



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

### **APROVECHAMIENTO DE LA PLANTA DE HABA (*Vicia faba* L.) PARA LA OBTENCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS**

**PAULA BEATRIZ FUENTES HERRERA**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

**DOCTORA EN CIENCIAS**

PUEBLA, PUEBLA

2021

La presente tesis, titulada: **Aprovechamiento de la planta de haba (*Vicia faba* L.) para la obtención de compuestos bioactivos**, realizada por la alumna: **Paula Beatriz Fuentes Herrera**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

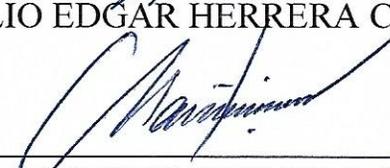
CONSEJERA:

  
DRA. ADRIANA DELGADO ALVARADO

ASESOR:

  
DR. BRAULIO EDGAR HERRERA CABRERA

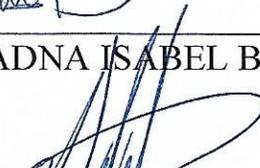
ASESOR:

  
DR. MARIO ALBERTO TORNERO CAMPANTE

ASESORA:

  
DRA. ARIADNA ISABEL BARRERA RODRÍGUEZ

ASESORA:

  
DRA. MA. DE LOURDES C. ARÉVALO GALARZA

ASESORA:

  
DRA. ALMA LETICIA MARTÍNEZ AYALA

Puebla, Puebla, México, 26 de marzo del 2021

## APROVECHAMIENTO DE LA PLANTA DE HABA (*Vicia faba* L.) PARA LA OBTENCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS

Paula Beatriz Fuentes Herrera, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

La planta de *Vicia faba* puede ser aprovechada para la obtención de compuestos bioactivos (CB) para prevenir y/o tratar enfermedades. En México, la producción y el consumo de haba son bajos, así que para incrementarlos se propone incorporar una innovación tecnológica. El objetivo fue conocer, cuantificar y obtener los rendimientos de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides totales (FT), L-DOPA (L-3,4-dihidroxi-fenilalanina) y daidzeína, en plantas de haba de variedades mexicanas, y evaluar la influencia que tienen la condición de crecimiento, las variables agroambientales y los métodos de secado en el contenido de estos CB. Además, se estimó la rentabilidad de una innovación tecnológica para el cultivo de haba. El cultivar Calvario y las variedades de haba Rojita, ICAMEX-V31, José María y Matlatzintla, se sembraron en campo e invernadero. De ambas condiciones se cosecharon plantas de 10, 15 y 20 días después de la emergencia (DDE), y en la floración los botones florales y flores abiertas. Los tejidos se procesaron por liofilización (-80 °C) y/o por estufa (38 °C), se molieron para su extracción y posterior análisis por espectrofotometría UV-visible y HPLC. Las actividades antioxidante (DPPH) y antiinflamatoria se evaluaron *in vitro*. Para el análisis de rentabilidad, se evaluaron los costos, ingresos y ganancias de la producción de haba y de la planta. Los resultados tuvieron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$  o  $p \leq 0.01$ ) entre las variedades, condiciones de crecimiento y métodos de procesamiento. Las plantas de 10 DDE tuvieron los contenidos más altos de CFT, FT, L-DOPA y las de 20 DDE los de daidzeína. Las flores mostraron el mayor contenido de todos los CB. En campo se tuvieron los contenidos más altos de CB en comparación con invernadero. El secado en estufa conservo mejor a los CFT y FT de las plantas en condición de campo, pero en invernadero se conservaron mayormente con liofilizado. La variedad Rojita mostro mayor actividad antioxidante y antiinflamatoria, que se atribuyen a L-DOPA y a rutina e isoorientinas, respectivamente. La variedad José María mostró la mayor acumulación de CB por área. La ganancia promedio que perciben los productores por la venta al mayoreo de haba verde fue de US \$ 522.79. Con el cultivo de plantas de 20 DDE la ganancia podría aumentar 104, 53 y 35% en ¼, ½ y 1 ha respectivamente, en relación con la venta a mayoreo de haba verde. La innovación tecnológica es una alternativa para mejorar los ingresos de las familias productoras de haba.

**Palabras clave:** Actividad antiinflamatoria, campo, flavonoides, L-DOPA, innovación tecnológica, invernadero, rendimiento, rentabilidad.

## USE OF THE BROAD BEAN PLANT (*Vicia faba* L.) TO OBTAINING BIOACTIVE COMPOUNDS

Paula Beatriz Fuentes Herrera, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

*Vicia faba* plant can be used to obtain bioactive compounds (BC) to prevent and / or treat diseases. In Mexico, broad bean production and consumption are low, so to increase them, it is proposed to incorporate a technological innovation. The aim was to know, quantify and obtain the yield of total phenolic compounds (TPC), total flavonoids (TF), L-DOPA (3,4-dihydroxy- phenyl-L-alanine) and daidzein, in broad bean plants of Mexican varieties, and to evaluate the influence of the growth condition, the agri-environmental variables and drying methods in the content of these BC. In addition, the profitability of a technological innovation for the cultivation of broad beans was estimated. The cultivar Calvario and broad bean varieties Rojita, ICAMEX-V31, José María and Matlatzintla were sown in field and greenhouse conditions. Plants were harvested in different stage of development [10, 15 and 20 days after emergence (DAE)], and floral buds and open flowers were obtained in the flowering period. The tissues were processed by freeze-drying (-80 °C) and /or by oven-drying (38 °C), they were ground for extraction and subsequent analysis by UV-visible spectrophotometry and by HPLC. Antioxidant (DPPH) and anti-inflammatory activities were also evaluated *in vitro*. For the profitability analysis, were evaluated the costs, income and profits of the green broad bean production and of the plant. The results presented significant differences in varieties, growing conditions and processing methods. The 10 DAE plants presented the highest content of TPC, TF, L-DOPA and the 20 DAE plants of daidzein. Flowers showed the highest content of all CB. The field-grown plants presented higher BC contents compared to those from greenhouse-grown plants. The field-grown plants conserved the TPC and FT better with oven-dried samples, but greenhouse-grown plants conserved them mainly with freeze-dried samples. Rojita variety showed greater antioxidant and anti-inflammatory activity, which are attributed to L-DOPA and rutin and isoorientins, respectively. José María variety showed the highest accumulation of BC per area. The average profit received by producers from the wholesale sale of green beans was US \$ 522.79. With the cultivation of 20 DAE plants, profit could increase 104, 53 and 35% in ¼, ½ and 1 ha respectively, in relation to the wholesale sale of green broad beans. Technological innovation is an alternative to improve the income of fava bean-producing families.

