alimentación humana como en la alimentación del animal; en la actualidad se utilizan para este fin hasta 150 especies de leguminosas (Begoña *et al.*, 2010).

Las leguminosas se pueden clasificar en dos grupos de acuerdo con su uso en alimentación animal; por un lado, están las leguminosas forrajeras como la alfalfa y por otro a las leguminosas de grano (soya, haba, frijol, garbanzo, lentejas, entre otras). Las leguminosas de grano pueden satisfacer los requerimientos de proteína, sustituyendo parcial o totalmente el uso de productos de origen animal como harina de pescado y/o hueso (Rubio y Molina, 2016) y entre ellas está la soya.

2. 1. 1. Descripción botánica de la soya

La soya (*Glycine max*) es una leguminosa de ciclo corto que pertenece a la familia *Leguminosae*, subfamilia *Papilionideae*, género *Glycine* L. (Machado *et al.*, 1987). La raíz principal de la soya puede alcanzar hasta un metro de profundidad, aunque normalmente no sobrepasa los 40-50 cm. La planta tiene variación en colores de la hoja que van del verde oscuro al verde claro dependiendo de la cantidad de clorofila. Los tallos y hojas pueden ser glabros o pubescentes. El grano se produce en vainas de 4 a 6 cm de longitud, cada vaina puede contener de 3 a 4 granos (Burton, 1997). La soya es una planta erecta que puede alcanzar 1.5 m de altura. Se pueden encontrar los hábitos de crecimiento determinado, semideterminado e indeterminado. El crecimiento determinado se caracteriza por el cese al desarrollo vegetativo de la yema terminal cuando se convierte en inflorescencia (grupo de madurez del V al X), las plantas con crecimiento indeterminado continúan su actividad vegetativa después del periodo de floración (grupo de madurez del 000 al IV), y las plantas con crecimiento semideterminado detienen su actividad vegetativa al término de la floración. Dentro de cada grupo de madurez las variedades de soya se describen como de maduración temprana, media y tardía (OECD, 2000).

2. 1. 2. Composición química de la soya

El grano de la soya se caracteriza por presentar niveles altos de proteína y grasas. En el Cuadro 1 se observa el contenido de aminoácidos de algunos géneros de leguminosas con los que se compara el grano de soya. De acuerdo con los reportes de varios investigadores, el contenido de nutrientes puede ser variable, como se muestra en los cuadros 2 y 3; dicha variación puede deberse a la variedad usada, al manejo del cultivo o algún tratamiento como la inoculación con rhizobium (Zimmer *et al.*, 2016).

En los Cuadros 1 y 3 se observa que el grano de soya tiene mayor contenido de metionina y triptófano (1.1 a 2.27g y 1.08 a 1.4g, respectivamente) en comparación con los géneros *Lathyrus*, *Lens*, *Pisum* y *Vicia* (0.58, 0.69, 0.53 y 0.56 mg de metionina, 0.69, 0.62, 0.65, 0.68 mg de triptófano). Los valores de lisina e histidina de la soya son 5.99 a 7.94 g y 2.57 a 2.89 g respectivamente, siendo superiores a los de

otros géneros de leguminosas que van de 7.14 a 7.55 mg en lisina y 2.65 a 2.81 mg de histidina.

Cuadro 1. Contenido de aminoácidos en el grano de algunos géneros de leguminosas (mg/100g de proteína).

Aminoácidos	Género de leguminosas			
	<i>Lathyrus</i>	<i>Lens</i>	<i>Pisum</i>	<i>Vicia</i>
Cisteína	22.38 ± 2.56a	22.93 ± 1.27ab	23.30 ± 1.76ab	24.17 ± 2.95b
Fenilalanina	5.04 ± 0.31	5.40 ± 0.22	4.95 ± 0.31	5.09 ± 0.40
Isoleucina	3.62 ± 0.50a	4.04 ± 0.33ab	4.00 ± 0.17ab	3.87 ± 0.31b
Leucina	8.26 ± 0.77b	8.28 ± 0.31ab	7.55 ± 0.17ab	7.86 ± 0.45a
Lisina	7.55 ± 0.47b	7.28 ± 0.14ab	7.41 ± 0.12ab	7.14 ± 0.44a
Metionina	0.58 ± 0.26	0.69 ± 0.18	0.53 ± 0.05	0.56 ± 0.23
Histidina	2.65 ± 0.30	2.63 ± 0.22	2.65 ± 0.08	2.81 ± 0.41
Tirosina	2.51 ± 0.24	2.29 ± 0.41	2.57 ± 0.05	2.49 ± 0.21
Treonina	4.49 ± 0.40a	4.92 ± 0.38ab	4.18 ± 0.20ab	4.75 ± 0.63b
Triptófano	0.69 ± 0.11	0.62 ± 0.14	0.65 ± 0.08	0.68 ± 0.10
Valina	4.48 ± 0.30a	5.20 ± 0.54b	5.00 ± 0.10ab	4.75 ± 0.41b

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas.

Fuente: Pastor *et al.*, 2014.

Cuadro 2. Valor nutricional del grano de soya en 100 g de materia seca.

Nutriente	Rango	Autores
Proteína (%)	32.1 a 44.1	NRC (1973); Salunkhe <i>et al.</i> (1985); Esteves <i>et al.</i> (2010); Solano <i>et al.</i> (2012); Balisteiro <i>et al.</i> (2013); Nam <i>et al.</i> (2016); Wang <i>et al.</i> (2016).
Extracto etéreo (%)	14 a 22.3	Salunkhe <i>et al.</i> (1985); Esteves <i>et al.</i> (2010); Solano <i>et al.</i> (2012); Nam <i>et al.</i> (2016); Wang <i>et al.</i> (2016).
Carbohidratos (%)	22 a 40	Esteves <i>et al.</i> (2010); Solano <i>et al.</i> (2012); Nam <i>et al.</i> (2016); Wang <i>et al.</i> (2016)
Fibra cruda (%)	2.1 a 11.4	NRC (1973); Esteves <i>et al.</i> (2010); Solano <i>et al.</i> (2012); Nam <i>et al.</i> (2016)
Cenizas (%)	4.2 a 5.7	Salunkhe <i>et al.</i> (1985); Solano <i>et al.</i> (2012); Nam <i>et al.</i> (2016); Wang <i>et al.</i> (2016)
Cenizas (%)	4.2 a 5.7	Salunkhe <i>et al.</i> (1985); Solano <i>et al.</i> (2012); Nam <i>et al.</i> (2016); Wang <i>et al.</i> (2016)

Fuente: elaboración propia con información de los autores citados.

Cuadro 3. Contenido de aminoácidos en el grano de soya.

Aminoácidos esenciales	g de aminoácidos/100g de proteína
Arginina	6.21 a 7.78
Cisteína	0.65 a 2.39
Fenilalanina	3.97 a 5.49
Histidina	2.57 a 2.89
Isoleucina	3.13 a 5.06
Leucina	6.57 a 8.06
Lisina	5.99 a 7.94
Metionina	1.1 a 2.27
Treonina	3.74 a 5.7
Triptófano	1.08 a 1.4
Valina	3.22 a 5.38

Fuente: Salunkhe *et al.* (1985); Zarkadas *et al.*, (2007); Solano *et al.* (2012); Nam *et al.* (2016).

2. 1. 3. Factores antinutricionales en soya

El aporte de proteína de origen vegetal ha cobrado importancia debido a los problemas causados por fuentes de origen animal (p. e. la Encefalopatía espongiiforme bovina; Rubio y Molina, 2016); no obstante, la principal limitante al usar proteína de origen vegetal es la presencia de factores que limitan su eficiencia nutricional. Estos factores se presentan con mayor frecuencia en oleaginosas y leguminosas; pero dado que muchos factores antinutricionales son susceptibles al calor, y la facilidad de usar tratamientos térmicos para eliminar su toxicidad (Close y Cole, 2004) aumenta el uso de estos granos.

Los factores antinutricionales pueden clasificarse como termoestables y termolábiles; dentro de los factores termoestables se encuentran los factores antigénicos, oligosacáridos, aminoácidos no proteicos tóxicos, saponinas, estrógenos, cianógenos, siendo los más importantes los factores antigénicos, los oligosacáridos, las saponinas

y los fitatos. Así mismo, dentro de los factores termolábiles encontramos a los inhibidores de proteasas (tripsina y quimotripsina), lectinas, goitrógenos y antivitaminas, siendo los más importantes los inhibidores de las proteasas y las lectinas (Elizalde *et al.*, 2009).

Se han identificado algunos factores antinutricionales en el grano de soya. Entre estos están los inhibidores de tripsina (Li *et al.*, 2017), sustancias que disminuyen la reacción catalizada por la enzima, provocando hipertrofia del páncreas (glándula productora de la mayoría de las enzimas), y que afectan la actividad de microorganismos ruminales, por tanto, la digestibilidad *in situ* de la materia seca en rumiantes. La proporción de inhibidores de tripsina se modifica por efecto del ambiente, la variedad de soya y la interacción entre estos (John *et al.*, 2017).

Las saponinas son otros compuestos que pueden causar desórdenes fisiológicos graves, entre ellos gastroenteritis, parálisis y muerte; sin embargo, en rumiantes se usan para mejorar el flujo de la población microbiana haciendo más eficiente la fermentación ruminal (Rodríguez *et al.*, 2007).

Los fitatos son sales del ácido fítico, se localizan únicamente en el cotiledón de los granos de soya y constituyen la principal reserva de fósforo aportando el 60-90% de este elemento, formando compuestos insolubles en el tracto digestivo con cationes y proteínas, que pueden afectar negativamente la utilización de algunos microelementos y proteínas (Rubio y Molina, 2016). Los fitatos disminuyen la biodisponibilidad del Zn, Fe, Ca y Cu, lo que puede indirectamente alterar el colesterol plasmático, también puede reducir el riesgo de cáncer de colon por sus efectos antioxidantes (Torres y Tovar, 2009).

Se ha definido a los oligosacáridos como compuestos de azúcares hidrosolubles presentes en cantidades variables, son constituyentes de reserva en órganos vegetativos y en granos de numerosas plantas siendo alojadas en el cotiledón. Estos azúcares no son aprovechados por los humanos y monogástricos debido a la falta de la enzima α -1,6-galactosidasa, por lo que pasan directamente al colon donde se fermentan por bacterias intestinales sacarolíticas (Rubio y Molina, 2016). La

fermentación de estos compuestos produce gases como el dióxido de carbono, el hidrogeno, el metano, entre otros, causantes de las flatulencias, movilidad intestinal y diarreas (Rubio y Molina, 2016).

Dentro de los estrógenos se encuentran las isoflavonas y los lignanos. La actividad estrogénica o antiestrogénica de las isoflavonas se debe a que la estructura química de las isoflavonas es similar a la del estrógeno, pudiéndose unir a los receptores de estrógeno α y β , cuando hay exceso de estrógeno las isoflavonas se unen a los receptores α , y cuando la cantidad de estrógenos es baja estas se unen a los receptores β (Torres y Tovar, 2009).

En el Cuadro 4 se observa el contenido de algunos factores antinutricionales presentes en el grano de soya, así como el porcentaje residual después de haber sido inactivados.

Cuadro 4. Contenido de Factores antinutricionales presentes en el grano de soya.

Factor antinutricional	Contenido	Métodos de inactivación	Contenido después de su inactivación
Inhibidor de tripsina	46-60 mg/g de proteína (a)	Tratamientos térmicos, presión hidrostática, ultrasonido (b)	2.76 mg/g de proteína (c)
Saponinas	0.5% (a)	Tratamiento térmico, ácido, álcali, remojado en agua y enzimático (d)	73 a 83% (d)
Fitatos	0.5% (a)	Tratamiento térmico (e)	91% (e)

Fuente. Elaboración propia con datos de distintos autores: a) Torres y Tovar (2009); b) Li *et al.* (2017); c) Harish *et al.* (2017); d) Chitisankul *et al.* (2019); e) Konishi *et al.* (1999).

2. 2. Requerimientos nutrimentales de vacas lactantes

Las vacas lactantes de alta producción necesitan de 521 a 734 g de proteína por kg de materia seca consumida (dependiendo del peso del animal, Cuadro 5), según datos de NRC (1973) el grano de soya tiene 421 g de proteína cruda kg⁻¹ de MS y 2.52 Mcal de energía neta (EN).

El ganado lechero (rumiante) requiere los mismos aminoácidos esenciales que los no rumiantes; no obstante, lisina, metionina e histidina han sido identificados como los aminoácidos más limitantes en la alimentación de vacas lecheras con una dieta a base de maíz y forrajes. La inclusión de soya en dietas para vacas lactantes puede ser hasta del 20% (Schwab y Broderick, 2017).

Cuadro 5. Requerimientos nutrimentales diarios de vacas lecheras.

Peso del animal (kg)	MS (kg)	Proteína total (g)	Proteína digestible (g)	EN lactantes (Mcal)	ED (Mcal)	EM (Mcal)	TND (kg)
400	5.5	521	245	7.6	13.6	11.2	3.1
500	6.5	638	300	9.0	16.3	13.4	3.7
600	7.5	734	345	10.3	18.9	15.5	4.2

MS, materia seca; EN, energía neta; ED, energía digestible; EM, energía metabolizable; TND, total de nutrientes digestibles.

Fuente: NRC, 1973.

2. 3. Requerimientos nutrimentales en otras especies

En dietas para cerdas lactantes se incluye la harina de soya en un porcentaje que va del 10 al 28.1% (Close y Cole, 2004). En un estudio realizado en codornices japonesas encontraron que el grano de soya integral cocido puede ser incluido hasta en 20% en las raciones sin que se vean afectados los parámetros productivos; sin embargo, la inclusión del 5% expresó la mejor conversión alimenticia (Hurtado *et al.*, 2010).

Se realizaron diversos estudios para determinar los requerimientos de aminoácidos en cerdas lactantes correlacionando la composición de su leche, encontrando así un valor

de proteína cruda del 5.6% del cual 7.6% es lisina, esto indica que este aminoácido es importante en las dietas de lactancia (Close y Cole, 2004).

El grano de soya tiene alto contenido de lisina, metionina e histidina y puede cubrir las necesidades que requieren las vacas y cerdas en lactancia.

2. 4. Adaptación de individuos

Para explicar la diversidad entre individuos o un grupo de individuos de una especie se han postulado diversas teorías, entre ellas la teoría de la evolución, en la cual la adaptación al ambiente por parte de los individuos es muy importante. Desde los años de su postulación Lewontin (1981) mencionaba que los individuos pueden desarrollar la habilidad para utilizar de manera más eficaz los recursos limitados y resistir mejor a las exigencias y peligros del medio. Darwin (1921), por su parte afirmaba que el cambio en las condiciones de vida es de suma importancia para producir variabilidad en una especie.

Las variaciones se producen debido a que un mismo organismo está expuesto a diferentes condiciones ambientales. Darwin basó la teoría de evolución de las especies en la necesidad de adaptación al ambiente, surgiendo así dos ideas fundamentales: la mutación aleatoria o variación al azar y la selección natural. En la selección natural los individuos conservan las variaciones que les son favorables y eliminan las que no les favorecen, perdurando así los individuos más aptos (Darwin, 1921).

El principio de adaptación señala que los organismos poseen ciertas características morfológicas, fisiológicas y de comportamiento que favorecen la supervivencia y reproducción al ambiente en donde viven. Las adaptaciones más evidentes son las estructurales, que consisten en cambios en la morfología. Las adaptaciones son el producto de la acumulación de pequeños cambios a través de las generaciones (Darwin, 1921). De esta manera, los cultivos han sido mejorados por el hombre para aumentar su expansión geográfica, por ejemplo, la soya que es un cultivo originario de China ha sido mejorado en diferentes ambientes y ahora se puede encontrar en Brasil, en donde han desarrollado variedades que no son afectadas por fotoperiodos cortos.

2. 4. 1. Factores que intervienen en la adaptación del cultivo de soya

La soya sufre estrés ambiental o abiótico causado por factores como, temperaturas extremas, fotoperiodo, radiación ultravioleta, disponibilidad de agua, pH del suelo, toxicidad del suelo causado por metales pesados, deficiencia de nutrientes, entre otros; esto provoca pérdidas sustanciales en el rendimiento y la calidad de un cultivo (Hasanuzzaman *et al.*, 2016).

2. 4. 1. 1. Temperatura

La temperatura óptima de crecimiento de plantas de soya es de 25°/20°C en el día y noche, respectivamente (Ohnishi *et al.*, 2010; Janas *et al.*, 2000). Para adaptarse a ambientes fríos las plantas responden cambiando su expresión genética, teniendo un impacto en su distribución, supervivencia y rendimiento de cultivos. Muchas plantas de origen tropical o subtropical resultan dañadas o mueren por estar expuestas a bajas temperaturas (que no llegan al punto de congelación). Las lesiones por frío son clorosis, necrosis o retraso del crecimiento (Sanghera *et al.*, 2011). Cuando disminuye la temperatura a 15°C en el día y 10°C en la noche se reduce la elongación de las vainas de un 70-90% hasta 40%, efecto que se observó al someter a plantas de soya a estas temperaturas por tres días (Ohnishi *et al.*, 2010).

Cambios en la temperatura pueden afectar de manera negativa al cultivo de soya en zonas templadas de Norteamérica (Gass *et al.*, 1996). Las temperaturas más bajas registradas para el cultivo de soya van de 2°C a 5°C, a estas temperaturas se registró una tasa de desarrollo en la soya de 0.8 a 0.85, lo que repercutió en el tiempo para llegar a la floración que se prolongó hasta los 120 días (Piper *et al.*, 1996). El uso ácido 5-aminolevulínico en diferentes concentraciones (5 a 10 µM) mejora la tolerancia del cultivo de soya a estrés por frío; se encontró que este ácido a una concentración de 5 µM ayuda a tolerar el estrés causado en plantas expuesta a 4°C por 48 horas (Balestrasse *et al.*, 2010). De acuerdo con Yamasaki *et al.* (2013), en algunas variedades de soya hay presencia de genes que le confieren tolerancia al frío al sintetizar deshidrinas.

López y Muñoz (1989) realizaron un ensayo en el cual evaluó algunas variedades de soya bajo condiciones de temporal crítico en tres localidades de la Mixteca Poblana,

en un rango de altura que va de 989 a 2013 m encontró que al aumentar la altura disminuye la temperatura, esta disminución de temperatura tiene como efecto un aumento en días a floración y la disminución del periodo de floración. Adicionalmente encontró que, en la localidad con clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la producción de grano fue entre 456 a 950.3 kg ha⁻¹ al probar siete variedades de soya.