**Keywords:** Anti-inflammatory activity, field, flavonoids, greenhouse, L-DOPA, yield, technological innovation.

## **DEDICATORIA**

*Para mi hijo Eder Paul y mi esposo Edgar por la paciencia, la comprensión,  
el cariño y apoyo que siempre me brindaron. Este logro es de los tres.*

## AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por seguir becando mis estudios de Doctorado.



Al **Colegio de Postgraduados Campus Puebla** por la formación académica a través del Posgrado de Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional.



A todo mi consejo particular:

Principalmente a mi consejera la **Dra. Adriana Delgado Alvarado** por el apoyo, dedicación y compromiso que tuvo conmigo en la investigación. Por la exigencia que siempre mostró con el trabajo en laboratorio, en campo, en las exposiciones, en los escritos y en las distintas participaciones. Por enseñarme a ser profesional y comprometida con el trabajo. Por estos siete años de trabajo juntas, por la confianza y amistad que se generó.

Al **Dr. Braulio Edgar Herrera Cabrera** por sus conocimientos y el apoyo que me brindó en la parte estadística, por sus puntuales observaciones, por compartirme consejos y motivarme a continuar superándome, principalmente por la amistad y su confianza.

A la **Dra. Alma Leticia Martínez Ayala** por el gran apoyo brindado en la utilización de equipos, estándares y la vinculación con otros centros de investigación. Por sus observaciones puntuales, por su calidad como persona, exigencia y amistad.

Al **Dr. Mario Alberto Tornero Campante** por su gran apoyo en campo e invernadero, por su exigencia como asesor, por sus consejos y comentarios acertados en la investigación, por hacerme hincapié de la importancia del aspecto social, y por la confianza y amistad que se generó.

A la **Dra. Ma. de Lourdes Arévalo Galarza** por sus puntuales observaciones, por compartirme sus conocimientos y experiencias, por el apoyo que me brindó en la utilización del equipo HPLC, por la amistad y confianza que se generó.

A la **Dra. Ariadna Isabel Barrera Rodríguez**, por compartirme sus conocimientos en el área socio-económica, por guiarme y dejarme experimentar en la investigación. Además, por su calidad como persona, por la confianza que me genera y por su gran amistad.

Al **Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX)** por donarnos las variedades de haba utilizadas en la investigación.



Al **Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada** por haberme permitido realizar el análisis de L-DOPA con el equipo Cromatógrafo Líquido de Alta Resolución (HPLC). Principalmente el agradecimiento es para la **Dra. Alma Leticia Martínez Ayala** y la **M.C. Ada María Ríos Cortés**.



Al **Colegio de Postgraduados campus Montecillos**, principalmente al área de Postcoscha del Postgrado de Fruticultura, por haberme permitido realizar el análisis de daidzeína con el equipo HPLC. Principalmente el agradecimiento es para la **Dra. Ma. de Lourdes Arévalo Galarza** y a la **M.C. Cecilia García Osorio**.



Al **Centro de Investigación Biomédica del Sur- IMSS** por haberme permitido realizar los análisis de L-DOPA, Rutina e Isoorientinas con el equipo HPLC. El agradecimiento principalmente es para el **Dr. Alejandro Zamilpa Álvarez** y a la **BIO. Ixchel Gómez Palacios**.



A los **productores de haba** que me dieron su confianza y apoyo para realizar parte de la investigación.

Al **Ing. Víctor Lavara Barragán**, la **IBT. María Fernanda Coba Avelino** y **BIO. Saraí Gómez Toxqui** por la ayuda que me brindaron con el procesamiento de las muestras y parte de la realización de algunos análisis.

A mis compañeros de laboratorio **I.A. Zayra Pérez Orozco**, **M.C. Lupita Andrade Andrade**, **M.C. Cecilia Viveros Antocio**, y **M.C. Mónica Lima Morales**, por la convivencia y amistad que generamos en el laboratorio.



Secretaría  
de Educación  
Gobierno de Puebla

**CONCYTEP**  
Consejo de Ciencia  
y Tecnología del Estado  
de Puebla

*“Esta investigación fue realizada gracias al apoyo del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla”*

## LISTA DE CUADROS

		<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.1</b>	Estándares y longitud de onda utilizados para cuantificar Compuestos Fenólicos Totales (CFT) y Flavonoides Totales (FT) por espectrofotometría UV - Visible.	19
<b>Cuadro 1.2</b>	Comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) de los solventes de extracción de compuestos fenólicos.	23
<b>Cuadro 1.3</b>	Análisis de varianza de compuestos bioactivos en plantas de <i>Vicia faba</i> L. sembradas en condiciones de campo e invernadero.	24
<b>Cuadro 1.4</b>	Análisis de varianza de compuestos bioactivos en las flores de <i>Vicia faba</i> L. sembradas en condiciones de crecimiento diferentes.	25
<b>Cuadro 1.5</b>	Comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) por método de procesamiento de compuestos bioactivos en plantas de <i>Vicia faba</i> L.	28
<b>Cuadro 2.1</b>	Citas de investigaciones en <i>Vicia faba</i> L. y <i>Glicine Max</i> relacionadas con factores que influyen en los contenidos de los compuestos bioactivos (CB).	49
<b>Cuadro 2.2</b>	Características de las semillas de haba utilizadas en la investigación.	50
<b>Cuadro 2.3</b>	Medias generales de las variables agroambientales en tres intervalos de tiempo en el día (6:00 a 10:00 am, 11:00 am a 14:00 pm y 15:00 a 18:00 pm), durante el crecimiento de las plantas de <i>Vicia faba</i> L. a los 10,15 y 20 días después de la emergencia (DDE).	55
<b>Cuadro 2.4</b>	Análisis de varianza de contenidos de compuestos bioactivos en plantas de haba de 10, 15 y 20 DDE sembradas en condiciones de campo e invernadero.	62
<b>Cuadro 2.5</b>	Comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) de contenidos de compuestos bioactivos en plantas de <i>Vicia faba</i> L.	63
<b>Cuadro 2.6</b>	Análisis de varianza del contenido de compuestos bioactivos en flores de haba sembradas en condiciones de campo.	73
<b>Cuadro 2.7</b>	Comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) de contenidos de compuestos bioactivos en flores de <i>Vicia faba</i> L.	75
<b>Cuadro 2.8</b>	Análisis de correlaciones canónicas que relaciona variables agroambientales y de suelo con compuestos bioactivos encontrados en plantas de <i>Vicia faba</i> L.	78
<b>Cuadro 2.9</b>	Índices de redundancia para la primera y segunda función canónica.	78
<b>Cuadro 3.1</b>	Contenido nutricional y posibles beneficios de las leguminosas.	88
<b>Cuadro 3.2</b>	Matriz de análisis de política. Rentabilidad Privada.	96
<b>Cuadro 3.3</b>	Características de los cultivares de haba que siembran en las localidades de San Agustín Calvario y San Gregorio	97