Existen rangos óptimos de temperatura (Figura 1) para el cultivo de soya en sus diferentes etapas fenológicas (Constable y Rose, 1988; Nahar et al., 2016).

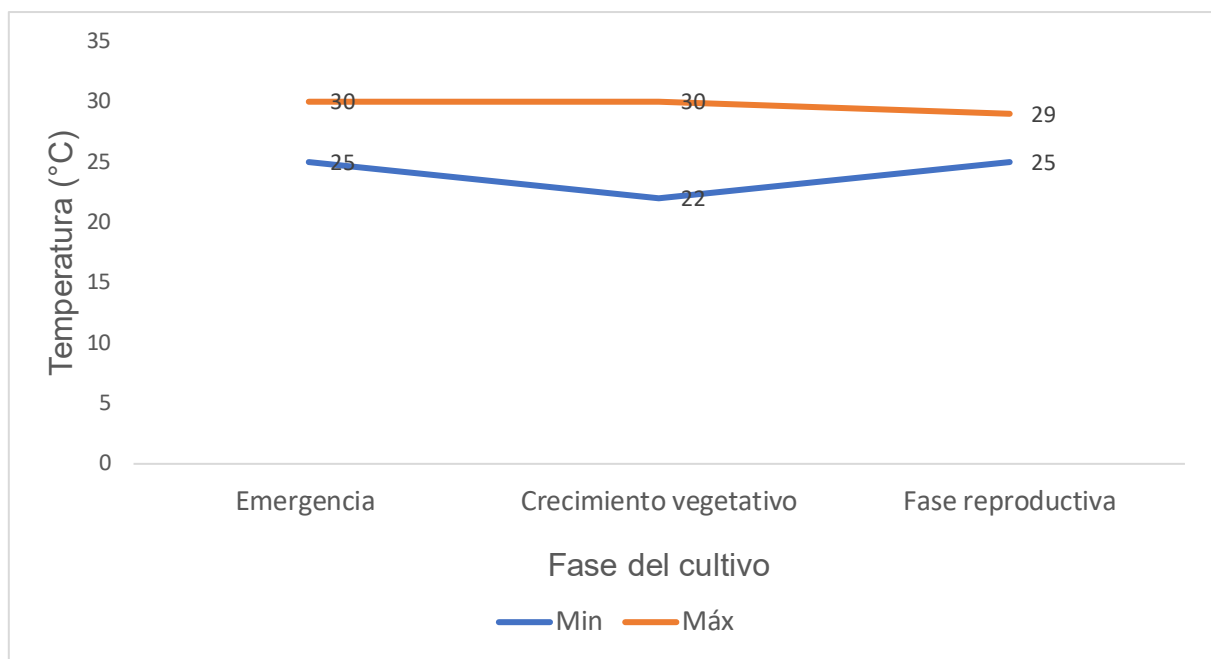


Figura 1. Rango de temperatura para el cultivo de soya

Fuente: Constable y Rose (1988), Nahar *et al.* (2016)

2. 4. 1. 2. Fotoperiodo y radiación

La producción de soya está influenciada por cambios en el fotoperiodo; los fotoperiodos cortos provocan que la soya florezca en menos tiempo, dando plantas pequeñas y disminuyendo el rendimiento del grano (Abrahão y Costa, 2018). Por el contrario, si se extiende el fotoperiodo las plantas de soya retrasan el desarrollo reproductivo, siendo más sensibles en la fase R1-R3, generando más nodos y biomasa

antes de la partición del fruto, esto tiende a aumentar el rendimiento y el número de granos (Nicoa *et al.*, 2015).

La radiación también tiene efecto en el rendimiento de la soya, se han realizado diversos experimentos para evaluar el efecto del sombreado en una variedad de soya con crecimiento indeterminado en la fase R3, se encontró que el número de nodos disminuye por efecto del sombreado, disminuyendo así el número de vainas y granos por m² (Kantolic *et al.*, 2013). El sombreado provoca el aumento del tallo y del área foliar específica, pero disminuye el grosor del tallo, el área de las hojas, el número de nodos y el número de ramas, disminuyendo así el rendimiento (Yu-shan *et al.*, 2017).

La iluminación afecta el desarrollo de las plantas de soya, iluminaciones por debajo de 35 lux no tienen efecto en la duración de la floración, conforme aumenta la iluminación (de 35 a 130 lux) disminuye la tasa de crecimiento en variedades que tardan más tiempo en madurar (Sinclair, 1993).

2. 4. 1. 3. Humedad en suelo

El contenido de agua en el suelo afecta considerablemente la producción de grano, ya sean inundaciones o falta de agua. Al mantener la humedad del suelo en un rango de 85 a 100% de la capacidad de campo (CC) se obtienen los mayores rendimientos, pero cuando disminuye a 30% de CC baja considerablemente la producción de grano y, si disminuye aún más, las plantas apenas producen unos granos o mueren (He *et al.*, 2017).

Las necesidades hídricas varían considerablemente para cada etapa fisiológica en la soya. El déficit hídrico disminuye el porcentaje de germinación, y las etapas con mayor requerimiento de agua son la floración y el llenado de grano (7-8 mm día⁻¹) (Hasanuzzaman *et al.*, 2016). La sequía acelera la madurez y acorta la fase de llenado del grano de soya (Battisti *et al.*, 2017).

La soya cultivada en condiciones de temporal es mayormente afectada por la sequía intraestival, disminuyendo su rendimiento. Una estrategia para prevenir esto es sembrar el cultivo en fechas tempranas, además del manejo que se le da al cultivo

(fertilización, labores culturales, aplicación de estiércoles y pesticidas) (Grassini *et al.*, 2015).

2. 4. 1. 4. pH del suelo

El pH del suelo tiene influencia sobre el rhizobium de las leguminosas, Richardson *et al.* (1988) estudiaron la fijación de nitrógeno de trébol en un rango de pH de 3.0 a 8.0, encontraron que se obtuvo la mayor nodulación en pH de 5.0 a 6.0, disminuyendo drásticamente a partir de 4.5.

El cultivo de soya obtiene gran parte del nitrógeno que necesita para crecer e incrementar su materia seca de la simbiosis con las bacterias del género *Bradyrhizobium* y *Sinorhizobium*; al inocular soya con *Bradyrhizobium* y cultivarla en suelo con pH de 4.9 se afectó negativamente la formación de nódulos en la raíz (Nápoles *et al.*, 2014). Las condiciones de acidez afectan también la fijación de nitrógeno, a pH de 4.0 el aluminio es disuelto en forma iónica provocando reducción en la longitud de la raíz y afecta el flujo de agua y nutrientes en este órgano (Hasanuzzaman *et al.*, 2016). Tobía y Villalobos (2004) cultivaron soya en regiones tropicales con condiciones adversas y encontraron que un pH de 4.8 (ácido) provoca la reducción del contenido nutricional del forraje de soya (proteína y carbohidratos).

2. 4. 1. 5. Salinidad del suelo

El exceso de sales en suelos agrícolas restringe la producción de algunos cultivos, entre ellos el de soya, fenómeno que se debe a la acumulación de sales cuando los cultivos son producidos con riego. Los efectos son más notorios en la germinación y etapas tempranas de crecimiento del cultivo de soya (Shelke *et al.*, 2017). La toxicidad de sal aumenta la entrada de Na^+ a las células, por lo que la planta comienza la generación de especies reactivas al oxígeno, peroxidación de lípidos y producción de osmoprotectores; sin embargo, estos mecanismos provocan disminución del crecimiento de las plantas (Farhangi-Abriz y Nikpour-Rashidabad, 2017)

La germinación de la soya es susceptible a las bajas salinidades (0.05% y 0.1%) provocando un retraso. El crecimiento de las plántulas de soya se inhibió completamente cuando el contenido de sodio en el tejido vegetal fue de 6.1 mg g^{-1} de peso fresco; el rendimiento también se ve afectado por el estrés salino, disminuyendo

el número de ramas y vainas por planta, el peso de granos, deteriorándose también la calidad de los granos en términos del contenido de aceite, proteínas, minerales, carbohidratos solubles y aminoácidos (Hasanuzzaman *et al.*, 2016).

2. 5. Distribución geográfica del cultivo de soya

China es el centro de origen y domesticación del cultivo de soya, área donde se tiene una gran diversidad genética. La adaptación del cultivo a nuevas áreas geográficas ha sido un gran logro para la producción de soya (Burton, 1997) y parte de ello se debe a la diversidad genética con la cual se derivan nuevas variedades con características específicas para una zona (Wang, 2016). En América su cultivo va desde el norte, en Estados Unidos y Canadá hasta países tropicales como Brasil. De acuerdo con Burton (1997) muchos de los recursos de germoplasma que proporcionaron el fundamento de programas de mejoramiento en América Central y del Sur, así como en Europa, fueron los cultivares mejorados de los Estados Unidos y Canadá.

2. 5. 1. Soya en México

Los principales países productores de soya son Estados Unidos, Brasil, Argentina y China, la producción de México no es comparable con estos países como se muestra en la Figura 2. La producción de soya en México está concentrada en los estados del norte y sur del país, siendo los estados de Tamaulipas, Sonora, Campeche y San Luis Potosí, los principales productores del grano en el año 2016 (Figura 3), en ellos se produce grano de soya con variedades adaptadas a climas tropicales, principalmente.

La producción de soya en México no cubre en su totalidad el consumo que se genera principalmente por el sector pecuario, por lo que se tiene que importar de Estados Unidos y China (Torres y Tovar, 2009; INEGI, 2013), tendencia que ha sido la misma a lo largo de los últimos 16 años (Figura 4). Según datos de FAOSTAT (2017ab), la producción de grano oscila entre 1 a 2 t ha⁻¹ en México, a nivel mundial el rendimiento oscila entre 2.1 y 2.6 t ha⁻¹. La tecnología usada en este cultivo se observa en la Figura 5, donde domina la producción mecanizada, con variedades mejoradas, mediana fertilización y cultivada principalmente en condiciones de temporal.

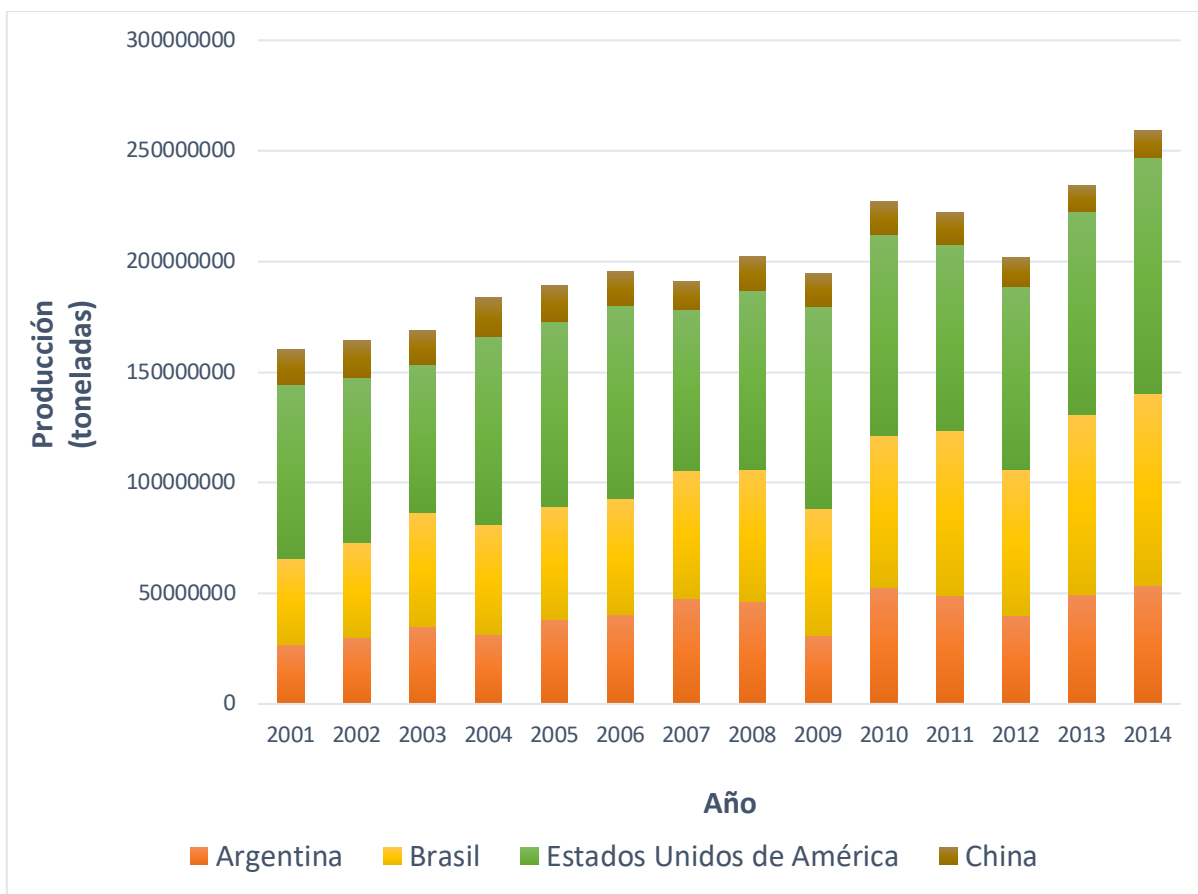


Figura 2. Principales países productores de soya.

Elaborado con datos de FAOSTAT (2017b).

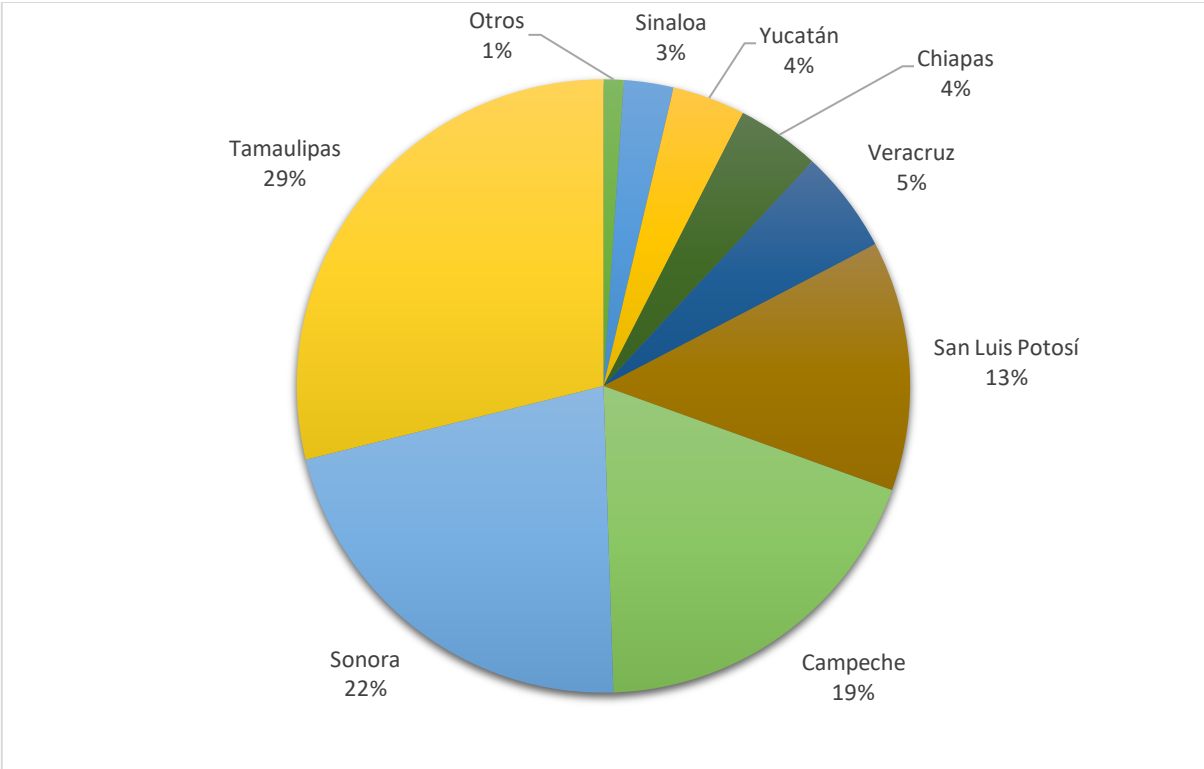


Figura 3. Principales estados productores de soya para el año 2016.

Elaborado con datos de SIAP-SAGARPA (2017).

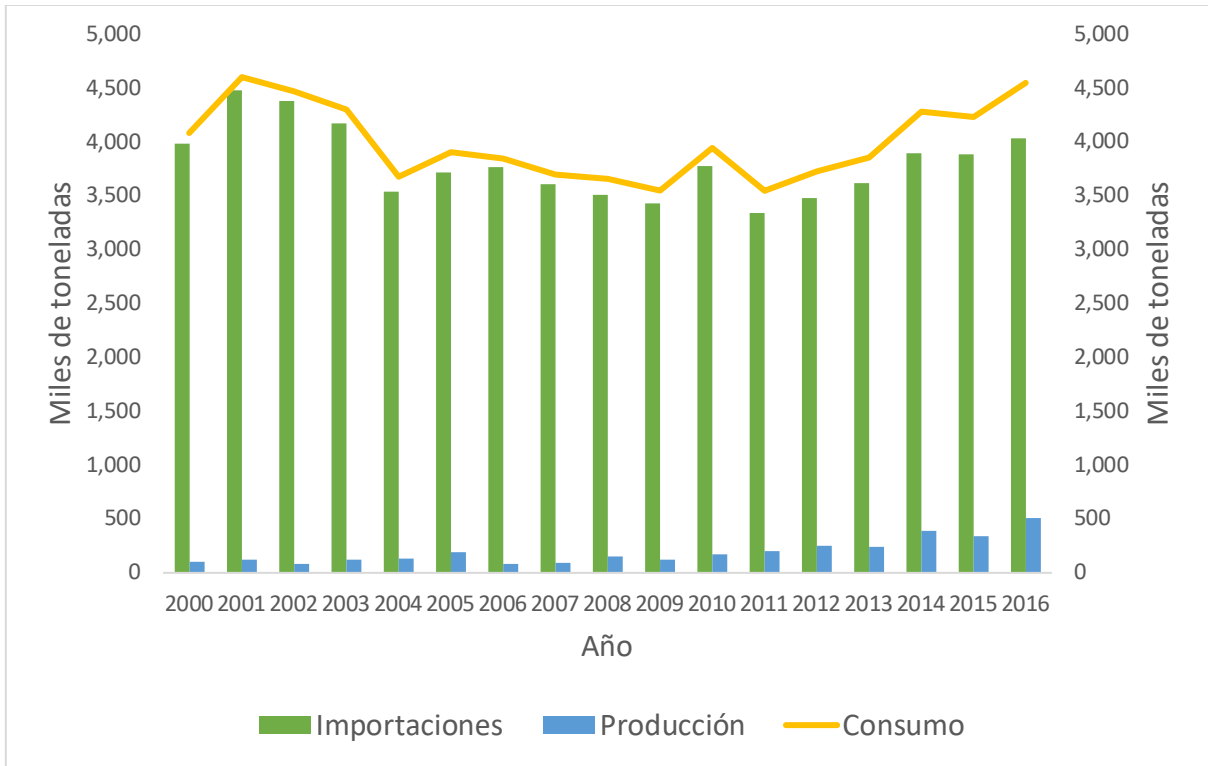


Figura 4. Consumo estimado de soya en México, producción e importaciones.