	Zacapechpan, municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México.	
<b>Cuadro 3.4</b>	Labores, herramientas y maquinaria utilizada en el cultivo de haba en las localidades de San Agustín Calvario y San Gregorio Zacapechpan pertenecientes al municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México.	100
<b>Cuadro 3.5</b>	Ganancias económicas de la producción de haba verde por superficie y modalidad de venta.	104
<b>Cuadro 3.6</b>	Labores propuestas por los productores para el cultivo de la planta de <i>Vicia faba</i> L. de veinte días después de la emergencia.	107
<b>Cuadro 3.7</b>	Ganancias económicas de la producción de planta de haba por superficie cultivada.	108
<b>Cuadro 3.8</b>	Ganancias económicas de la producción de planta de haba en invernadero.	110
<b>Cuadro 3.9</b>	Productos a base de <i>Mucuna pruriens</i> como fuente natural de L-DOPA.	113
<b>Cuadro 4.1</b>	Medias generales de las variables agroambientales en los intervalos de tiempo de 6:00 a 10:00 am, 11:00 am a 14:00 pm y 15:00 a 18:00 pm en el día, durante el crecimiento de las plantas de <i>Vicia faba</i> L.	128
<b>Cuadro 4.2</b>	Gradiente para la utilización de las fases móviles.	136
<b>Cuadro 4.3</b>	Análisis de varianza de compuestos bioactivos en plantas de variedades de <i>Vicia faba</i> L. de 20 días después de la emergencia.	139
<b>Cuadro 4.4</b>	Coefficiente de correlación de Pearson de compuestos bioactivos y actividad biofuncional de plantas de variedades de haba de <i>Vicia faba</i> L. de 20 DDE.	145
<b>Cuadro 4.5</b>	Biomasa y rendimiento de compuestos bioactivos por planta, por kilogramo y por metro cuadrado de cuatro variedades de haba.	147
<b>Cuadro 4.6</b>	Rendimiento de la extracción con metanol de tejido de plantas de <i>Vicia faba</i> .	148
<b>Cuadro 4.7</b>	Análisis de varianza de compuestos fenólicos en extracto metanólico de planta de haba.	148
<b>Cuadro 5.1</b>	Requerimientos de dosis de L-DOPA en pacientes con Parkinson.	160
<b>Cuadro 5.2</b>	Compuestos bioactivos (CB) presentes en tejidos de la planta de <i>Vicia faba</i> .	164
<b>Cuadro 5.3</b>	Valores medios de peso en materia seca y rendimientos de compuestos bioactivos de tejidos de haba obtenidos en condiciones de crecimiento de campo.	165
<b>Cuadro 5.4</b>	Rangos del contenido de L-DOPA encontrados en tejidos de la planta de haba.	167

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
<b>Figura 1.1</b>	A) Productor de haba de la comunidad de San Agustín Calvario municipio de San Pedro Cholula, Puebla, y B) características morfológicas del cultivar C-Calvario.	16
<b>Figura 1.2</b>	Plantas de <i>Vicia faba</i> L. desarrollado bajo distintas condiciones de crecimiento.	18
<b>Figura 1.3</b>	Diagrama del proceso para cuantificar Compuestos fenólicos totales (CFT) y Flavonoides totales (FT).	21
<b>Figura 1.4</b>	Espectros de absorción de los estándares (···) y muestra (—) (planta de 10 días después de emergencia (DDE) sembrada en campo), después de los ensayos de: A) compuestos fenólicos totales (CFT) y B) flavonoides totales (FT).	22
<b>Figura 1.5</b>	Compuestos fenólicos totales (A-C) y flavonoides totales (D-F) en plantas de <i>Vicia faba</i> L. de 10, 15 y 20 días después de la emergencia (DDE) bajo diferentes condiciones de crecimiento: campo, invernadero-suelo (SUE) e invernadero-tezontle (TEZ) y métodos de procesamiento: liofilizado (L) y estufa (E).	30
<b>Figura 1.6</b>	Compuestos fenólicos totales (A y B) y flavonoides totales (C y D) en brotes florales (BF) y flores abiertas (FA) de <i>Vicia faba</i> L. bajo diferentes condiciones de crecimiento: campo, invernadero-suelo (SUE) e invernadero-tezontle (TEZ) y métodos de procesamiento: liofilizado (L) y estufa (E).	33
<b>Figura 1.7</b>	Contenido de Compuestos fenólicos totales (A) y flavonoides totales (B) en plantas de <i>Vicia faba</i> L. de diferentes días de emergencia (DDE), bajo condiciones distintas de crecimiento; campo e invernadero, y métodos de procesamiento; liofilizado (L) y estufa (E).	35
<b>Figura 1.8</b>	Contenido de Compuestos fenólicos totales (A) y flavonoides totales (B) en plantas de <i>Vicia faba</i> L. de diferentes días de emergencia (DDE), en condiciones distintas de crecimiento; invernadero-suelo e invernadero-tezontle, y métodos de procesamiento; liofilizado (L) y estufa (E).	36
<b>Figura 1.9</b>	Contenido de compuestos fenólicos totales (A) y flavonoides totales (B) en flores de <i>Vicia faba</i> L.; brotes florales (BF) y flores abiertas (FA), bajo condiciones distintas de crecimiento; campo e invernadero y métodos de procesamiento; liofilizado (L) y estufa (E).	37
<b>Figura 1.10</b>	Contenido de compuestos fenólicos totales (A) y flavonoides totales (B) en flores de <i>Vicia faba</i> L.; brotes florales (BF) y flores abiertas (FA), en condiciones distintas de crecimiento; invernadero-suelo e invernadero-tezontle, y métodos de procesamiento; liofilizado (L) y estufa (E).	38