Elaborado con datos de SIAP-SAGARPA (2017).

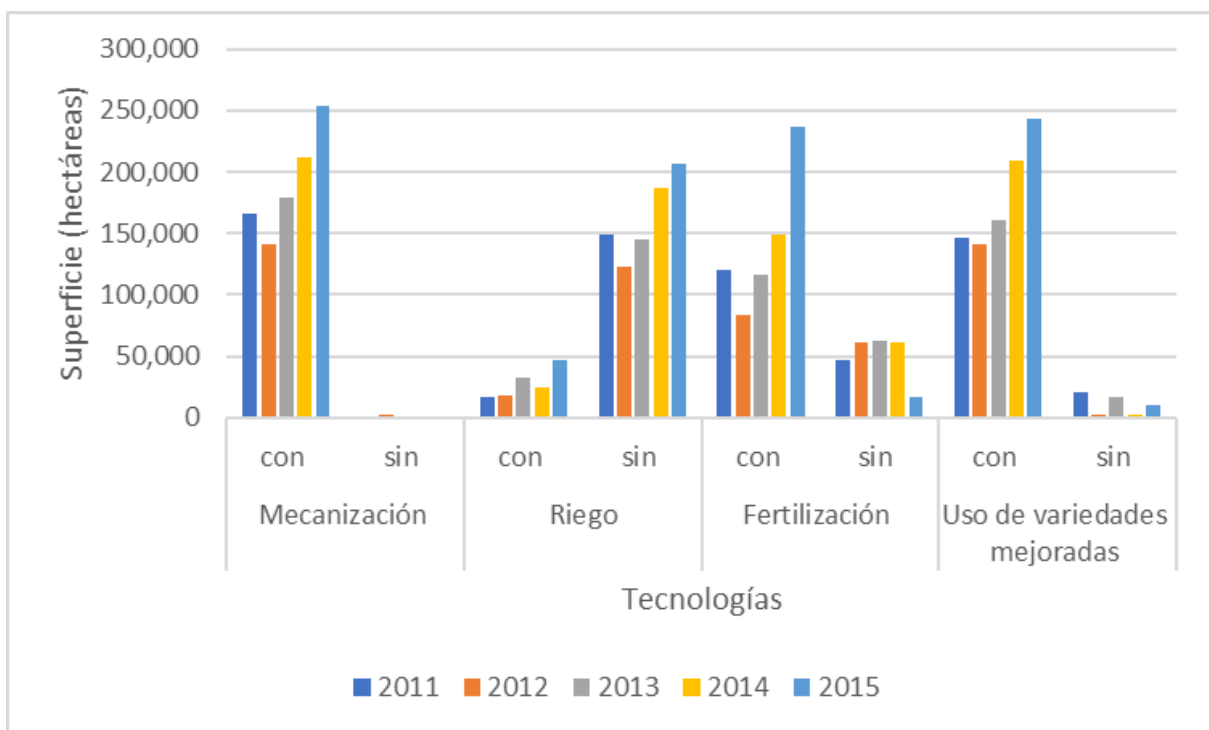


Figura 5. Uso de tecnología para el cultivo de soya en México.

Elaborado con datos de SIAP-SAGARPA (2017).

Con base en lo anterior, y principalmente considerando las características y requerimientos de esta especie, varias condiciones ambientales se pueden cubrir en el Valle Alto de Puebla para proponer la introducción del cultivo de soya en esta zona.

2. 5. 2. Soya en el Valle de Puebla

En el Valle de Puebla-Tlaxcala los suelos están clasificados como suelos de humedad residual, característica aprovechada por los campesinos de la región para realizar siembras tempranas en áreas de secano.

2. 5. 2. 1. Temperatura y precipitación

Las temperaturas en el Valle de Puebla son variadas por lo cual se promedió la temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas más cercana a las localidades de Coronango y Calpan del periodo de 1981-2010 como se observa en las Figuras 6 y 7.

El cultivo de soya tolera un rango de temperatura de 22 a 30°C (Constable y Rose, 1988; Nahar *et al.*, 2016), teniendo efectos negativos cuando se expone a temperaturas inferiores a los 15°C (Ohnishi *et al.*, 2010); necesita además de una precipitación diaria de 7-8 mm en las etapas de floración y llenado de grano (Hasanuzzaman *et al.*, 2016). Tomando en cuenta esta información y observando las Figuras 6 y 7, se encuentra que la época del año que se acerca al óptimo del cultivo de soya va de los meses de mayo a octubre, por lo que variedades de ciclo precoz pueden prosperar.

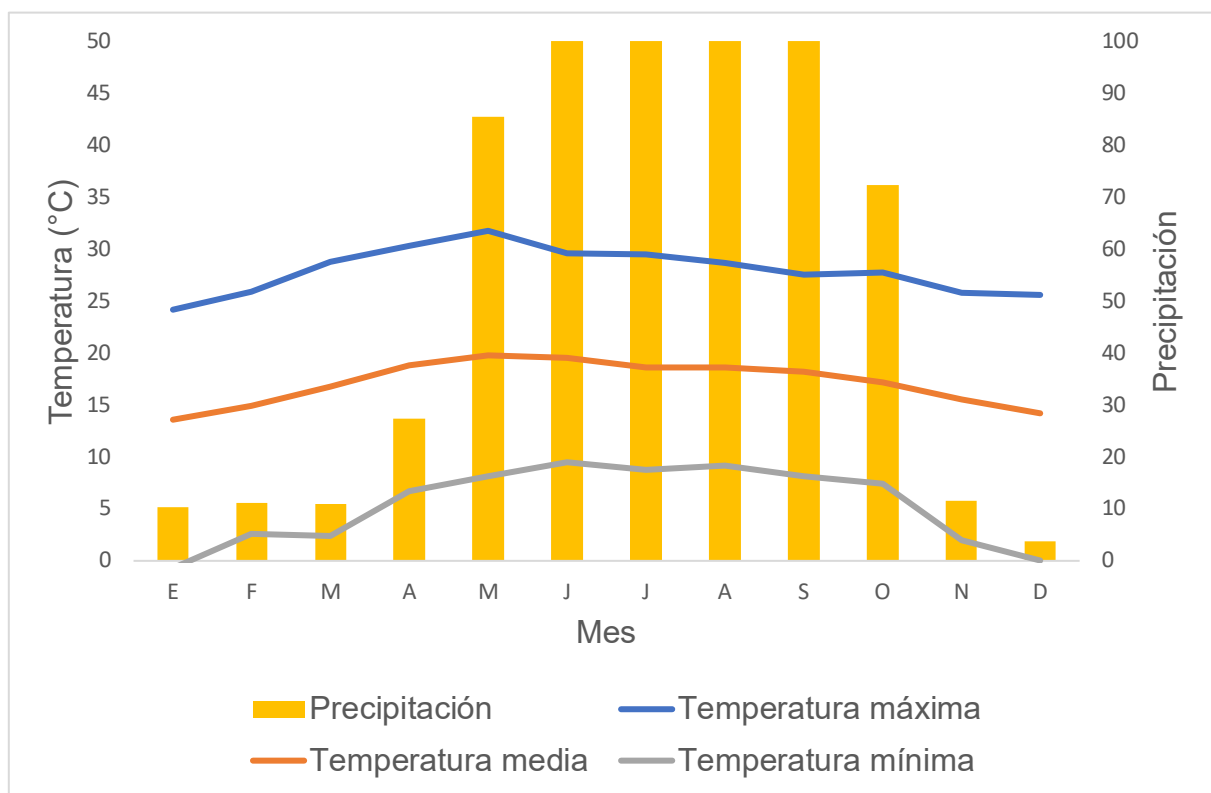


Figura 6. Normales climatológicas del municipio de Puebla del periodo 1981-2010. Elaborado con datos del Servicio Meteorológico Nacional (2018).

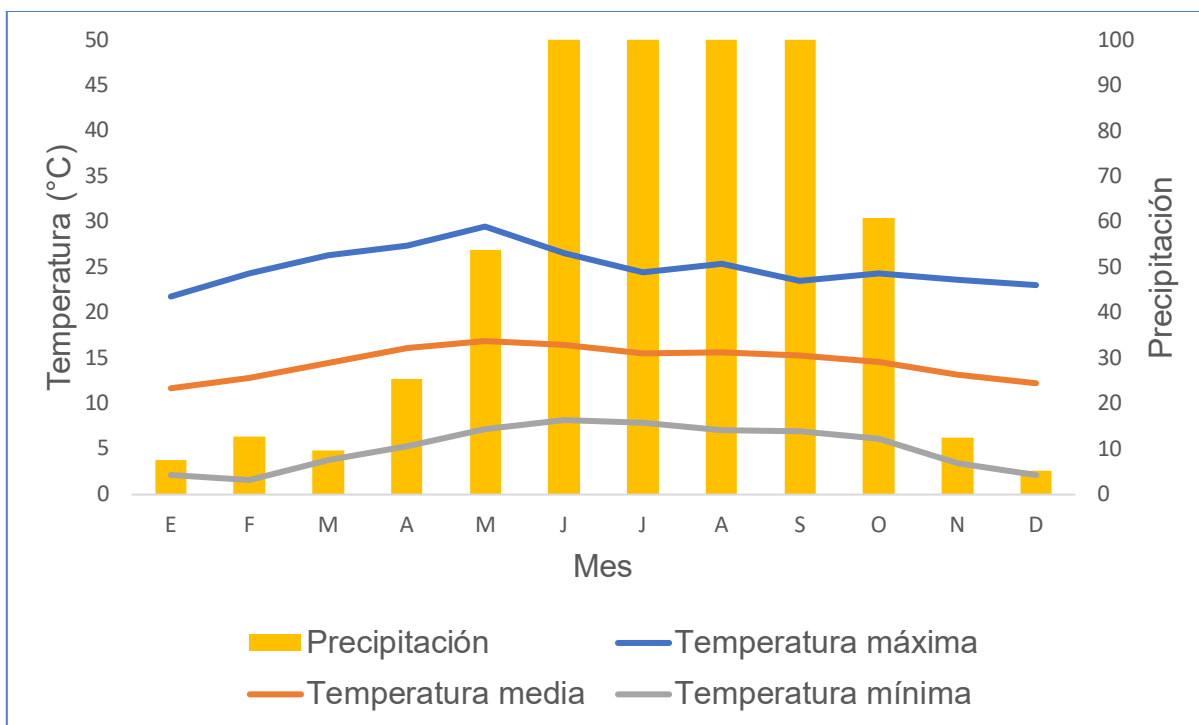


Figura 7. Normales climatológicas del municipio de Calpan del periodo 1981-2010. Elaborado con datos del Servicio Meteorológico Nacional (2018).

2. 5. 2. 2. Características del suelo

Las propiedades físicas de los suelos agrícolas influyen en su capacidad productiva, por ello es necesario conocer las características del suelo de los sitios en donde se cultivará soya. En el Cuadro 6 se muestran las propiedades físicas de los suelos de Calpan y Coronango. Se tomaron como referencia los valores de las tablas del manual para en análisis de suelos, plantas y aguas e interpretación del análisis (Salgado *et al.*, 2006).

Cuadro 6. Características físicas del suelo de los municipios de Calpan y Coronango.

Propiedad física del suelo	Sitio		
	Ciénega Coronango	Coronango	Calpan
pH	6.15	7.08	5.59
Conductividad eléctrica dS/m	0.06	0.14	0.15
Materia orgánica %	12.64	2.89	1.69
N inorgánico mg kg ⁻¹	18.2	18.2	9.1
P mg kg ⁻¹	24.62	10.33	20.38
K mg kg ⁻¹	486	610	146
Ca mg kg ⁻¹	4198	2305	343
Mg mg kg ⁻¹	949	594	77
Fe mg kg ⁻¹	34.58	5.55	7.98
Cu mg kg ⁻¹	0.83	1.91	1.20
Zn mg kg ⁻¹	3.13	1.56	0.57
Mn mg kg ⁻¹	5.51	13.94	1.39
B mg kg ⁻¹	3.01	1.36	0.82
Densidad aparente g cm ⁻³	0.87	1.30	1.66
Arena %	58.2	60.2	88.2
Limo %	35.3	31.3	7.3
Arcilla %	6.5	8.5	4.5
Textura	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Arenoso

Elaboración propia con datos de campo.

Textura: el suelo de Calpan es arenoso, es decir es un suelo suelto con baja capacidad de retención de humedad y pocos nutrientes; el suelo de Coronango y Ciénega es franco-arenoso en general, sus características agrícolas son adecuadas para toda clase de plantas.

Conductividad eléctrica (CE): el contenido de sal en el suelo se estima a partir de la conductividad eléctrica, considerando suelos no salinos con una CE de 0.75 dS/m, los suelos de Calpan y Coronango tienen una CE menor a 0.75.

Potencial Hidrogeno (pH): los suelos de Calpan Coronango Ciénega se encuentran dentro de los moderadamente ácidos (pH de 5.1 a 6.5), mientras que los suelos de Coronango son neutros (pH de 6.6 a 7.3).

Materia orgánica: los suelos se clasifican como bajos con un porcentaje de 1.1 a 2.0% de MO, moderados de 2.1 a 4%, altos de 4.1 a 8% y muy altos >8%. De acuerdo con esta clasificación el suelo de Calpan es bajo en MO, el suelo de Coronango tiene moderado contenido de MO, y el suelo de Ciénega tiene muy alto contenido de MO.

Nitrógeno: a partir del contenido de materia orgánica y densidad aparente se calculó el N orgánico, obteniendo así el N total de la suma del N orgánico e inorgánico para los tres sitios, Ciénega (0.95%), Coronango (0.21%) y Calpan (0.12%). Se consideran de calidad media los suelos (Calpan) que tienen un porcentaje de 0.10 a 0.15% de N total, suelos ricos (Coronango) con 0.15 a 0.25% y suelos muy ricos (Ciénega) con un porcentaje mayor a 0.25%.

Fósforo: el contenido de fósforo para la parcela Coronango es medio (rango de 5.5 a 11 ppm), esto de acuerdo con la clasificación del método Olsen con el que se realizó la determinación. Para las parcelas Ciénega y Calpan cuyo análisis se realizó bajo el método Bray P-1 el contenido de fosforo es medio (rango de 15 a 30 ppm).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): se relaciona directamente con la cantidad de nutrientes asimilables como cationes intercambiables; también se toma en cuenta el grado en el cual el intercambio está saturado con bases contrastando al hidrógeno. Aproximadamente el 95% de la CIC corresponde a los siguientes nutrientes: N, Ca y Mg.

Cationes intercambiables:

Se refiere al potasio, calcio y magnesio que se encuentran en equilibrio entre la solución del suelo y el complejo arcilloso de intercambio.

Potasio: el contenido de potasio se considera alto en un rango de 6 a 13 mg/kg de suelo. Los suelos de las muestras están por arriba de este rango, por tanto, se considera que tienen un alto contenido de potasio.

Calcio: se considera alto el contenido de calcio cuando los valores son mayores a 100 mg kg^{-1} de suelo, de modo tal que el contenido de calcio de los tres suelos (Ciénega, Calpan y Coronango) es alto.

Magnesio: sí el contenido de magnesio es mayor a 30 mg kg^{-1} de suelo se considera alto, por lo tanto, el contenido de Mg de los suelos de Calpan, la Ciénega y Coronango se considera alto.

Hierro: el contenido de hierro en los suelos de Ciénega, Calpan y Coronango está por arriba de 4.5 mg kg^{-1} de suelo, se considera alto el contenido de Fe cuando mayor 4.5 mg kg^{-1} , por lo tanto, son suelos con alto contenido de Fe.

Cobre: el contenido de cobre se considera marginal en un rango de 0.2 a 2 mg kg^{-1} de suelo. El cobre en los suelos de Ciénega, Coronango y Calpan se considera marginal.

Zinc: el contenido de zinc se considera marginal en un rango de 0.5 a 1 , por tanto, el suelo de Calpan (0.57 mg kg^{-1}) se considera marginal en zinc. Se considera alto el contenido de zinc cuando los valores son mayores a 1 mg kg^{-1} de suelo, considerando así un alto contenido de zinc en los suelos de Ciénega y Coronango.

Manganeso: se considera alto el contenido de manganeso cuando los valores son mayores a 1 mg kg^{-1} de suelo. En los suelos de Ciénega, Coronango y Calpan se cuantificaron valores superiores a 1 mg kg^{-1} .

Boro: el contenido de boro se considera bajo cuando los valores no superan a 1 mg kg^{-1} de suelo, adecuado cuando la concentración está entre 1 a 3 mg kg^{-1} de suelo y, excesivo (tóxico) cuando se tiene un rango de 3 a 5 mg kg^{-1} de suelo. Con base en los resultados, el suelo de Calpan tiene un contenido bajo de boro, el suelo de Coronango tiene un contenido adecuado y, en Ciénega el contenido de boro se considera excesivo.

3. Justificación

El aumento de la producción y la productividad agrícola y pecuaria es ahora una de las prioridades en todo el mundo para alimentar a una población en constante crecimiento. La producción de soya en México no cubre la demanda que se tiene para el consumo humano, la alimentación del ganado y la industria, importando más de la mitad. Se importa grano principalmente de Estados Unidos y China, pero se tiene una percepción de incertidumbre por parte de la población ya que son granos transgénicos que pueden causar daño a la salud humana, dado que en México no está regulada la distribución de alimentos genéticamente modificados que es algo común en los países productores. Una manera de minimizar la importación de grano de soya es aumentar la superficie y el rendimiento en los principales lugares de producción (Tamaulipas, Sonora, Campeche y San Luis Potosí), pero también explorar e introducir el cultivo en otras áreas con potencial productivo, como las regiones semicálidas y templadas. Con base en la revisión de literatura, en otras latitudes del planeta se han realizado estudios preliminares que explican el comportamiento de la soya a diferentes altitudes y cambios de temperatura, bajo este supuesto, esto indica que la soya se puede adaptar y tiene una amplia plasticidad a diferentes altitudes y climas, es por ello que la presente investigación se justifica al realizar un estudio exploratorio en el Valle Alto de Puebla (zona templada) al evaluar, analizar y sistematizar la información respecto a la respuesta de producción de siete variedades de soya experimentales y dos comerciales de ciclo precoz, con el propósito de generar información y encontrar y seleccionar a mediano y largo plazo una variedad de soya con potencial productivo para Valles Altos que los productores de la región puedan utilizar como suplemento alimenticio para el ganado a bajo costo, y de ser posible, también la utilicen para su alimentación.

4. Planteamiento del problema

Ante una necesidad de los productores del Valle de Puebla por bajar los costos de producción en la actividad pecuaria, principalmente la compra de alimentos balanceados existe la posibilidad de que ellos produzcan la soya, que, por ser un grano

con alto contenido de proteína y energía, pudiera minimizar la dependencia de insumos industriales-comerciales. Existen diversas investigaciones en las que se ha probado el comportamiento productivo del cultivo de soya en diferentes ambientes, principalmente la tolerancia al frío. Sin embargo, no hay suficientes referentes empíricos sobre el comportamiento de la soya en zonas templadas de México, surgiendo así la siguiente interrogante: ¿Cuál es el potencial productivo del cultivo de soya en el Valle Alto de Puebla?

5. Objetivo

Conocer la producción de grano de nueve cultivares de soya en tres sitios (Calpan, Ciénega (Coronango) y Coronango).

6. Hipótesis

Algunos cultivares de soya se adaptan a las condiciones climáticas y edáficas del Valle Alto de Puebla y tienen potencial productivo para ser un cultivo alternativo.

7. Materiales y métodos

7.1. Localización del área de estudio

El establecimiento de la soya se llevó a cabo en las localidades de Calpan y Coronango, municipios del estado de Puebla, México.

7.1.1. Calpan

El municipio de Calpan se localiza en la parte centro oeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 06'36" y 19° 41'12" de latitud norte y los meridianos 98° 23'54" y 98° 32'24" de longitud occidental. Presenta una topografía más o menos plana al oriente, con un ligero ascenso en dirección Sureste-Noroeste, suave y regular con altura de 2240 m Su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (INAFED, 2017).

7. 1. 2. Coronango

El municipio de Coronango se localiza en la parte centro Oeste, del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 19° 06'36" y 19° 10'42" de latitud norte y los meridianos 98° 14'54" y 98° 19'40" de longitud occidental. Presenta una topografía plana con altura de 2,190 m. Su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (INAFED, 2017).

7.2. Material vegetal

Se utilizaron siete selecciones experimentales de soya ciclo precoz (BM2 verde, Hoja Seca Original, Hoja Seca Vainas Abundantes (HSVA), Hoja Seca Ombligo Negro, Hoja Verde Temporal, Hoja Verde Ramificada y Varita), dos variedades comerciales de ciclo precoz (Cajeme y Nainary) y una especie de referencia que fue el Lupino (*Lupinus angustifolius*), variedad *Voregine*.

7. 3. Preparación del terreno y siembra

La condición de humedad del terreno fue bajo temporal. La preparación del terreno se realizó arando y rastreando, con un ancho de surcado de 0.7 m. La siembra se realizó manualmente a una separación de 8 cm entre plantas. Se fertilizó al mismo tiempo con la fórmula 28-75-75 de N-P-K, utilizando las fuentes 18-46-00 y sulfato de potasio (00-00-52). La siembra se realizó el día 15 de mayo de 2018 en la localidad de Calpan, 30 de mayo de 2018 en Coronango y 1 de junio de 2018 en la Ciénega, fechas en las que se tuvo suficiente disponibilidad de humedad para la siembra.

7. 4. Cosecha del cultivo de soya

La cosecha se realizó cuando más del 50% de las plantas alcanzaron una coloración marrón. En la localidad de Calpan la cosecha se realizó del 17 al 20 de noviembre de 2018, en Coronango la cosecha se realizó del 2 al 6 de diciembre de 2018 y en la Ciénega la cosecha se realizó del 13 al 17 de diciembre de 2018.

7. 5. Variables de estudio

7. 5. 1. Floración

Días a floración: se contaron los días que pasaron desde la siembra hasta la aparición de las primeras flores.

7. 5. 2. Altura y ancho del dosel

Se midieron altura de planta y ancho de dosel cuando inicio la floración, siendo la altura desde la base del suelo hasta la punta de la planta. El dosel se midió tomando en cuenta la superficie que la planta cubría.

7. 5. 3. Producción de grano

Se determinó la producción de grano por hectárea a partir de lo que se obtuvo del trillado de la unidad experimental. Asimismo, se contaron el número de vainas y número de granos por vaina como componentes del rendimiento.

7. 6. Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 4 repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en 4 surcos de 5 metros de largo por 70 cm de ancho. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + L_k + B_j(L_k) + I_{TxL} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable respuesta asociada a del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque anidado en la k-ésima localidad.

μ = media poblacional.

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento

L_k = efecto de la k-ésima localidad

$B_j(L_k)$ = efecto del j-ésimo bloque anidado en la k-ésima localidad.

I_{TxL} = efecto de la interacción del i-ésimo tratamiento con la k-ésima localidad.

ε_{ijk} = error experimental asociado al i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque anidado en la k-ésima localidad.

Los datos de altura de planta, ancho de dosel, días a floración, producción de vainas y grano por planta, rendimiento y granos vanos se analizaron con el procedimiento GLM del programa estadístico SAS 9.4 (2002-2012) y la comparación de medias se hizo a través de la prueba de Tukey.

8. Resultados

En el Cuadro 7 se presentan algunos datos del análisis de varianza; en general, se encontró variación entre localidades y entre variedades, la interacción fue significativa sólo en tres variables (dosel, vainas por planta y granos por planta).

Cuadro 7. Análisis de varianza para el cultivo de soya en el Valle de Puebla.

Variable	Modelo Pr>F	R ²	CV	Media	Error tipo III Pr>F			
					Localidad	Variedad	Loc*Var	
Floración	<.0001	0.95	2.9	93.29	<.0001	<.0001	0.819	NS
Altura	<.0001	0.67	14.5	71.11	<.0001	0.009	0.152	NS
Dosel	0.0007	0.58	14.1	45.62	0.010	0.046	0.043	
Vainas por planta	0.0027	0.55	35.2	40.23	0.215	NS	0.056	NS
Granos por planta	0.0023	0.55	36.2	72.08	0.024	0.075	NS	0.002
Rendimiento	<.0001	0.69	37.6	2579.8	<.0001	0.005	0.090	NS
Semilla vana	<.0001	0.73	70.8	39.76	<.0001	0.575	NS	0.264

Valores ≤ 0.05 son significativos, ≤ 0.01 son altamente significativos y NS no son significativos.

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

En las Figuras 8 y 9 se muestra el régimen de lluvias y temperaturas para la localidad de Calpan (Figura 8) y Coronango (Figura 9). Se describen además los eventos importantes para el cultivo de soya (fecha de siembra, inicio de floración, cosecha) y algunos fenómenos meteorológicos.

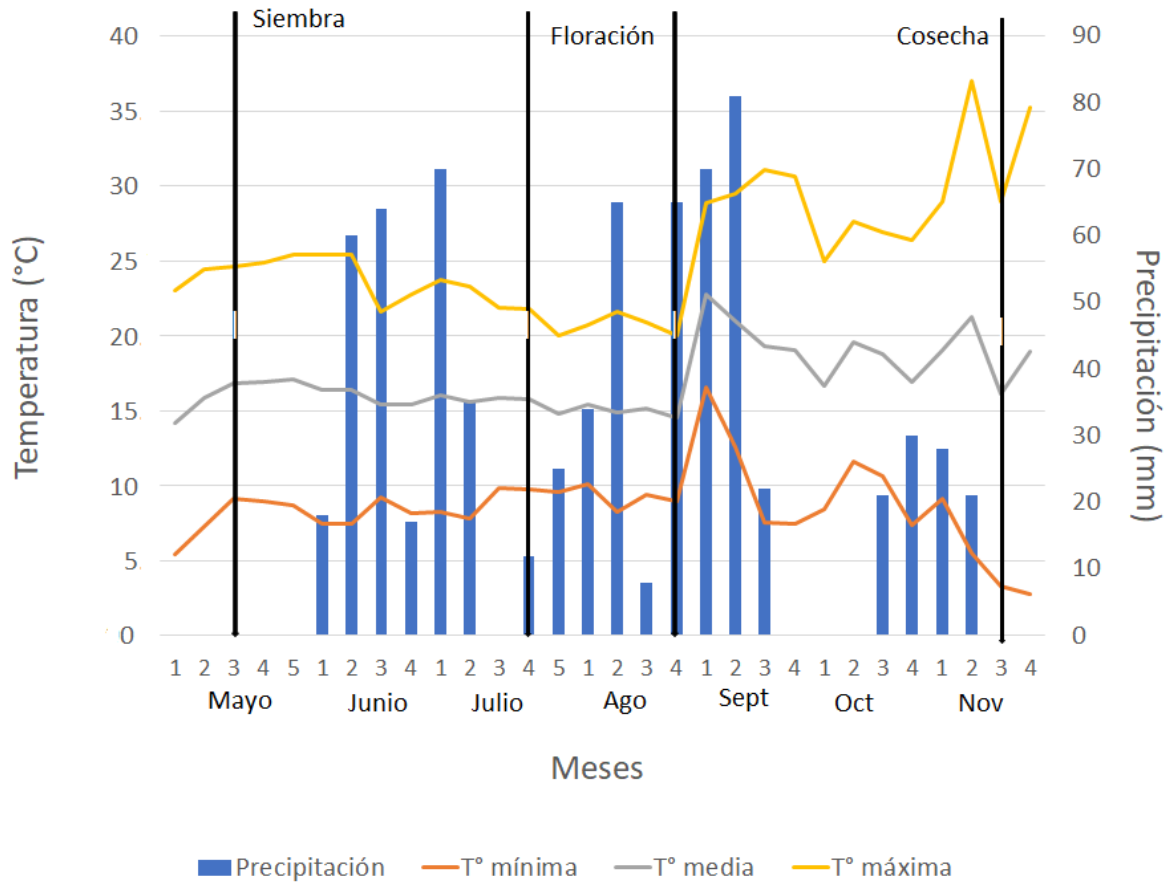


Figura 8. Temperatura y precipitación semanal del municipio de Calpan para el ciclo de cultivo 2018.

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

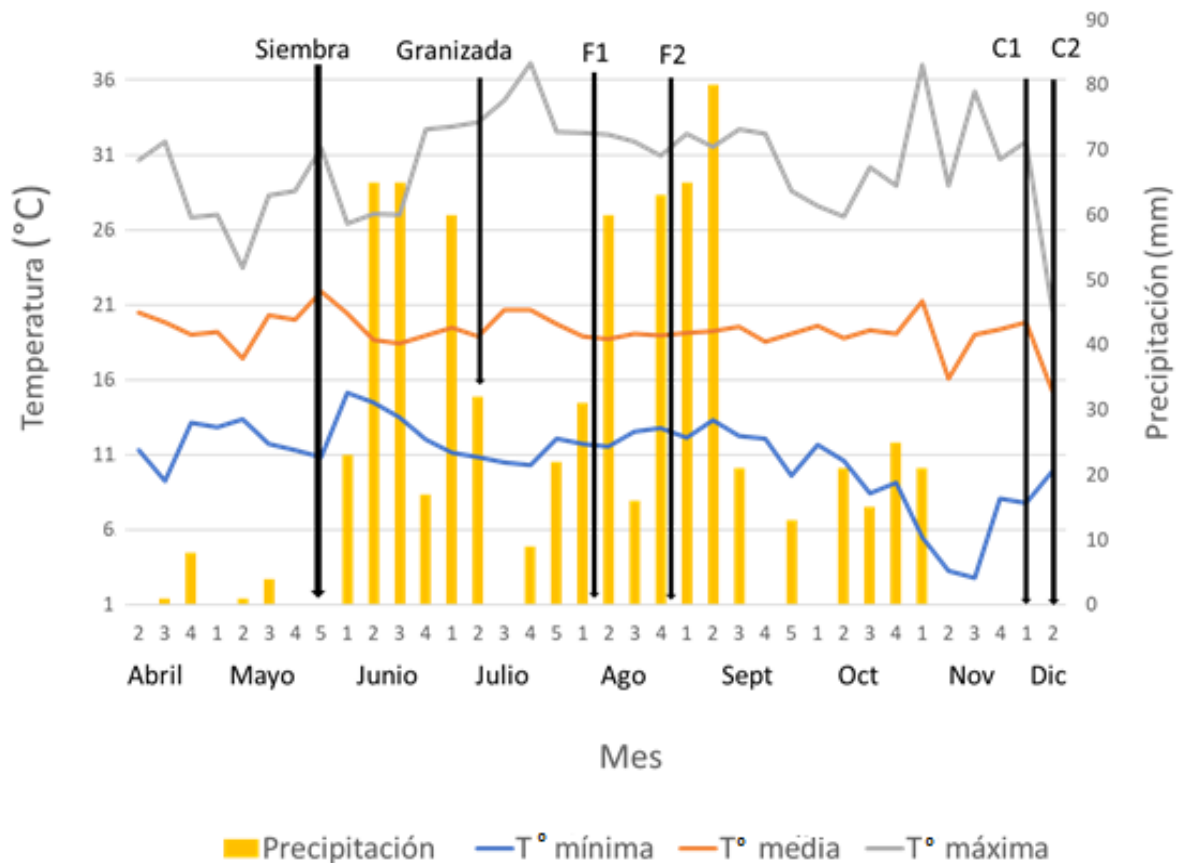


Figura 9. Temperaturas y precipitaciones semanales correspondientes al municipio de Santa María Coronango para el ciclo de cultivo 2018.

Abreviaturas: F1= floración en Coronango, F2= floración en la Ciénega, C1= cosecha en Coronango, C2= cosecha en la Ciénega.

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

La altura de las variedades de soya estudiadas fue diferente entre localidades ($P < 0.0001$). La localidad en donde se expresó la mayor altura fue Coronango ($P < 0.05$) como se observa en la Figura 10, el promedio fue de 82.7 cm, mientras que en las localidades de Calpan y La Ciénega el promedio fue de 65 y 65.5 cm que representaron un 15% menos.

Entre variedades hubo diferencias de altura ($P < 0.008$), las dos que se diferenciaron fueron la Cajeme de la Hoja Seca Ombligo Negro ($P < 0.05$), que alcanzaron 79.6 y 65.1 cm, respectivamente (Figura 11).

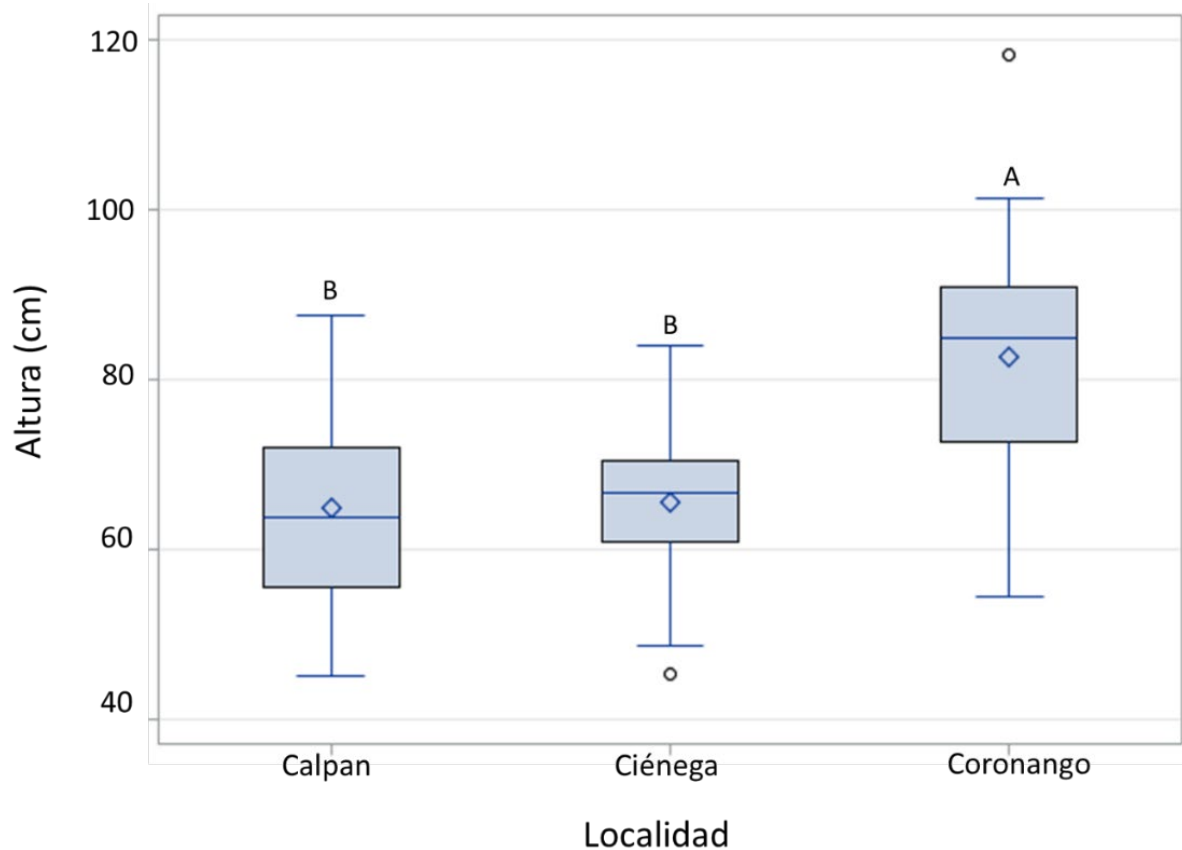


Figura 10. Altura promedio del cultivo de la soya en tres localidades del Valle de Puebla. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