<b>Figura 2.1</b>	Siembra en campo e invernadero de variedades de haba mexicanas.	51
<b>Figura 2.2</b>	Diagrama del procesamiento realizado con el material vegetal para sus posteriores determinaciones.	52
<b>Figura 2.3</b>	Medias de las variables agroambientales en tres intervalos de tiempo en el día (7:00 a 10:00 am, 11:00 am a 14:00 pm y 15:00 a 18:00 pm) en la condición de campo (izquierda) e invernadero (derecha), durante el crecimiento de las plantas de <i>Vicia faba</i> L.	54
<b>Figura 2.4</b>	Proceso de extracción de L-DOPA de tejidos de haba ( <i>Vicia faba</i> L.).	57
<b>Figura 2.5</b>	Cromatograma (a) y curva de calibración (b) del estándar de L-3,4-dihidroxifenilalanina (L-DOPA).	58
<b>Figura 2.6</b>	Proceso de extracción de las isoflavonas.	59
<b>Figura 2.7</b>	Cromatograma (a) y curva de calibración del estándar de daidzeína (b).	60
<b>Figura 2.8</b>	Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) en plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. bajo condiciones distintas de crecimiento; campo (CAM) e invernadero (INV).	64
<b>Figura 2.9</b>	Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT, $n = 27$ ) y contenido de L-DOPA ( $n = 3$ ) en plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. bajo condiciones distintas de crecimiento; campo (CAM) e invernadero (INV).	65
<b>Figura 2.10</b>	Contenido de L 3,4-dehidroxifenilalanina (L-DOPA) en plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. bajo condiciones distintas de crecimiento; campo (CAM) e invernadero (INV).	66
<b>Figura 2.11</b>	Biomasa de plantas de <i>Vicia faba</i> L. de 10, 15 y 20 días después de la emergencia (DDE) y cantidad de L3,4-dehidroxifenilalanina (L-DOPA) por planta, de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. bajo condiciones distintas de crecimiento; campo (CAM) e invernadero (INV).	68
<b>Figura 2.12</b>	Contenido de flavonoides totales en plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. bajo condiciones distintas de crecimiento.	69
<b>Figura 2.13</b>	Contenido de flavonoides totales (FT, $n = 27$ ) y contenido de Daidzeína (DAID, $n = 3$ ) en plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. bajo condiciones distintas de crecimiento.	70
<b>Figura 2.14</b>	Contenido de daidzeína en plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. bajo condiciones distintas de crecimiento.	71
<b>Figura 2.15</b>	Biomasa de plantas de <i>Vicia faba</i> L. de 10, 15 y 20 días después de la emergencia (DDE) y cantidad de daidzeína por planta, de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. bajo condiciones distintas de crecimiento; campo (CAM) e invernadero (INV).	72
<b>Figura 2.16</b>	Concentración (A) y cantidad (B) de compuestos bioactivos (CB) en flores de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. sembradas en campo. T; plantas tardías, P; plantas precoces,	76

	CFT; Compuestos fenólicos totales (determinados en mg de equivalente de ácido gálico (EAG) g <sup>-1</sup> MS), FT; Flavonoides totales (determinados en mg de equivalente de quercetina (EQ) g <sup>-1</sup> MS); L-DOPA; L-3,4-dihidroxifenilalanina, DAID; Daidzeína. Las barras indican $\pm$ desviación estándar ( $n = 3$ ).	
<b>Figura 2.17</b>	Representación gráfica de los valores teóricos de las cargas cruzadas canónicas de las dos primeras funciones en la interacción de variables agroambientales y de suelo y compuestos bioactivos de las plantas de <i>Vicia faba</i> L.	80
<b>Figura 3.1</b>	Valores medios de producción de haba verde por superficie cultivada en las localidades de San Agustín Calvario y San Gregorio Zacapechpan, municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México.	101
<b>Figura 3.2</b>	Síntesis de costos de producción de haba verde por categoría de productor.	103
<b>Figura 4.1</b>	Siembra de <i>Vicia faba</i> L. a mayor densidad; a) productor de haba cuadrando el terreno, b) vista frontal del encuadre del suelo a una distancia de 20 cm entre matas (2 semillas por mata), c) vista lateral de las parcelas, d) vista frontal de las parcelas.	124
<b>Figura 4.2</b>	VARIABLES agroambientales registradas en campo durante el desarrollo de plantas de <i>Vicia faba</i> L. a los 20 días después de la emergencia.	126
<b>Figura 4.3</b>	Medias de las variables agroambientales registradas en campo en tres intervalos de tiempo en el día (7:00 a 10:00 am, 11:00 am a 14:00 pm y 15:00 a 18:00 pm), durante el periodo de crecimiento de las plantas de <i>Vicia faba</i> L. a los 20 días después de la emergencia.	127
<b>Figura 4.4</b>	Procedimiento de la extracción de L-DOPA en <i>Vicia faba</i> L.	129
<b>Figura 4.5</b>	Determinación de L-DOPA por espectrofotometría UV-visible en microplaca, a) reactivos y coloración de la reacción para la determinación de L-DOPA, b) espectro de absorción de 200 – 600 nm, c) curva de calibración.	
<b>Figura 4.6</b>	Actividad antioxidante por el método de 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl; a) imagen de la coloración de la reacción, b) obtención del CI <sub>50</sub> de la variedad José María.	132
<b>Figura 4.7</b>	Procedimiento de la extracción para la determinación de la actividad anti-inflamatoria.	133
<b>Figura 4.8</b>	Actividad anti-inflamatoria de extractos de tejidos de planta de haba a distintas concentraciones (12.5 – 200 mg mL <sup>-1</sup> ).	134
<b>Figura 4.9</b>	Efecto del diclofenaco sódico en la inhibición de la turbidez a distintas concentraciones (25 – 1000 µg mL <sup>-1</sup> ).	135
<b>Figura 4.10</b>	Cromatograma del extracto metanólico de planta de <i>Vicia faba</i> , a) L-DOPA (pico 1) a 280 nm, b) rutina (pico 1) e isoorientinas (pico 2 y 3) a 350 nm.	137

<b>Figura 4.11</b>	Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides totales (FT) y L-DOPA en plantas de variedades de haba.	140
<b>Figura 4.12</b>	Actividad antioxidante reportada como porcentaje de inhibición (% I) de los extractos de la planta de variedades de <i>Vicia faba</i> L. de 20 días después de la emergencia.	142
<b>Figura 4.13</b>	Actividad anti-inflamatoria de extractos de planta de variedades de haba, a) Porcentaje de inhibición de 12.5 a 200 mg mL <sup>-1</sup> , b) Porcentaje de inhibición de la actividad anti-inflamatoria a 150 mg mL <sup>-1</sup> .	144
<b>Figura 4.14</b>	Contenido de rutina, isoorientinas y L-DOPA, en plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L.	149
<b>Figura 4.15</b>	Estructuras moleculares de rutina (a), isoorientina (b) y L-DOPA (c) (Soares <i>et al.</i> , 2014; Gullón <i>et al.</i> , 2017; Ziqubu <i>et al.</i> , 2020).	150
<b>Figura 5.1</b>	Metabolitos derivados de daidzeína con actividad farmacológica.	163
<b>Figura 5.2</b>	Cantidades de producción de haba común y haba caballar secas por país en el periodo de 2000-2017 (FAOSTAT, 2019).	168
<b>Figura 5.3</b>	Media del Contenido y rendimiento de compuestos bioactivos encontrados en las plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. que pueden ser aprovechados e utilizados por su efecto beneficioso en la salud.	169