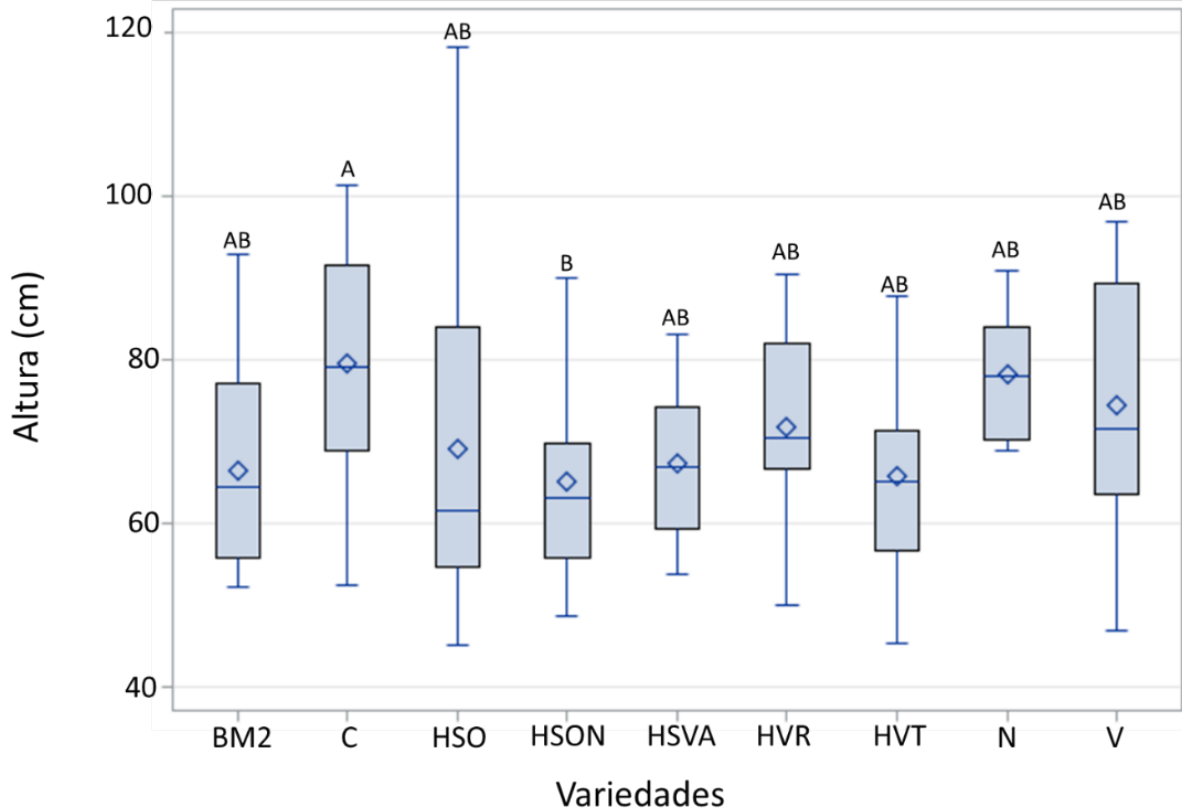


Figura 11. Altura promedio de nueve variedades de soya en tres localidades del Valle de Puebla.

Cada abreviatura corresponde a las siguientes variedades: BM2= BM2 verde, C= Cajeme, HSO= Hoja Seca Original, HSVA= Hoja Seca Vainas Abundantes, HVR= Hoja Verde Ramificada, HVT= Hoja Verde Temporal, N= Nainary, V= Varita. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

El ancho de dosel de las variedades de soya evaluadas fue diferente entre localidades ($P < 0.009$). La localidad que expresó el mayor ancho de dosel fue Calpan ($P < 0.05$) como se observa en la Figura 12, el promedio fue de 48.4 cm, mientras que en las localidades de Ciénega y Coronango el promedio fue de 44.7 y 43.4 cm, respectivamente.

Entre variedades el ancho de dosel fue diferente ($P < 0.04$), distinguiéndose las variedades Nainary de la Hoja Seca Original ($P < 0.05$), que alcanzaron un ancho de 49.6 y 41.6 respectivamente (Figura 13).

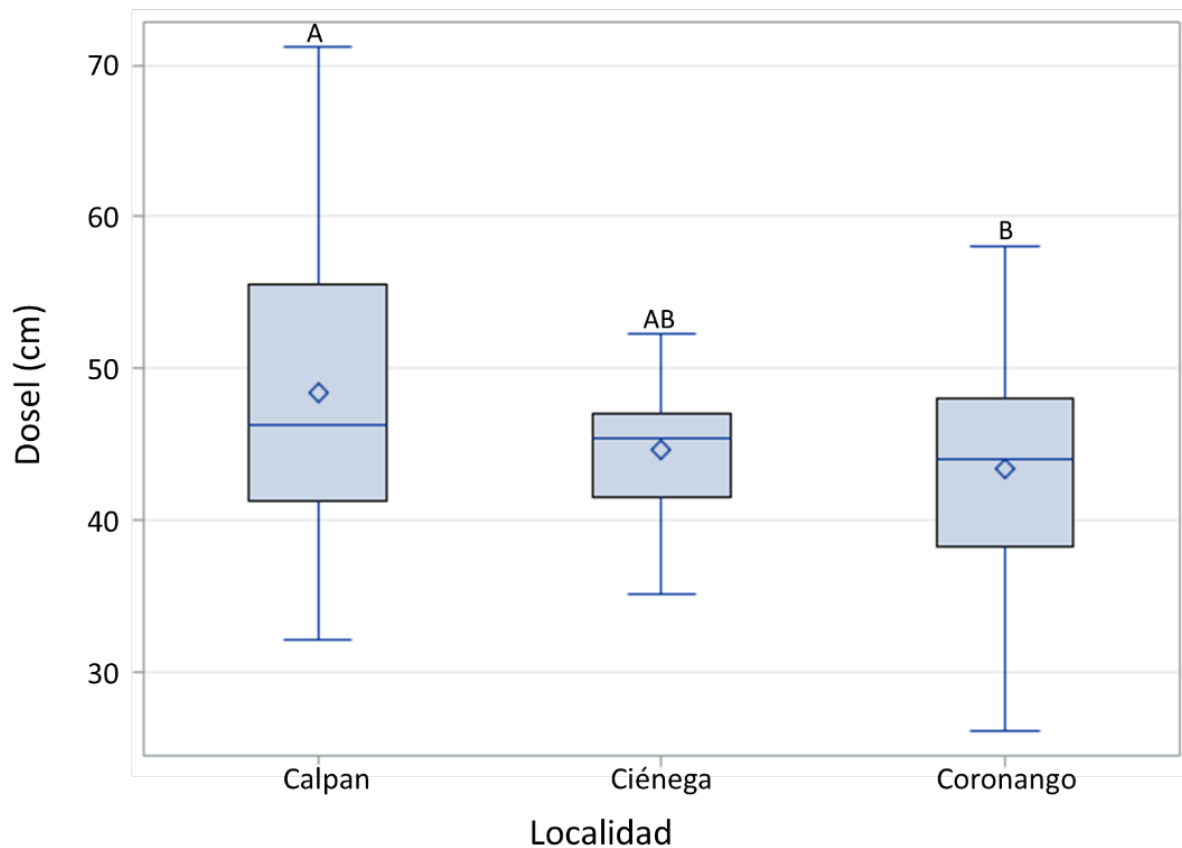


Figura 12. Promedio de ancho del dosel del cultivo de soya en tres localidades del Valle de Puebla. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

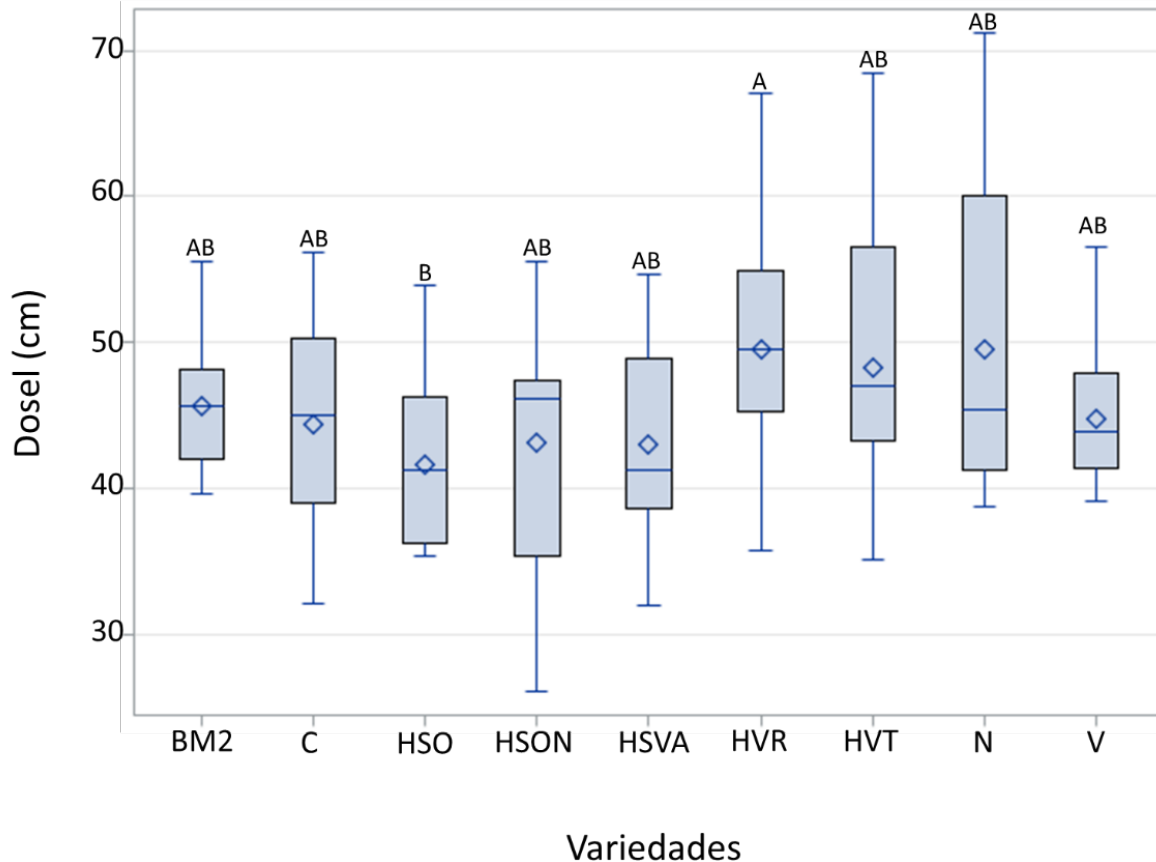


Figura 13. Promedio de ancho del dosel de nueve variedades de soya cultivadas en el Valle de Puebla.

Cada abreviatura corresponde a las siguientes variedades: BM2= BM2 verde, C= Cajeme, HSO= Hoja Seca Original, HSVA= Hoja Seca Vainas Abundantes, HVR= Hoja Verde Ramificada, HVT= Hoja Verde Temporal, N= Nainary, V= Varita. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

Los días a floración de las variedades de soya estudiadas fueron diferentes entre localidades ($P < .0001$). La localidad en donde se expresó el mayor número de días a floración fue la Ciénega ($P < 0.05$), como se observa en la Figura 14, el promedio fue de 102 días, seguido de Calpan con 91 días y Coronango con 89 días.

Entre variedades se encontraron diferencias en los días a floración ($P < .0001$), las variedades con menor número de días a floración fueron Hoja Seca Vainas Abundantes, Hoja Seca Original y Varita con un promedio de 78, 81 y 82 días, respectivamente como se observa en la Figura 15.

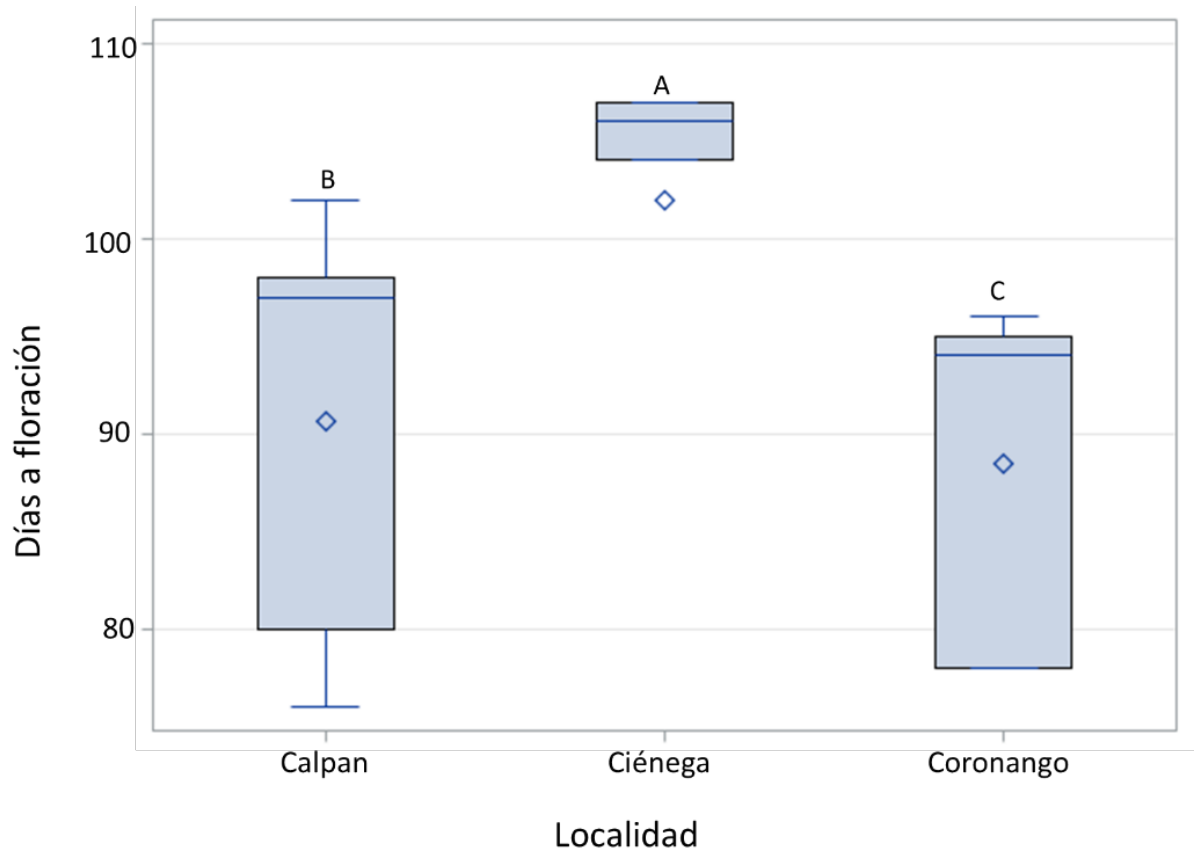


Figura 14. Promedio de los días a floración de soya cultivada en tres localidades del Valle de Puebla. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

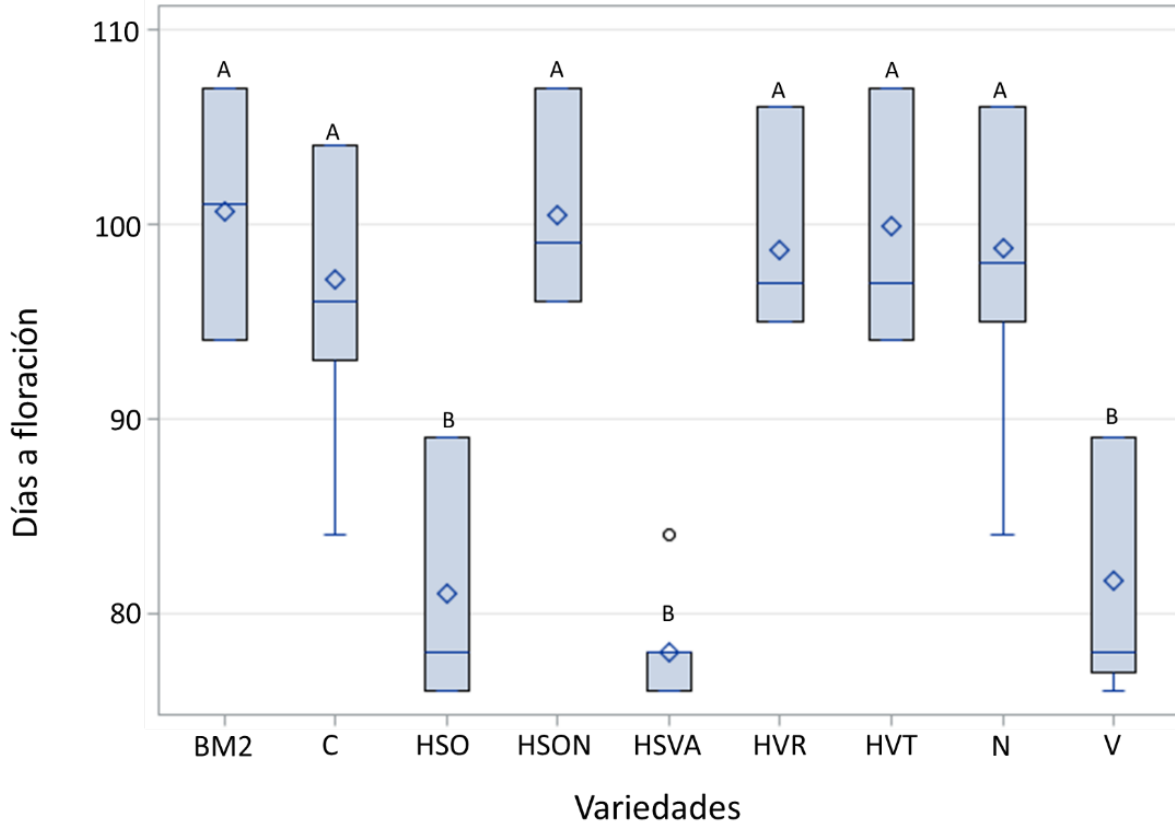


Figura 15. Promedio de días a floración de nueve variedades de soya cultivadas en el Valle de Puebla.

Cada abreviatura corresponde a las siguientes variedades: BM2= BM2 verde, C= Cajeme, HSO= Hoja Seca Original, HSVA= Hoja Seca Vainas Abundantes, HVR= Hoja Verde Ramificada, HVT= Hoja Verde Temporal, N= Nainary, V= Varita. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

No hubo diferencia en el número de vainas por planta de las variedades de soya en las localidades bajo estudio ($P > 0.05$) como se observa en la Figura 16.