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
HIPÓTESIS .....	5
Hipótesis general .....	5
Hipótesis particulares.....	5
OBJETIVOS .....	6
Objetivo general .....	6
Objetivos específicos.....	6
LITERATURA CITADA.....	7
CAPÍTULO I: ACUMULACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN PLANTAS Y FLORES DE HABA ( <i>Vicia faba</i> L.) BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE CRECIMIENTO Y MÉTODOS DE PROCESAMIENTO.....	12
Resumen .....	12
Abstract.....	13
1.1 Introducción .....	14
1.2 Materiales y métodos.....	16
1.3 Resultados y discusión .....	21
1.4 Conclusiones.....	39
1.5 Literatura citada .....	40
CAPÍTULO II: CONTENIDO, CANTIDAD Y APROVECHAMIENTO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN PLANTAS Y FLORES DE HABA ( <i>Vicia faba</i> L.) BAJO CONDICIONES DISTINTAS DE CRECIMIENTO .....	44
Resumen .....	44
Abstract.....	45
2.1 Introducción .....	46
2.2 Materiales y métodos.....	49
2.3 Resultados y discusión .....	60
2.4 Conclusiones.....	81
2.5 Literatura citada .....	81
CAPÍTULO III: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UNA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE HABA.....	85
Resumen .....	85
Abstract.....	86

3.1 Introducción .....	86
3.2 Metodología .....	93
3.3 Resultados y Discusión.....	96
3.4 Conclusiones .....	114
3.5 Literatura Citada.....	114
CAPITULO IV: L-DOPA Y COMPUESTOS BIOACTIVOS EN PLANTAS DE <i>Vicia faba</i> L.:	
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ANTIINFLAMATORIA <i>IN VITRO</i> .....	
Resumen .....	119
Abstract.....	120
4.1 Introducción .....	121
4.2 Materiales y métodos.....	123
4.3 Resultados y Discusión.....	138
4.4 Conclusiones .....	152
4.5 Literatura citada .....	153
DISCUSIÓN GENERAL .....	156
CONCLUSIONES GENERALES.....	170
5.3 Literatura citada .....	172
ANEXOS.....	176



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

### **MEJORAMIENTO DEL CONSUMO DE RASTROJO DE MAÍZ POR RUMIANTES COMO ESTRATEGIA PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN ANIMAL**

**LIZ SARAHY PÉREZ MARTELL**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**DOCTORA EN CIENCIAS**

PUEBLA, PUEBLA

2021

La presente tesis, titulada: **Mejoramiento del consumo de rastrojo de maíz por rumiantes como estrategia para aumentar la producción animal** realizada por la alumna: **Liz Sarahy Pérez Martell**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. JUAN DE DIOS GUERRERO RODRÍGUEZ

ASESOR:



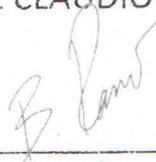
DR. EFRAÍN PÉREZ RAMÍREZ

ASESOR:



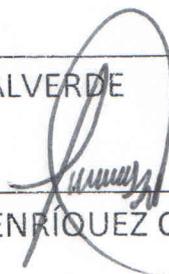
DR. DANIEL CLAUDIO MARTÍNEZ CARRERA

ASESOR:



DR. BENITO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR:



DR. JAVIER FRANCISCO ENRÍQUEZ QUIROZ

Puebla, Puebla, México, 8 de junio del 2021

## MEJORAMIENTO DEL CONSUMO DE RASTROJO DE MAÍZ POR RUMIANTES COMO ESTRATEGIA PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN ANIMAL

Liz Sarahy Pérez Martell, Dra.  
Colegio de Postgraduados, 2021

Los sistemas de producción de rumiantes en zonas rurales normalmente consumen rastrojo de maíz para mantenerse en épocas de estiaje, principalmente en el otoño, invierno y primavera, cuando se escasea el forraje verde. Sin embargo, el rastrojo en términos de calidad tiende a ser bajo, pero existen variaciones entre genotipos, lo cual puede aprovecharse para mejorar su consumo en la época crítica. Adicionalmente, por la selectividad del animal una proporción del rastrojo se desperdicia, por lo que su consumo requiere ser más eficiente. Se evaluaron tres cultivares de maíz (dos criollos y un híbrido) en términos de composición química y se cuantificaron las preferencias por ovinos al aplicar diferentes tratamientos de presentación, saborizantes y colonización del rastrojo por el micelio del hongo medicinal *Ganoderma lucidum*. Se produjo el rastrojo de las tres variedades en condiciones de temporal. Las tres variedades se ofrecieron por separado a cada animal en las presentaciones de planta entera, picado y molido. Dado que en la presentación de picado se tuvo la mayor preferencia, se le adicionó al rastrojo picado por separado, sales minerales, melaza, amonificado, jugo de alfalfa y rastrojo colonizado por el micelio de *G. lucidum*. Se realizaron las pruebas de preferencia con siete ovinos hembras por tratamiento, con peso de 30 kg  $\pm$  2 kg, tres veces al día, por cinco días para cada tratamiento. Se determinó en laboratorio la concentración de fibras, digestibilidad *in vitro* y proteína cruda. En el estado entero de la planta, los animales tuvieron mayor preferencia en el consumo del rastrojo de los cultivares criollos en comparación con el híbrido; sin embargo, en el estado picado y molido no se observó preferencia por algún cultivar. Los animales tuvieron preferencia en el consumo del rastrojo de maíz picado sin importar el cultivar, cuando se adicionó un licuado de alfalfa. El de menor preferencia fue el rastrojo amonificado. El rastrojo colonizado por el micelio de *G. lucidum* no mejoró la digestibilidad *in vitro*, ya que incrementó la concentración de fibras, pero aumentó la concentración de proteína cruda. Se detectó que existe preferencia por el rastrojo ciertos cultivares, pero al modificar la presentación tal preferencia se pierde. Así mismo se observa que hay preferencia por ciertos tratamientos saborizantes.

Palabras clave: calidad nutritiva, *Ganoderma*, pruebas de cafetería, saborizantes.