Entre variedades no hubo diferencia para el número de vainas por planta ($P > 0.05$) como se observa en la Figura 17.

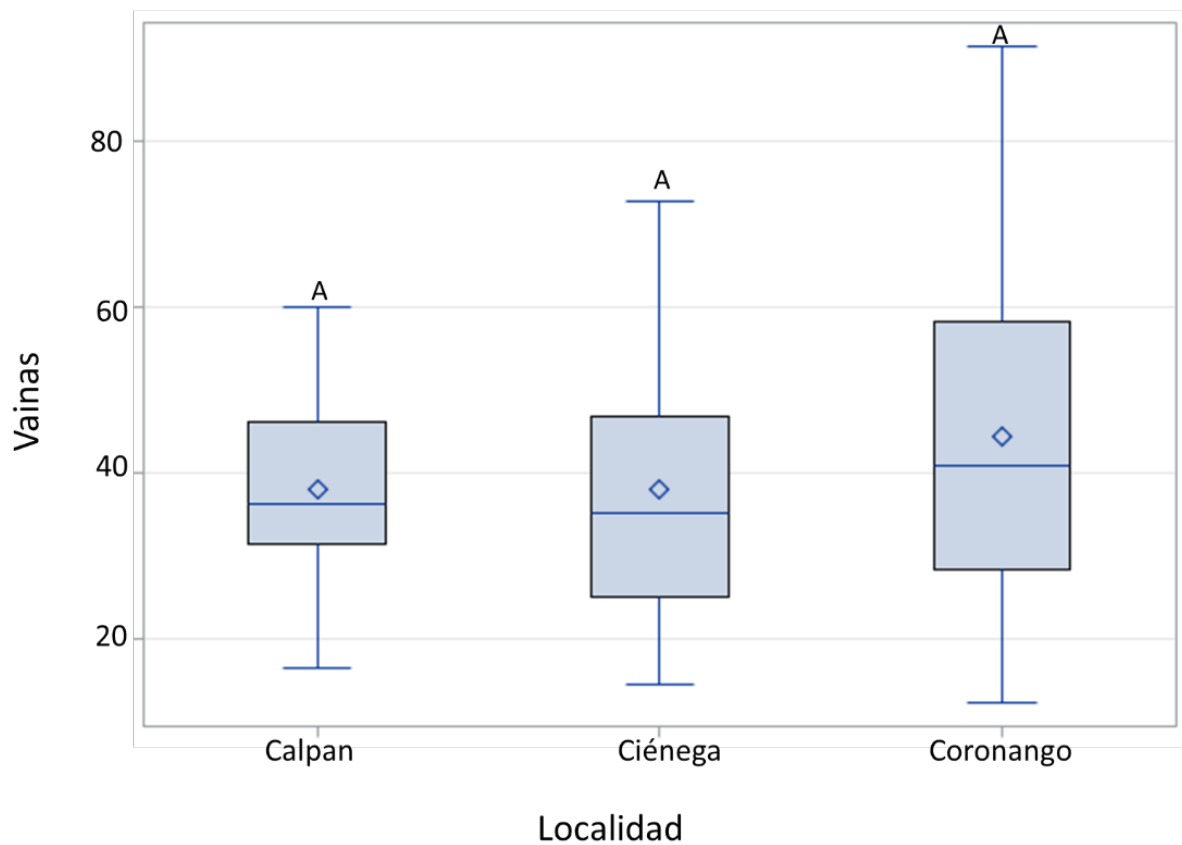


Figura 16. Promedio del número de vainas por planta del cultivo de soya en tres localidades del Valle de Puebla. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

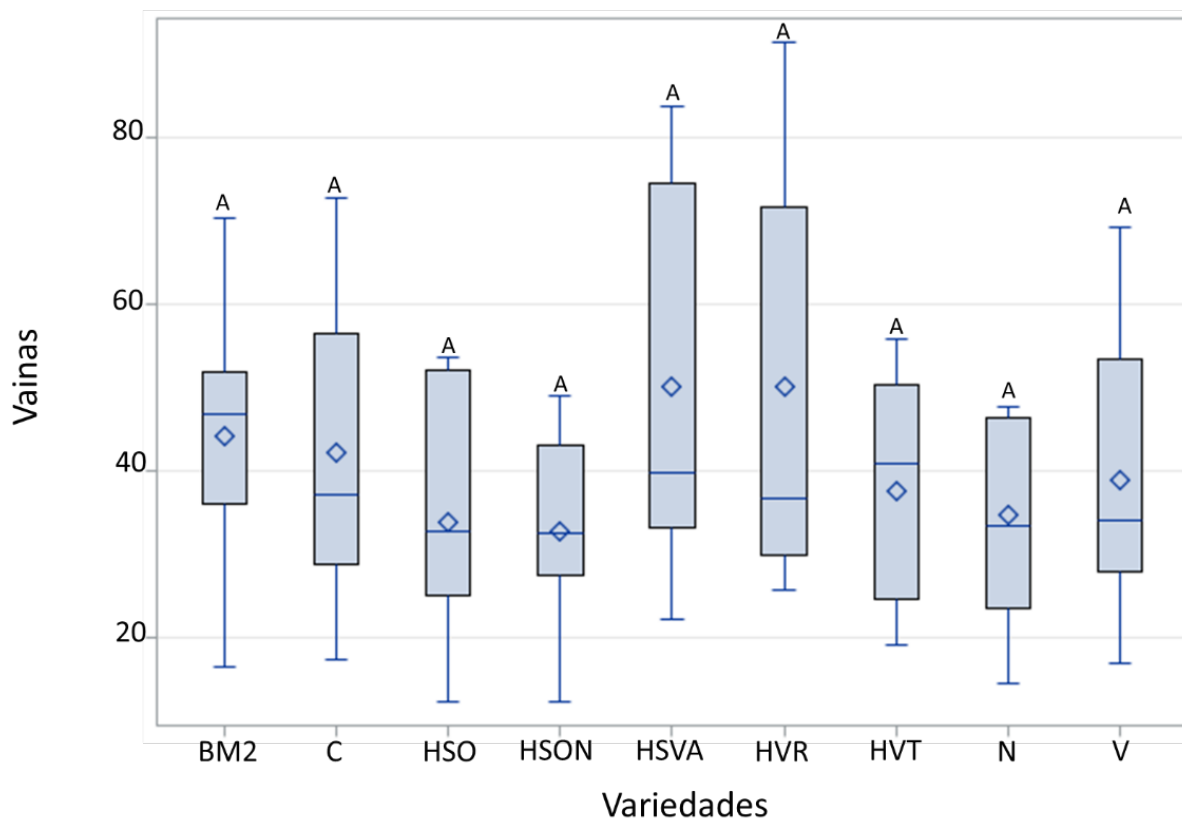


Figura 17. Promedio de vainas por planta de nueve variedades de soja en el Valle de Puebla.

Cada abreviatura corresponde a las siguientes variedades: BM2= BM2 verde, C= Cajeme, HSO= Hoja Seca Original, HSVA= Hoja Seca Vainas Abundantes, HVR= Hoja Verde Ramificada, HVT= Hoja Verde Temporal, N= Nainary, V= Varita. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

El número de granos por planta de las variedades de soja estudiadas fue diferente entre localidades ($P < 0.02$). La localidad en donde se expresó el mayor número de granos por planta fue Coronango ($P < 0.05$) como se observa en la Figura 18, el promedio fue de 82 granos por planta, mientras que en las localidades de Calpan y la Ciénega el promedio fue de 66 y 68 grano por planta, respectivamente. Entre

variedades no hubo diferencia para el número de granos por planta ($P>0.05$) como se observa en la Figura 19.

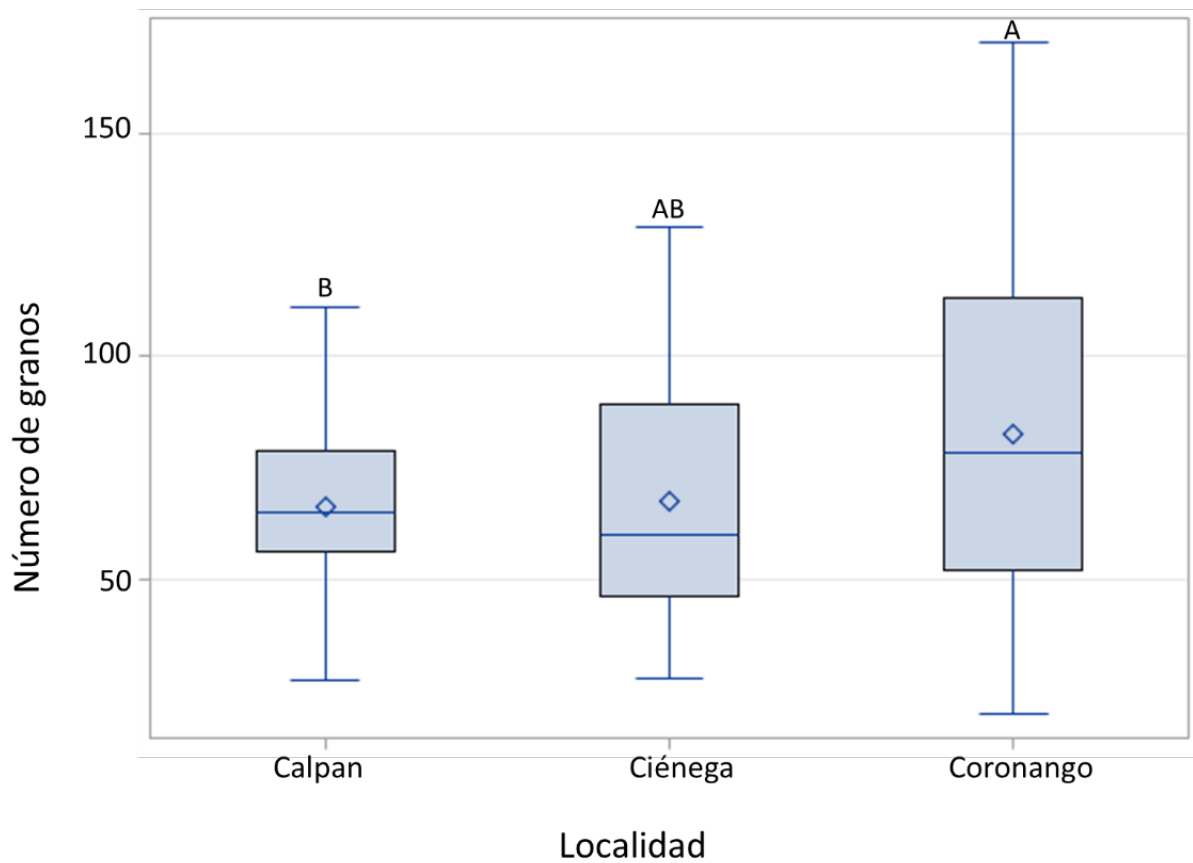


Figura 18. Promedio del número de granos por planta del cultivo de soya en el Valle de Puebla. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P<0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

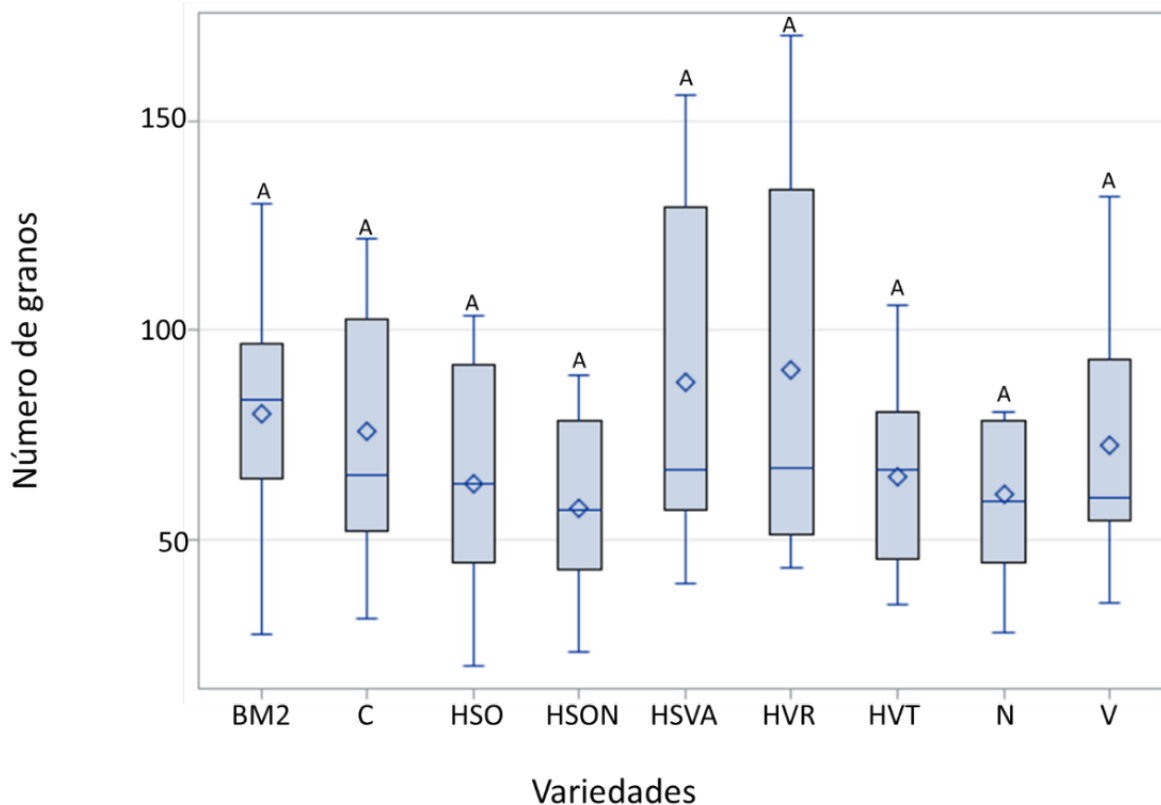


Figura19. Promedio del número de granos por planta de nueve variedades de soya en el Valle de Puebla.

Cada abreviatura corresponde a las siguientes variedades: BM2= BM2 verde, C= Cajeme, HSO= Hoja Seca Original, HSVA= Hoja Seca Vainas Abundantes, HVR= Hoja Verde Ramificada, HVT= Hoja Verde Temporal, N= Nainary, V= Varita. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

El rendimiento de las variedades de soya estudiadas fue diferente entre localidades ($P < 0.0001$). La localidad en donde se expresó el mayor rendimiento fue la Ciénega ($P > 0.05$), como se observa en la Figura 20, el promedio fue de 2.62 t ha^{-1} , mientras que en Calpan y Coronango fue de 1.35 y 1.56 t ha^{-1} . Con relación al Lupino, este solamente prosperó en la localidad de Calpan (Figura 21), el rendimiento que alcanzó fue de 1.2 t ha^{-1} .

Entre variedades de soya se encontraron diferencias en cuanto al rendimiento ($P < 0.0052$), las dos que se diferenciaron fueron Varita y Nainary ($P > 0.05$), siendo Varita la que expresó el mayor rendimiento (2.38 t ha^{-1}) comparada con la Nainary (1.43 t ha^{-1}) como se observa en las Figuras 21 y 22.

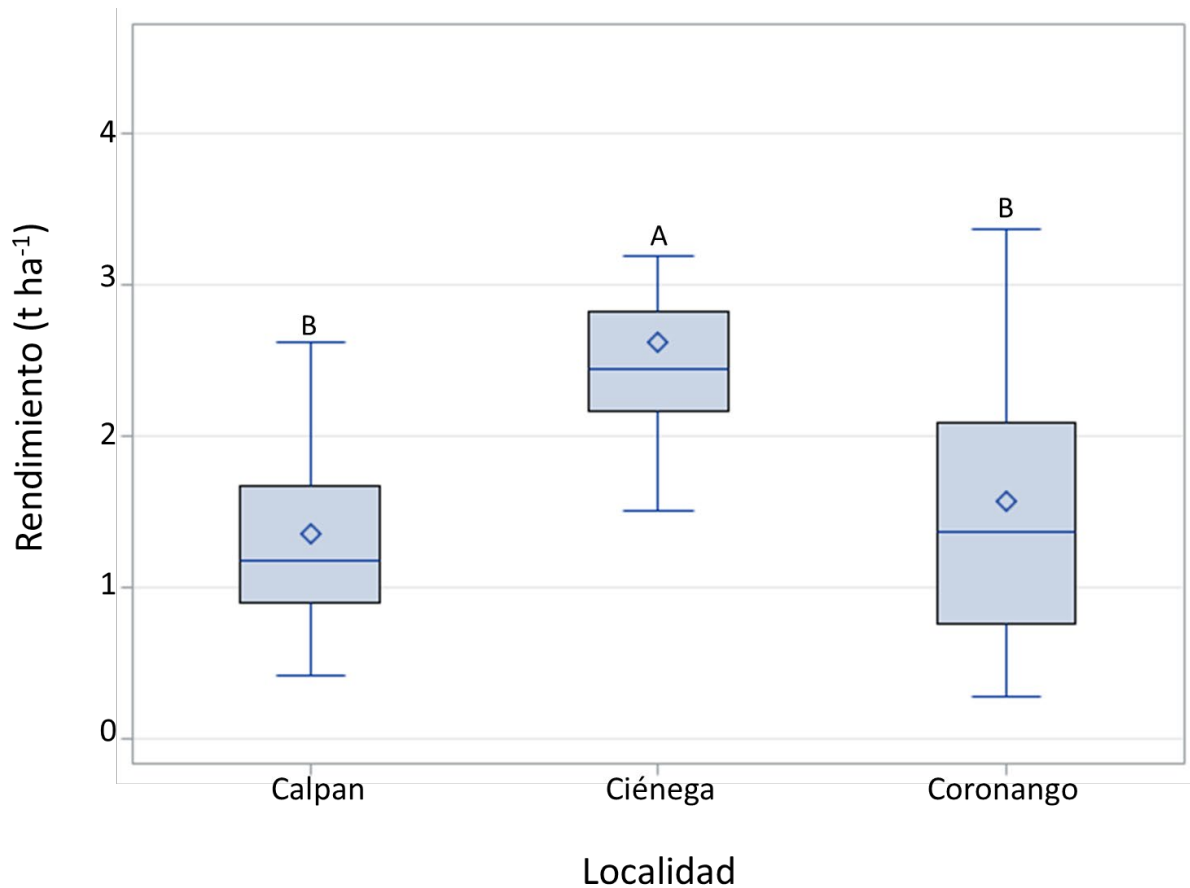


Figura 20. Promedio de rendimiento por hectárea del cultivo de la soya en tres localidades del Valle de Puebla. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