## IMPROVING THE INTAKE OF MAIZE STUBBLE BY RUMINANTS AS A STRATEGY TO INCREASE ANIMAL PRODUCTION

Liz Sarahy Pérez Martell, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2021

Ruminants in rural areas normally consume maize stubble to sustain themselves, a situation that occurs during critical seasons, mainly in the fall, winter and spring, when green forage is scarce. Stubble in terms of quality tends to be low, but there are variations between genotypes, which can be used to improve its consumption in critical times. Additionally, due to the selectivity of the animal, a proportion of the stubble is wasted, so its consumption requires efficiency. Three cultivars of maize (two creoles and one hybrid) were evaluated in terms of chemical composition and, preferences for sheep were quantified by applying different presentation treatments, flavorings, as well as inoculation and complete colonization of the stubble by the mycelium of the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum*. The stubble of the three cultivars was produced under rainfed conditions. The three cultivars were offered separately to each animal in the physical state of the whole plant, chopped and grounded. Since the chopped presentation had the highest preference, to this stubble presentation was added flavors of mineral salts, molasses and alfalfa juice, as well as the ammoniation with urea and stubble colonized by the mycelium of *G. lucidum*. Preference tests were carried out with seven female sheep per treatment, weighing  $30 \text{ kg} \pm 2 \text{ kg}$ , three times a day, for five days for each treatment. Fiber concentration, *in vitro* digestibility, and crude protein were determined. In the presentation of whole plant, the animals had higher intake of the stubble of the creole cultivars than the hybrid; however, in the chopped and ground presentations, no preference for any cultivar was found. The animals had greater intake of chopped maize stubble regardless the cultivar when an alfalfa smoothie was added. The least preferred was the ammonified stubble. The stubble colonized by the mycelium of *G. lucidum* had a medium consumption and did not improve the *in vitro* digestibility because the fiber concentration increased, but improved the crude protein concentration. It is detected that there is a preference for the stubble of certain cultivars, but when the presentation is modified, this preference is lost. Likewise, it was observed that there is a greater preference for certain flavoring treatments.

Key words: nutritional quality, cafeteria tests, flavorings, *Ganoderma*.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez por apoyarme durante todo el proceso que se llevó en esta investigación, por tener tanta paciencia, por su disposición, tiempo, orientación, comprensión, asesoría y amistad.

A los integrantes del Consejo Particular, Dr. Daniel Claudio Martínez Carrera, Dr. Benito Ramírez Valverde, Dr. Efraín Pérez Ramírez, Dr. Javier Francisco Enríquez Quiroz por el apoyo y la asesoría durante cada cuatrimestre.

Al Colegio de Postgraduados, *Campus Puebla*, por abrirme las puertas y darme la atención en todo momento para obtener el grado de Doctorado en Ciencias en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo para realizar el proyecto de investigación.

A la Línea de generación y/o aplicación del conocimiento del programa LGAC 2: Aprovechamiento y manejo de sistemas agroalimentarios y recursos naturales para el desarrollo rural sostenible.

Al Lic. Jorge Rugeiro por brindarme su tiempo, paciencia, disposición, amistad y conocimiento de manera incondicional.

A la Dra. Mercedes Sobal Cruz, por apoyarme para avanzar en mi proyecto.

Al Dr. Arahón Hernández Guzmán por su tiempo y asesoría.

A la M.C. Yanet López Reyes por todo el apoyo que me brindó en mi trabajo de laboratorio.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>IV. OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
4.1 General.....	5
<b>V. HIPÓTESIS.....</b>	<b>6</b>
<b>VI. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
6.1 Producción de rastrojo de maíz en México.....	7
6.2 Importancia del rastrojo de maíz para los sistemas de producción de rumiantes.....	7
6.3 Valor nutricional del rastrojo de maíz.....	9
6.4 Mecanismos que controlan el consumo alimenticio en rumiantes.....	10
6.5 Regulación del comportamiento alimenticio mediante el sistema homeostático.....	11
6.6 Señales estimuladoras del consumo de alimento.....	13
6.7 Señales inhibitorias del consumo de alimento.....	13
6.8 Regulación del comportamiento alimenticio mediante el sistema de recompensa.....	15
6.9 Integración de señales que controlan el hambre y la saciedad en rumiantes.....	16
6.10 Aprovechamiento del rastrojo de maíz para alimentación en rumiantes.....	17
6.11 Algunos tratamientos aplicados al rastrojo de maíz.....	21

6.11.1	Amonificación.....	21
6.11.2	Tratamiento con melaza.....	22
6.11.3	Tratamientos físicos.....	23
<b>6.12</b>	<b>Tratamientos biológicos con hongos comestibles.....</b>	<b>24</b>
<b>VII.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
<b>7.1</b>	<b>Área de estudio.....</b>	<b>30</b>
<b>7.2</b>	<b>Selección del cultivar de maíz.....</b>	<b>30</b>
<b>7.3</b>	<b>Preparación del terreno y siembra.....</b>	<b>30</b>
<b>7.4</b>	<b>Seguimiento de la siembra.....</b>	<b>31</b>
7.4.1	Registro de temperatura y milímetros de lluvia.....	31
7.4.2	Floración masculina y femenina al 50%.....	31
7.4.3	Cosecha.....	31
7.4.4	Producción de rastrojo de maíz por cultivar.....	31
<b>7.5</b>	<b>Tratamiento de rastrojo con el hongo <i>Ganoderma lucidum</i>.....</b>	<b>32</b>
<b>7.6</b>	<b>Composición química del rastrojo de maíz.....</b>	<b>34</b>
7.6.1	Análisis de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA).....	33
7.6.2	Determinación de lignina.....	34
7.6.3	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS).....	34
7.6.4	Análisis de contenido de proteína cruda (PC).....	35
<b>7.7</b>	<b>Pruebas de aceptabilidad de rastrojo de maíz en rumiantes.....</b>	<b>36</b>
<b>7.8</b>	<b>Diseño experimental.....</b>	<b>37</b>
<b>7.9</b>	<b>Análisis estadístico.....</b>	<b>38</b>
<b>VIII.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
<b>8.1</b>	<b>Registro de temperatura y milímetros de lluvia.....</b>	<b>40</b>
<b>8.2</b>	<b>Días al 50% de floración masculina y femenina.....</b>	<b>40</b>
<b>8.3</b>	<b>Determinación de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad <i>in vitro</i> de materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) según el cultivar de maíz.....</b>	<b>41</b>

8.3.1	Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina según el cultivar de maíz.....	41
<b>8.4</b>	Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad <i>in vitro</i> de materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) según el cultivar de maíz y colonización con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	42
<b>8.5</b>	Pruebas de aceptabilidad y preferencia en el consumo del rastrojo de maíz por rumiantes.....	51
8.5.1	Preferencia de consumo por presentación física del rastrojo de maíz.....	51
8.5.2	Preferencia de consumo por tratamiento de sabor al rastrojo de maíz.....	52
<b>IX.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>54</b>
<b>9.1</b>	Climograma.....	<b>54</b>
<b>9.2</b>	Días al 50% de floración masculina y femenina.....	<b>54</b>
<b>9.3</b>	Determinación de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) y contenido de proteína cruda (PC).....	<b>55</b>
9.3.1	Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina según el cultivar de maíz.....	<b>55</b>
<b>9.4</b>	Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad <i>in vitro</i> de materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) según el cultivar de maíz y colonización con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>56</b>
<b>9.5</b>	Pruebas de aceptabilidad y preferencia en el consumo del rastrojo de maíz por rumiantes.....	<b>59</b>
9.5.1	Preferencia de consumo por presentación física del rastrojo de maíz.....	<b>59</b>
9.5.2	Preferencia de consumo de acuerdo al genotipo de maíz y al tratamiento de sabor.....	<b>61</b>