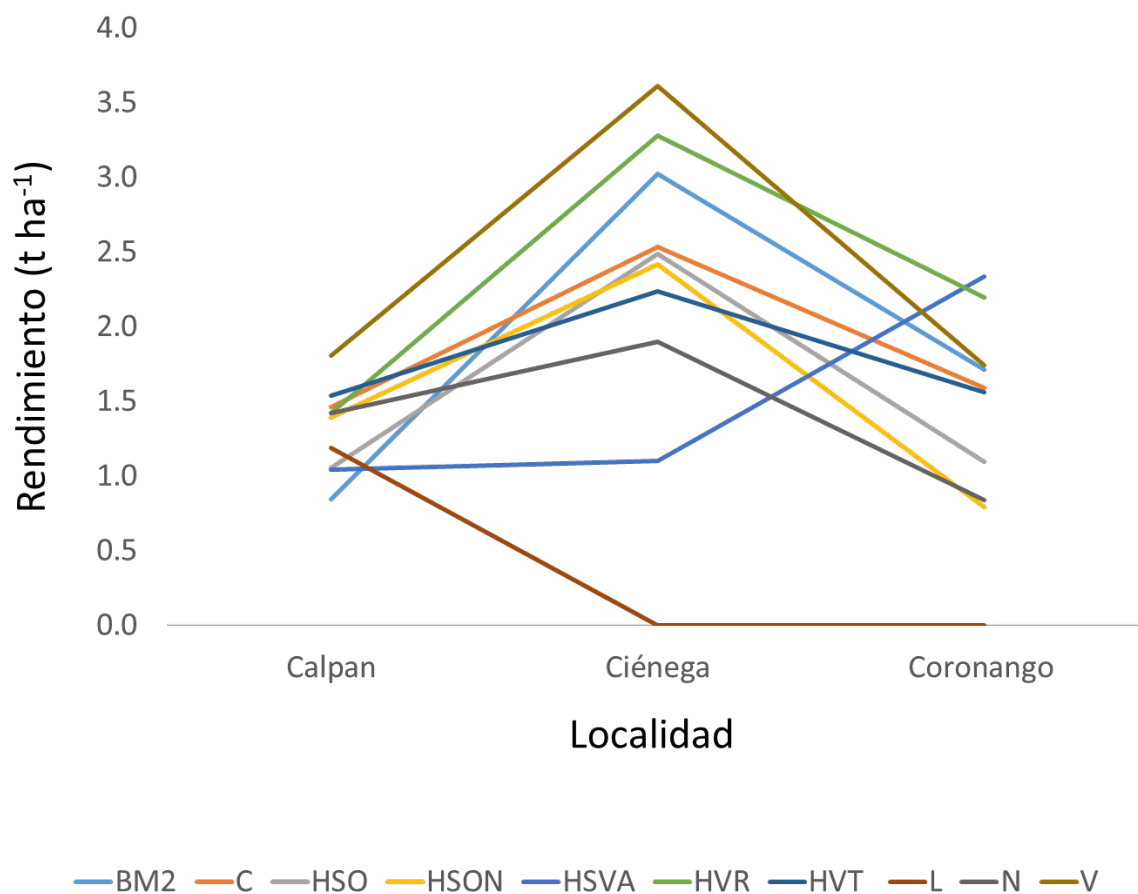


Figura 21. Rendimiento por hectárea del cultivo de la soya y lupino en tres localidades del Valle de Puebla.

Cada abreviatura corresponde a las siguientes variedades: BM2= BM2 verde, C= Cajeme, HSO= Hoja Seca Original, HSVA= Hoja Seca Vainas Abundantes, HVR= Hoja Verde Ramificada, HVT= Hoja Verde Temporal, L= Lupino, N= Nainary, V= Varita.

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

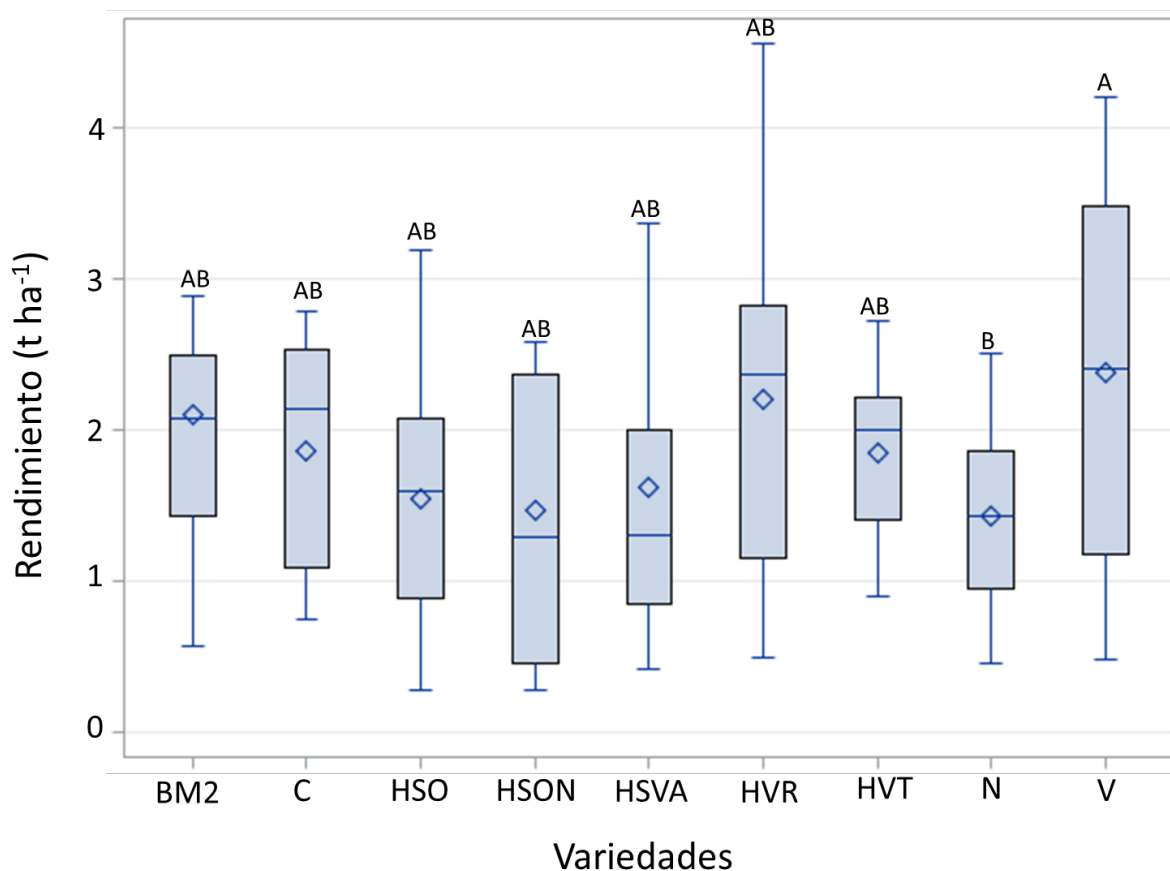


Figura 22. Promedio del rendimiento por hectárea de nueve variedades de soya en el Valle de Puebla.

Cada abreviatura corresponde a las siguientes variedades: BM2= BM2 verde, C= Cajeme, HSO= Hoja Seca Original, HSVA= Hoja Seca Vainas Abundantes, HVR= Hoja Verde Ramificada, HVT= Hoja Verde Temporal, N= Nainary, V= Varita. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en campo.

El peso de granos vanos de las variedades de soya estudiadas fue diferente entre localidades ($P < .0001$), la localidad en donde se encontró la mayor cantidad de granos vanos fue la Ciénega ($P < 0.05$), como se observa en la Figura 23, el promedio fue de 83.9 kg ha^{-1} , seguido de Coronango y Calpan con 34 y 8 kg ha^{-1} respectivamente.

Entre variedades no se encontraron diferencias en cuanto al peso de granos vanos ($P > 0.05$) como se observa en la Figura 24.

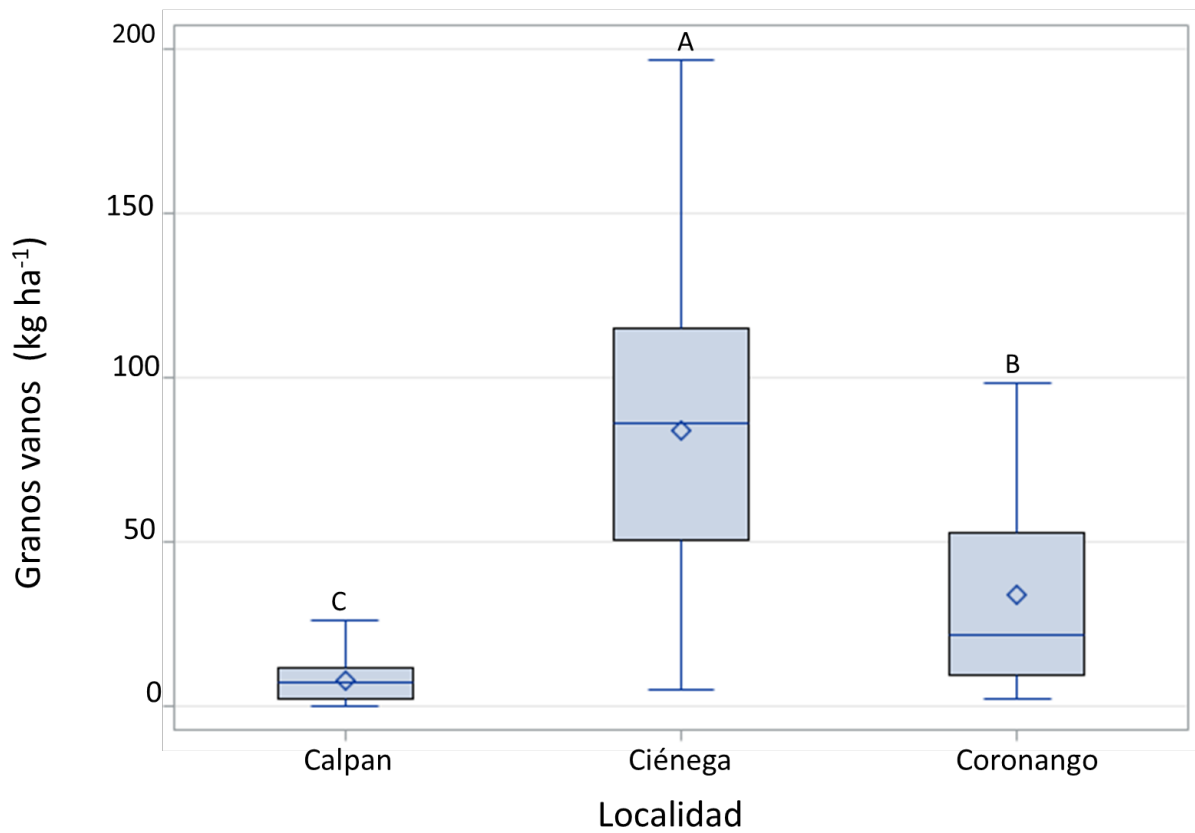


Figura 23. Promedio del peso de granos vanos por hectárea del cultivo de soya en tres localidades del Valle de Puebla. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

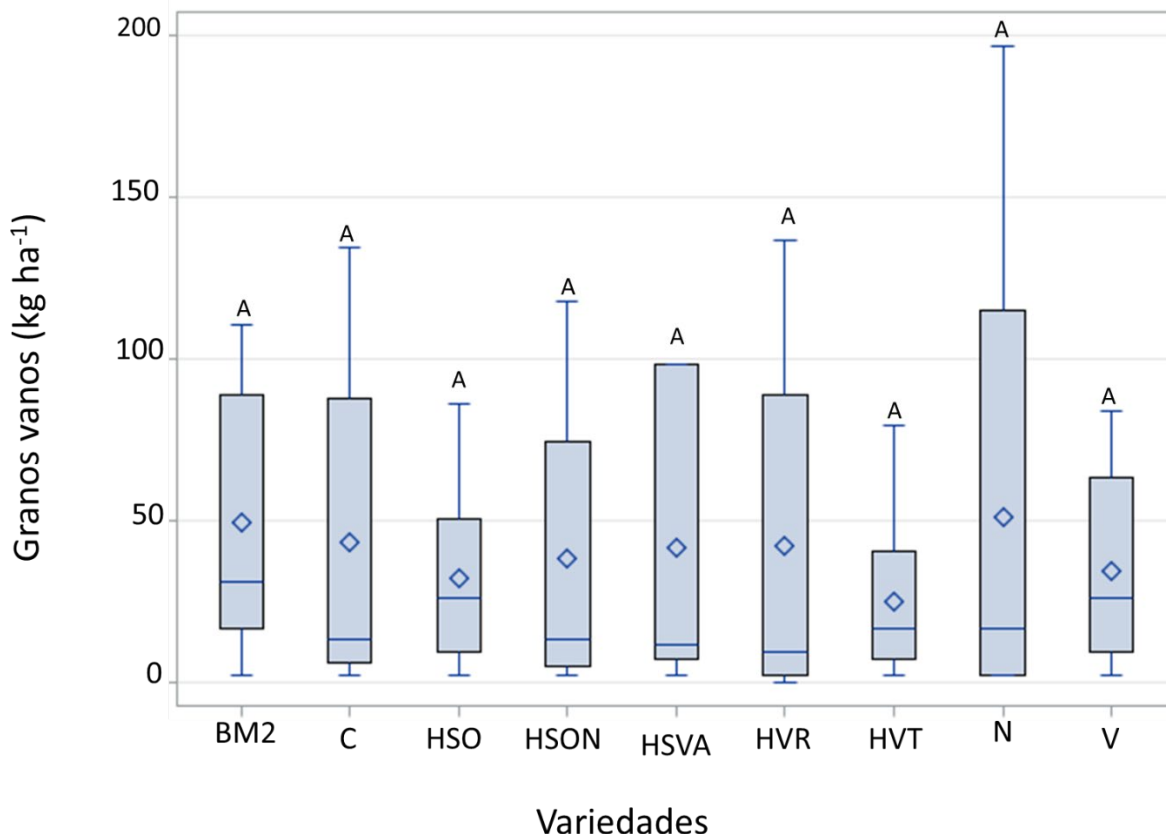


Figura 24. Promedio del peso de granos vanos por hectárea de nueve variedades de soya en el Valle de Puebla. Cada abreviatura corresponde a las siguientes variedades: BM2= BM2 verde, C= Cajeme, HSO= Hoja Seca Original, HSVA= Hoja Seca Vainas Abundantes, HVR= Hoja Verde Ramificada, HVT= Hoja Verde Temporal, N= Nainary, V= Varita. Letras diferentes son estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

9. Discusión

Las plantas cultivadas en la localidad de Coronango mostraron las mayores alturas en comparación a Calpan y la Ciénega (Figura 9), esto pudiera ser atribuido a factores como las bajas temperaturas; Sanghera *et al.* (2011) encontraron que al someter las plantas de soya a bajas temperaturas se provoca un retraso en el crecimiento. La localidad de Calpan tiene menores temperaturas en los meses más lluviosos en comparación con la localidad de Coronango como se observa en las Figuras 8 y 9. Por otro lado, en esas mismas figuras se puede observar que, quizás las bajas

temperaturas pudieron haber provocado que en Calpan se presentara la menor altura promedio ya que la temperatura mínima se encuentra en el rango de 7 a 9 °C, siendo muy inferior a la temperatura mínima óptima para el desarrollo del cultivo de la soya (25°/20°C en el día y noche respectivamente) que señala Ohnishi *et al.*, 2010 y Janas *et al.*, 2000. En la localidad de la Ciénega se presentó una granizada cuando las plantas estaba en etapa vegetativa, fenómeno que retrasó el crecimiento y que además provocó la pérdida de las plantas con mayor crecimiento.

Entre variedades también hubo diferencia en relación a la altura promedio del cultivo (Figura 10), siendo Cajeme la variedad que alcanzó 79.6 cm, esto debido a la elevada altura promedio obtenida en la localidad Coronango en la que se observaron las mayores alturas en todas las variedades. En esta investigación se utilizaron variedades de soya precoces, sin embargo, dentro de este grupo de madurez se pudieron encontrar variedades que fueron más tardías, denotando una interacción con el ambiente, que promovió un crecimiento mayor después de haber iniciado la etapa reproductiva, como lo señala la OECD (2000).

La producción de mayor biomasa antes de la aparición del fruto tiende a aumentar el número de semillas y el rendimiento del cultivo de soya (Nicoa *et al.*, 2015). En la localidad de Calpan se observó el dosel más ancho (48.4 cm), se esperaba así un mayor número de vainas y semillas; sin embargo, el número de vainas fue el mismo en las tres localidades, y el número de granos fue mayor en Coronango. Esto pudiera explicarse por las características físicas del suelo, como se observa en el Cuadro 6 el suelo de Calpan es arenoso con baja retención de humedad, bajo contenido de materia orgánica y tiene poca disponibilidad de nutrientes.

La variedad de soya que tuvo el dosel más ancho en promedio fue Nainary, sin embargo, esta variedad no logró los mayores rendimientos. Este comportamiento se observó en las tres localidades, siendo una característica genotípica. Masino *et al.*, (2018) reportaron que las plantas con mayor biomasa tienen menor número de semillas, disminuyendo así sus rendimientos.

Los días a floración fueron diferentes entre localidades y entre variedades, siendo la Ciénega la localidad en donde se observaron los periodos más largos para iniciar

floración, seguido de Calpan y finalmente en Coronango. El largo periodo para iniciar floración en la Ciénega se debió a una granizada que se presentó en la segunda semana del mes de julio cuando las plantas estaban en etapa vegetativa, como se observa en la Figura 9, este fenómeno tuvo un efecto negativo en el crecimiento de las plantas de soya, observándose defoliación de la mayor parte de las plantas y en el caso de la variedad Hoja Seca Vainas Abundantes las plantas no resistieron el fenómeno y perecieron. Las temperaturas de Calpan en la época de cultivo son menores a las de Coronango; y de acuerdo con Piper *et al.*, (1996) cuando se somete al cultivo de soya a bajas temperaturas (2 a 5°C) el tiempo para llegar a la floración se puede prolongar hasta los 120 días (Piper *et al.*, 1996); los días a floración se ven afectados por el fotoperiodo, las bajas temperaturas y el déficit hídrico. Fotoperiodos cortos aceleran la floración de las plantas, por el contrario, fotoperiodos largos retrasan el inicio de la floración (Abrahão y Costa, 2018); en sitios donde el fotoperiodo es constante se observa un aumento en los días a floración si las temperaturas disminuyen, en cambio si la temperatura está por encima de los 27° se inhibe la floración (Gavioli, 2013).

Se encontraron diferencias entre variedades en los días a floración, tres variedades que iniciaron su etapa reproductiva en menos tiempo (Hoja Seca Vainas Abundantes, Hoja Seca Original y Varita), por lo que se pueden considerar como las más precoces dentro del grupo de estudio.

El número de vainas por planta no mostró diferencia entre localidades ni entre variedades. El número de granos fue mayor solo en la localidad de Coronango y no se observaron diferencias entre variedades. Con estos resultados se esperaba que el mayor rendimiento se observara en la localidad de Coronango, sin embargo, el mayor rendimiento se observó en la Ciénega.

El rendimiento de un cultivo depende de numerosas variables entre ellas se encuentran las genéticas y la acción de factores climáticos como la temperatura, precipitación, radiación solar, además de características propias del suelo como el porcentaje de materia orgánica, contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros (Simorte *et al.*, 1995) el rendimiento del cultivo de soya en la localidad de la Ciénega

fue mayor en comparación con las demás localidades, a pesar de haberse visto afectado el crecimiento de las plantas por una granizada, esto se pudiera explicar por las características físicas del suelo (Cuadro 6), cuya textura es franco arenosa, apta para toda clase de cultivos, además de tener un muy alto contenido de materia orgánica (>8%), y ser un suelo muy rico en contenido de nitrógeno (>0.25%). Los rendimientos de las variedades en cada localidad fueron diferentes, Varita fue la variedad con mayor rendimiento en la Ciénega con 3.61 t ha⁻¹, mientras que en Calpan y Coronango fue menor con 1.81 y 1.74 t ha⁻¹ no encontrándose diferencias significativas con respecto a las demás variedades en Calpan y Coronango. El rendimiento promedio de todas las variedades estudiadas en la localidad de la Ciénega y el rendimiento de Varita es comparable con los rendimientos en el país (1 a 2 t ha⁻¹) y a nivel mundial (2.1 y 2.6 t ha⁻¹) reportados por FAOSTAT (2017ab).

Los Valles Altos del Estado de Puebla tienen potencial para la producción de soya, ya que los rendimientos promedio obtenidos en cada una de las localidades son comparables al rendimiento promedio nacional de 1.67 t ha⁻¹ obtenido entre 2012 y 2018; la localidad de la Ciénega incluso tuvo un rendimiento mayor de 2.62 t ha⁻¹ obtenido en ese mismo periodo (SIAP; 2018). Por otro lado, el potencial productivo de soya en Valles Altos de Puebla se puede determinar si se comparan los rendimientos reportados de las variedades comerciales en algunos estudios realizados en las zonas productoras de soya, por ejemplo, Cortez *et al.* (2013) reporta rendimientos promedio de la variedad Cajeme de 1530 kg ha⁻¹ en el Valle del Fuerte Sinaloa, en tanto que Gómez *et al.* (2014) reporta rendimientos promedio obtenidos en el estado de Hidalgo de 1.5 y 1.9 t ha⁻¹ en condiciones de temporal para Cajeme y Nainary respectivamente, y de 3.5 y 3.9 t ha⁻¹ en riego para Cajeme y Nainary respectivamente, cuyos rendimientos para Cajeme son comparables a los obtenidos en la presente investigación, en el caso de Nainary se observa menor rendimiento en comparación con lo que reportan Gómez *et al.* (2014).

La localidad en donde se encontró la mayor cantidad de granos vanos fue la Ciénega, esta localidad es la que tiene los mayores rendimientos.

10. Conclusiones

De acuerdo con la información de la literatura citada, con relación a las condiciones climáticas y edáficas; además tomando como referencia los resultados obtenidos en la presente investigación se puede decir que, el Valle Alto del estado de Puebla tiene potencial para la producción de soya; sin embargo, es necesario realizar más evaluaciones para confirmar esta aseveración.

La variedad con el mejor potencial para ser cultivada fue Varita ya que ésta es la que llegó a floración en menos tiempo, esto es importante para prevenir pérdida del cultivo por la presencia de heladas tempranas.

la localidad del Valle de Puebla con las condiciones más favorables para el cultivo de soya fue La Ciénega, localizada en el municipio de Santa María Coronango.

11. Recomendaciones

Para establecer el cultivo de soya en el Valle de Puebla se recomienda ahondar más en el trabajo de investigación, además se sugiere explorar con el establecimiento de este cultivo en un mayor número de localidades, así como realizar evaluaciones en más ciclos de cultivo para determinar la o las variedades con el mejor comportamiento productivo.

Un punto no menos importante es conocer la calidad nutritiva del grano de soya que se cultive en la zona, así como la cantidad de factores antinutricionales presentes en el grano. Además, es necesario conocer la percepción que tienen los productores agropecuarios del Valle de Puebla sobre el cultivo de soya.

12. Literatura citada

- Abraão G. M., Costa M. H. 2018. Evolution of rain and photoperiod limitations on the soybean growing season in Brazil: The rise (and possible fall) of double-cropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*. 256-257:32-45.
- A.O.A.C. 1975. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 12th edition. Washington D.C. 69-88p.
- Balisteiro D. M., Rombaldi C. V., Genovese M. I. 2013. Protein, isoflavones, trypsin inhibitory and in vitro antioxidant capacities: Comparison among conventionally and organically grown soybeans. *Food Research international*. 51: 8-14.
- Balestrasse K. B., Tomaro M. L., Batlle A., Noriega G. O. 2010. The role of 5-aminolevulinic acid in the response to cold stress in soybean plants. *Journal of Phytochemistry*. 71: 2038-2045.
- Battisti R., Sentelhas P. C., Boote K. J., Câmara G. M. de S., Farias J. R.B., Basso C. J. 2017. Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil. *European Journal of Agronomy*. 83: 1-14.
- Begoña O. A., Farré R. R., Asensio V. C., Martín P. M. 2010. Papel de las leguminosas en la alimentación actual. *Actividad dietética*. 14(2): 72-76.
- Burton J. W. 1997. Soyabean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Field Crops Research* 53: 171-186.
- Chitisankul, W.T., Murakami, M., Tsukamoto, C., Shimada, K. 2019. Effects of long-term soaking on nutraceutical and taste characteristic components in Thai soybeans. *LWT – Food Science and Technology*. 24p.
- Close W, Cole D. 2004. Nutrición de cerdas y verracos. Nottingham University press. Primera Edición. Hoyos López. D. F. México.

- Constable G. A., Rose I. A. (1988). Variability of soybean phenology response to temperature, daylength and rate of change in daylength. *Field Crops Research*. 18(1): 57-69.
- Cortez M. E., Pérez M J., Rodríguez C F. G., Martínez C J. L., Cervantes C. L. 2013. Rendimiento y respuesta de variedades de soya a mosca blanca *Bemisia tabaci* (Genn.) en tres fechas de siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4 (7): 1067-1080.
- Darwin C. 1921. El origen de las especies por medio de la selección natural. Tomo I. Editorial Calpe, Madrid. 3-36p.
- División de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Pesca (FAOSTAT). 2017a. Principales productores de soya a nivel mundial. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#compare> [consultado 08-05-17].
- División de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Pesca (FAOSTAT). 2017b. Producción de soya en México. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> [consultado el 18-11-17].
- Elizalde A. de D., Porrilla V. P., Chaparro C. C. 2009. Factores antinutricionales en granos. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. 7(1): 45-54.
- Esteves E. A., Duarte M. H. S., Esteves O. F. C., Bressan J., Brunoro C. N. M. 2010. Chemila composition of a soybean cultivar lacking lipoxigenases (LOX2 and LOX3). *Food Chemistry*. 122: 238-242.
- Farhangi A. S., Nikpour R. N. (2017). Effect of lignite on alleviation of salt toxicity in soybean (*Glycine max L.*) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 120: 186-193.
- Gass T., Schori A., Fossati A., Soldati A., Stamp P. 1996. Cold tolerance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) during the reproductive phase. *European Journal of Agronomy*. 5: 71-88.

- Gavioli E. A. (2013). Explanations for the Rise of Soybean in Brazil. A Comprehensive Survey of International Soybean Research- Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships. 10: 5772-51678.
- Gómez M. R., Gómez M. R., Morales D. P., Martínez C. E., Zarazúa D. M. A. 2014. Tecnología para la producción de soya en el estado de Hidalgo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigaciones Regional Centro (CIRCE) Sitio Experimental Hidalgo. Pachuca, Hidalgo. Folleto Técnico Numero 1. 48 p.
- Grassini P., Torrion J. A., Yang H. S., Rees J., Andersen D., Cassman K. G., Specht J. E. 2015. Soybean yield gaps and water productivity in the western U.S. Corn Belt. Field Crops Research. 179: 150-163.
- Harish V. B., Kranthi V. S., Raghavan V. 2017. Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor - A review. Trends in Food Science & Technology 64: 115-125.
- Hasanuzzaman M., Nahar K., Rahman A., Mahmud J. A., Hossain M. S., Fujita M. 2016. Environmental Stresses in Soybean Production: Soybean Production. Agronomy and Crop Science. 2 (4): 61-102.
- He J., Du Y. L., Wang T., Turner N. C., Yang R. P., Jin Y., Xi Y., Zhang C., Cui T., Fang X. W., Li F. M. 2017. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought. Agricultural Water Management. 179: 236-245.
- Hurtado N. V. L., Corredor L. F., Torres N. D. M. 2010. Grano de soya integral cocido en la alimentación de codornices. Revista Orinoquia. 14(1): 27-32.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Balanza comercial de mercancías de México. Anuario estadístico enero-junio, 2012. 45 p.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2017. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21034a.html> [consultado 02-05-17]

- Janas K. M., Cvikrová M., Pałagiewicz A., Eder J. 2000. Alterations in phenylpropanoid content in soybean roots during low temperature acclimation. *Plant Physiology Biochem.* 38: 587-593.
- John K.M.M., Khan F., Luthria L.D., Garrett W., Natarajan S. 2017. Proteomic analysis of anti-nutritional factors (ANF's) in soybean seeds as affected by environmental and genetic factors. *Food Chemistry.* 218: 321–329
- Kantolic A. G., Peralta G. E., Slafer G. A. 2013. Seed number responses to extended photoperiod and shading during reproductive stages in indeterminate soybean. *European Journal of Agronomy.* 51:91-100.
- Konishi C., Matsui T., Park W., Yano H., Yano F. 1999. Heat treatment of soybean meal and rapeseed meal suppresses rumen degradation of phytate phosphorus in sheep. *Animal Feed Science Technology.* 80 (2): 115-122.
- Lewontin R. 1981. La evolución. Museo de zoología comparativa. Universidad de Harvard. *La pensée.* 223:16-24.
- Li J., Xiang O., Liu X., Ding T., Zhang X., Zhai Y., Bai Y. 2017. Inactivation of soybean trypsin inhibitor by dielectric-barrier discharge (DBD) plasma. *Food Chemistry.* 232: 515-522.
- López S. H., Muñoz O. A. 1989. Ensayo de variedades de soya (*Glycine max L. Merr.*) bajo condiciones de temporal crítico en la Mixteca Poblana. *Revista Chapingo.* 60-61: 59-64.
- Machado R., Remy V. A., Tang M., Santana H. 1987. Soya (*Glycine max (L.) Merrill*). *Pastos y Forrajes.* 10(2): 2078-8452.
- Masino A., Rugeroni P., Borrás L., Rotundo J. L. 2018. Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. *European Journal of Agronomy* 98: 14-24.
- Nam K. H., Kim D. Y., Pack I. S., Park J. H., Seo J. S., Choi Y. D., Cheong J. J., Kim C. H., Kim C. G. 2016. Comparative analysis of chemical compositions between non-transgenic soybean seeds and those from plants over-expressing AtJMT, the

- gene for jasmonic acid carboxyl methyltransferase. *Food Chemistry*. 196: 236-241.
- Nápoles G. M. C., González G., Ferreira A., Rossi A., Hernández F. I., Costales M. D. 2014. Efecto de diferentes inoculantes sobre la nodulación de la soya cultivada en condiciones de estrés. *Cultivos Tropicales*. 35(4): 45-51.
- National Academy of Science. 1973. Necesidades nutritivas del Ganado vacuno lechero. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires. 30-34p.
- Nicoa M., Miralles D. J., Kantolic A. G. 2015. Post-flowering photoperiod and radiation interaction in soybean yield determination: Direct and indirect photoperiodic effects. *Field Crops Research*. 176: 45-55.
- Ohnishi S., Miyoshi T., Shirai S. 2010. Low temperature stress at different flower developmental stages affects pollen development, pollination, and pod set in soybean. *Environmental and Experimental Botany*. 69: 56-62.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). 2000. Consensus Document on the Biology of *Glycine max* (L.) Merr. (Soybean). Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology. 15: 11-14.
- Pastor C. E., Juan R., Pastor J. E., Alaiz M., Vioque J. 2014. Protein and amino acid composition of select wild legume species of tribe Fabeae. *Food Chemistry*. 163: 97-102.
- Piper E. L., Smit M. A., Boote K. J., Jones J. W. 1996. The role of daily minimum temperature in modulating the development rate to flowering in soybean. *Field Crops Research*. 47: 211-220.
- Richardson A. E., Djordjevic M. A., Rolfe B. G., Simpson R. J., 1988. Effects of pH, Ca and Al on the exudation from clover seedlings of compounds that induce the expression of nodulation genes in *Rhizobium trifolii*. *Plant and Soil*. 109: 37-47.
- Rodríguez R., Sosa A., Rodríguez Y. 2007. La síntesis de proteína microbiana en el rumen y su importancia para los rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 41(4): 303-311.

- Rubio L. A., Molina E. 2016. Las leguminosas en alimentación animal. *Arbor*. 192 (779): 315. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2016.779n3005>
- Salgado G. S., Palma L. D. J., Lagunes E. L. del C., Castelán E. M. 2006. Manual para en análisis de suelos, plantas y aguas e interpretación del análisis. Colegio de postgraduados. 2-8p.
- Salunkhe D. K., Kadam S.S., Chavan J.K. 1985. *Postharvest Biotechnology of Food Legumes*. Boca Raton, FL. CRC Press. 160p.
- Sanghera G.S., Wani S. H., Hussain W., Singh N.B. 2011. Engineering Cold Stress Tolerance in Crop Plants. *Current Genomics*. 12: 30-43.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2018. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=pue> [consultado 15-02-18]
- Schwab C.G., Broderick G.A. 2017. A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 100(12): 10094-10111.
- Shelke D. B., Pandey M., Nikalje G. C., Zaware B. N., Suprasanna P., Nikam T. D. 2017. Salt responsive physiological, photosynthetic and biochemical attributes at early seedling stage for screening soybean genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*. 118: 519-528.
- SIAP-SAGARPA. 2017. Principales estados productores de soya en México. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do [consultado 02-05-17]
- Simorte T., Flores F., Torres A., Moreno M. T. 1995. Estudio de los componentes del rendimiento en generaciones segregantes. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetales*. 10(3): 402-413.
- Sinclair T.R. 1993. Soybean development as influenced by illuminance during extended daylengths. *Field Crops Research*. 31: 101-109.

- Solano G., Fonseca R., Santiesteban R. 2012. Proteína, aminoácidos y grasas en el grano de variedades de soya (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivadas en el oriente de Cuba. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. 19 (4):241-245.
- Tambussi E.A., Bartoli C.G., Guiamet J.J., Beltrano J., Araus J.L. 2004. Oxidative stress and photodamage at low temperatures in soybean (*Glycine max* L. Merr.) leaves. *Plant Science*. 167: 19-26.
- Tobía C., Villalobos E. 2004. Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. *Agronomía Costarricense*. 28 (1): 17-25.
- Torres T. N., Tovar P. A. R. 2009. La historia del uso de la soya en México, su valor nutricional y su efecto en la salud. *Salud Pública de México*. 51(3): 246-254.
- Vanhiea M., Deena W., Lauzonb D. L., Hookerc D. C. 2015. Effect of increasing levels of maize (*Zea mays* L.) residue on no-till soybean (*Glycine max* Merr.) in Northern production regions. *Soil & Tillage Research* 150, 201-210.
- Wang L., Lin F., Li L., Li W., Yan Z., Luan W., Piao R., Guan Y., Ning X., Zhu L., Ma Y., Dong Z., Zhang H., Zhang Y., Guan R., Li Y., Liu Z., Chang R., Qiu L. 2016. Genetic diversity center of cultivated soybean (*Glycine max*) in China - New insight and evidence for the diversity center of Chinese cultivated soybean. *Journal of Integrative Agriculture*. 15(11): 2481-2487
- Yu-shan W., Feng Y., Wan-zhuo G., Ahmed S., Yuan-fang F., Xiao-ling W., Tai-wen Y., Wei-guo L., Kai S., Jiang L., Jun-bo D., Wen-yu Y. 2017. Shade adaptive response and yield analysis of different soybean genotypes in relay intercropping systems. *Journal of Integrative Agriculture*. 16(6): 1331–1340.
- Yamasaki Y., Koehler G., Blacklock B. J., Randall S. K. 2013. Dehydrin expression in soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*. 70: 213-220.
- Zarkadas C. G., Gagnon C., Gleddie S., Khanizadeh S., Cober E. R., Guillemette R. J. D. 2007. Assessment of the protein quality of fourteen soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars using amino acid analysis and two-dimensional electrophoresis. *Food Research International*. 40: 129-146.

Zimmer S., Messmer M., Haase T., Piepho H.P., Mindermann A., Schulz H., Antje Habekuß A., Ordon F., Wilbois K.P., Heß J. 2016. Effects of soybean variety and Bradyrhizobium strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. *European Journal Agronomy* 72: 38-46.

13. Anexos



Figura 25. Establecimiento del cultivo de soya. a) siembra del cultivo y b) germinación del cultivo.



Figura 26. Etapa vegetativa del cultivo de soya.



Figura 27. Crecimiento del cultivo de soya (a) e inicio de la etapa reproductiva (b).



Figura 28. Llenado del grano en la localidad de Calpan (a) y la Ciénega (b).



Figura 29. Pérdida de plantas en el cultivo de soya en el Valle de Puebla.



Figura 30. Daño por plagas (a) y enfermedades (b) del cultivo de soya en el Valle de Puebla.