<b>X.</b>	<b>CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS</b>	<b>63</b>
<b>XI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>XII.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b>	Patrón temporal esperado de señales estimuladoras (orexigénicas) e inhibitorias (anorexigénicas) en el intervalo entre comidas (a) y (b).....	<b>12</b>
<b>Figura 2.</b>	Rastrojos colonizados con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>33</b>
<b>Figura 3.</b>	Determinación de fibras y digestibilidad.....	<b>35</b>
<b>Figura 4.</b>	Preparación de rastrojo para pruebas de preferencia	<b>37</b>
<b>Figura 5.</b>	Climograma registrado durante el periodo experimental del cultivo de maíz.....	<b>39</b>
<b>Figura 6.</b>	Producción de rastrojo de maíz.....	<b>40</b>
<b>Figura 7.</b>	Concentración de fibra detergente neutro (FDN) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>43</b>
<b>Figura 8.</b>	Concentración de fibra detergente ácido (FDA) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>45</b>
<b>Figura 9.</b>	Concentración de lignina en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>47</b>
<b>Figura 10.</b>	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>49</b>
<b>Figura 11.</b>	Proteína cruda (PC) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>50</b>
<b>Figura 12.</b>	Consumo total de rastrojo por cultivar de maíz y por presentación física de la planta.....	<b>52</b>
<b>Figura 13.</b>	Preferencia de consumo por cultivar de maíz y por tratamiento de sabor.....	<b>53</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Valor nutricional del rastrojo de maíz presentado en diferentes estudios.....	<b>9</b>
<b>Tabla 2.</b> Niveles de consumo voluntario en ovinos con rastrojo de maíz con tratamientos de amonificado y suplementos de urea.....	<b>22</b>
<b>Tabla 3.</b> Consumo de rastrojo de maíz con diferentes tratamientos.....	<b>24</b>
<b>Tabla 4.</b> Pérdida de nutrientes en proceso de esterilización de rastrojo de maíz colonizado con hongos.....	<b>25</b>
<b>Tabla 5.</b> Composición nutricional del rastrojo de maíz colonizado con <i>Pleurotus spp.</i> .....	<b>26</b>
<b>Tabla 6.</b> Composición nutricional del rastrojo de maíz colonizado con <i>Phaerochaete chrysosporium</i> , <i>Aspergillus niger</i> y <i>Trichoderma viride</i> .....	<b>27</b>
<b>Tabla 7.</b> Promedios de los días de floración masculina (DFM) y días de floración femenina (DFF) por cultivar de maíz.....	<b>40</b>
<b>Tabla 8.</b> Promedios de concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina en tres cultivares de maíz.....	<b>41</b>



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS

**CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**ANÁLISIS REGIONAL, TERRITORIAL Y TECNOLÓGICO  
DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ CACAHUACINTLE (*Zea  
Mays Sp.*) DE RIEGO EN EL CENTRO DE MÉXICO**

**JUAN VELÁZQUEZ LÓPEZ**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2021

La presente tesis titulada: **Análisis regional, territorial y tecnológico de la producción de maíz cacahuacintle (*Zea Mays Sp.*) de riego en el centro de México** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO  
AGRÍCOLA REGIONAL  
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

DR. JOSÉ PEDRO JUÁREZ SÁNCHEZ

ASESOR:

DR. BENITO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR:

DR. JUAN MORALES JIMENEZ

ASESOR:

DR. IGNACIO OCAMPO FLETES

ASESOR:

DR. GUSTAVO RAMÍREZ VALVERDE

Puebla, Puebla, México, 9 de julio 2021

# **ANÁLISIS REGIONAL, TERRITORIAL Y TECNOLÓGICO DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ CACAHUACINTLE (*ZEA MAYS SP.*) DE RIEGO EN EL CENTRO DE MÉXICO**

Juan Velázquez López. D.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

El maíz cacahuacintle ha tenido reciente auge cultural, social y económico en las regiones rurales que lo cultivan, pero no hay estudios suficientes sobre su distribución actual y potencial, su tecnología, las interacciones entre los actores que lo producen y comercializan. El objetivo de la investigación fue evaluar el potencial para la producción de maíz cacahuacintle (*Zea Mayz Sp.*), en México, analizar la tecnología utilizada, caracterizar las acciones de los actores que participan en su producción y comercialización. Se evaluaron áreas agrícolas con potencial mediante análisis estadístico y de conglomerados, en el uso de la tecnología, para determinar los actores que intervienen se aplicó un cuestionario a una muestra de 76 productores y a 6 comercializadores. Se encontró un área cercana a 4 millones de hectáreas en el centro del país tiene potencial para producir maíz cacahuacintle en régimen de temporal, predominan los Climas de tipo “C” con lluvias abundantes en verano y suelos fértiles. El proceso de producción inicia con el control químico de malezas en noviembre-diciembre, siembran en la última quincena de diciembre y todo el mes de enero, la dosis de fertilización (NPK) fue 144-392-00, la densidad de población ascendió a 125,820 plantas/ha. El control de plagas se realiza en abril y mayo. El primer riego se realizó en febrero y marzo. Existe una desvinculación entre los actores para producir el cacahuacintle, los mercados físicos y el consumidor final que agudiza desigualdades entre productores y comercializadores en términos de ingreso. Se concluye que Jalisco presenta los mejores atributos para su siembra y escape de las regiones tradicionales, los productores de mayores ingresos tienen mayores niveles de tecnología, sin embargo, su uso no es el más adecuado. Las desigualdades entre actores, pueden solventarse con fomento a la organización de productores y la vinculación directa al consumidor.

Palabras clave: Tecnología agrícola, Análisis Regional, Proceso de Producción, Actores, Territorio.

**REGIONAL, TERRITORIAL AND TECHNOLOGICAL ANALYSIS OF THE  
PRODUCTION OF CACAHUACINTLE CORN (ZEA MAYS SP.) FROM IRRIGATION  
IN CENTRAL MEXICO**

Juan Velázquez López. D.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

Cacahuacintle maize has had a recent cultural, social and economic boom in rural regions growing it, however, there are not enough studies about its current and potential distribution, its technology and interactions between actors that produce and market it. This research aim was to evaluate the potential for the production of cacahuacintle corn (*Zea Mays Sp.*) in Mexico, to analyze the technology used and characteristic actions of theactors involved in its production and commercialization. Agricultural areas with a potential were evaluated through statistical and cluster analysis, in the use of technology and to determine the actors involved, a questionnaire was applied to a sample of 76 producers and 6 marketers. An area close to 4 million hectares was found in the central part of the country that has the potential to produce cacahuacintle maize in a rainfed system. Type “C” climates predominate with abundant rains in summer and fertile soils. Production process begins with chemical control of weeds in November and December. Sowing in the last fortnight of December and the entire month of January, fertilization dose (NPK) was144-392-00, population density amounted to 125,820 plants / ha. Pest control was carried out in April and May. First irrigation was carried out in February and March. There is no link between actors that produce cacahuacintle, physical markets and final consumer that exacerbates inequalities between producers and marketers in terms of an income. It is concluded that Jalisco presents the best attributes for planting but it escapes from the traditional regions, producers with higher incomes had higher levels of technology, however, its use is not the most appropriate. Inequalities between actors can be solved by promoting the organization of producers and setting up ties with the consumer.

Keywords: Agricultural technology, Regional Analysis, Production Process, Actors, Territory

## **DEDICATORIA**

A todos los maiceros y campesinos de México, que me enseñaron lo que saben sin pretensiones, para ellos, mi respeto y mi mayor gratitud. Ustedes son la verdadera semilla que alimenta nuestra vida, cultura e historia colectiva.

A todos los transportistas, vendedores, rodadores, detalladores y comercializadores por el apoyo durante la realización de este trabajo.

A mi hijo Luis Emilio Velázquez por unirse la mitad de este viaje llamado vida y hacerlo más ameno.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece el apoyo brindado por la Línea de Generación y/o Aplicación del Conocimiento: Estudios Regionales, para la realización de esta investigación.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo económico a través de la beca que me otorgo y oportunidad para realizar mis estudios de doctorado en ciencias.

Mi más sincero agradecimiento y respeto a mi consejero, Dr. José Pedro Juárez Sánchez y a mi asesor el Dr. Benito Ramírez Valverde. Asimismo, al Dr. Juan Morales Jiménez y el Dr. Ignacio Ocampo Fletes y por su apoyo durante estos dos años. De igual manera a todos los profesores del COLPOS Puebla por su apoyo y enseñanzas.

A los agricultores del municipio de Valle de Bravo y Temascaltepec en el estado de México y a las personas que me apoyaron en la realización de esta investigación.

A Juan Arturo Blanco Jaspeado por su apoyo con las figuras del ciclo productivo del maíz cacahuacintle. Asimismo, a María de Lourdes Rivas Romero, por el apoyo con las gestiones y los archivos de investigación necesarios para esta tesis, también a la dirección de educación por su apoyo en todos estos años. Agradezco a mi hermana Ma. Isabel Velázquez por su apoyo moral durante todo este proceso. Y a todos amigos y compañeros que estuvieron presentes en este apartado de mi carrera profesional.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b>	vi
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	vii
<b>ÍNDICE</b>	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	x
<b>LISTA DE CUADROS</b>	xi
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	2
<b>CAPÍTULO 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN, OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>	2
1.1 Problema general	9
1.2 Preguntas de investigación específicas	9
<b>1.3 OBJETIVOS</b>	9
1.3.1 Objetivo General	9
1.3.2 Objetivos Específicos	9
<b>1.4 HIPÓTESIS</b>	10
1.4.1 Hipótesis General	10
1.4.2 Hipótesis particulares	10
<b>1.5 BIBLIOGRAFÍA</b>	10
<b>CAPÍTULO 2. EL MAÍZ CACAHUACINTLE. DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS DE CULTIVO EN MÉXICO</b>	17
2.1 Resumen	18
2.2 Abstract	18
2.3 Introducción	19
2.4 Metodología	22
2.5 Modelo Matemático general	22
2.6 Resultados y Discusión	38
2.7 Región potencial (RP) de maíz cacahuacintle. Aspectos edáficos, climáticos y pluviométricos	40
2.8 Aspectos productivos y económicos de la Región Potencial	43
2.9 Conclusiones	47
2.10 Bibliografía	48

<b>CAPÍTULO 3. CATETERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA AGRÍCOLA DEL MAÍZ CACAHUACINTLE (<i>ZEA MAYS. SP</i>) DE RIEGO EN EL ESTADO DE MÉXICO</b>	55
3.1 Resumen	56
3.2 Abstract	56
3.3 Introducción	57
3.5 Trascendencia de la tecnología agrícola	60
3.6 Metodología	63
3.7 Resultados	66
3.8 Conclusiones	76
3.9 Bibliografía	77
<b>CAPÍTULO 4. EL MAÍZ CACAHUACINTLE (<i>ZEA MAYS SP</i>) EN EL ESTADO DE MÉXICO: ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN Y SUS ACTORES</b>	86
4.1 Resumen	87
4.2 Abstract	87
4.3 Introducción	88
4.4 El enfoque de los sistemas agroalimentarios y su evolución histórico teórica	90
4.5 Aspectos metodológicos de la investigación	95
4.6 Actores que intervienen en el proceso de producción	97
4.7 Estrategia de comercialización y tendencias de mercado	100
4.8 Conclusiones	107
4.9 Bibliografía	108
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES</b>	117

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Distribución espacial del maíz cacahuacintle en México	39
Figura 2 Región Potencial de la producción de Cacahuacintle	42
Figura 3 Distribución de regiones de acuerdo a grupos de aptitud para expansión del cultivo de cacahuacintle bajo régimen temporal	46
Figura 4 Ubicación geográfica del territorio de estudio y aspectos generales	64
Figura 5 Fecha de Siembra por grupos de Ingreso	69
Figura 6 Primer Riego	73
Figura 7 Ciclo del cultivo del maíz cacahuacintle (Zea Mays Sp).	74
Figura 8 Ubicación geográfica del territorio de estudio y aspectos principales	95
Figura 9 Municipios donde se produce la semilla del cacahuacintle	97
Figura 10 Diagrama de flujo de la producción del maíz cacahuacintle	98
Figura 11 Principales mercados y zonas de producción de cacahuacintle	102
Figura 12 Diagrama de flujo de la comercialización de maíz cacahuacintle	103

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Características, económicas, productivas y geográficas de la RP de maíz cacahuacintle bajo régimen de temporal 2017.....	44
Cuadro 2 Actividades realizadas en el proceso de producción del cacahuacintle	75