



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

		Página
Cuadro 1.1	Estándares y longitud de onda utilizados para cuantificar Compuestos Fenólicos Totales (CFT) y Flavonoides Totales (FT) por espectrofotometría UV - Visible.	19
Cuadro 1.2	Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) de los solventes de extracción de compuestos fenólicos.	23
Cuadro 1.3	Análisis de varianza de compuestos bioactivos en plantas de <i>Vicia faba</i> L. sembradas en condiciones de campo e invernadero.	24
Cuadro 1.4	Análisis de varianza de compuestos bioactivos en las flores de <i>Vicia faba</i> L. sembradas en condiciones de crecimiento diferentes.	25
Cuadro 1.5	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
Cuadro 2.1	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
Cuadro 2.2	Características de las semillas de haba utilizadas en la investigación.	50
Cuadro 2.3	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
Cuadro 2.4	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
Cuadro 2.5	Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) de contenidos de compuestos bioactivos en plantas de <i>Vicia faba</i> L.	63
Cuadro 2.6	Análisis de varianza del contenido de compuestos bioactivos en flores de haba sembradas en condiciones de campo.	73
Cuadro 2.7	Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) de contenidos de compuestos bioactivos en flores de <i>Vicia faba</i> L.	75
Cuadro 2.8	Análisis de correlaciones canónicas que relaciona variables agroambientales y de suelo con compuestos bioactivos encontrados en plantas de <i>Vicia faba</i> L.	78
Cuadro 2.9	Índices de redundancia para la primera y segunda función canónica.	78
Cuadro 3.1	Contenido nutricional y posibles beneficios de las leguminosas.	88
Cuadro 3.2	Matriz de análisis de política. Rentabilidad Privada.	96
Cuadro 3.3	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.	
Cuadro 3.4	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
Cuadro 3.5	Ganancias económicas de la producción de haba verde por superficie y modalidad de venta.	104
Cuadro 3.6	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
Cuadro 3.7	Ganancias económicas de la producción de planta de haba por superficie cultivada.	108
Cuadro 3.8	Ganancias económicas de la producción de planta de haba en invernadero.	110
Cuadro 3.9	Productos a base de <i>Mucuna pruriens</i> como fuente natural de L-DOPA.	113
Cuadro 4.1	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
Cuadro 4.2	Gradiente para la utilización de las fases móviles.	136
Cuadro 4.3	Análisis de varianza de compuestos bioactivos en plantas de variedades de <i>Vicia faba</i> L. de 20 días después de la emergencia.	139
Cuadro 4.4	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
Cuadro 4.5	Biomasa y rendimiento de compuestos bioactivos por planta, por kilogramo y por metro cuadrado de cuatro variedades de haba.	147
Cuadro 4.6	Rendimiento de la extracción con metanol de tejido de plantas de <i>Vicia faba</i> .	148
Cuadro 4.7	Análisis de varianza de compuestos fenólicos en extracto metanólico de planta de haba.	148
Cuadro 5.1	Requerimientos de dosis de L-DOPA en pacientes con Parkinson.	160
Cuadro 5.2	Compuestos bioactivos (CB) presentes en tejidos de la planta de <i>Vicia faba</i> .	164
Cuadro 5.3	Valores medios de peso en materia seca y rendimientos de compuestos bioactivos de tejidos de haba obtenidos en condiciones de crecimiento de campo.	165
Cuadro 5.4	Rangos del contenido de L-DOPA encontrados en tejidos de la planta de haba.	167

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.1	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
Figura 1.2	Plantas de <i>Vicia faba</i> L. desarrollado bajo distintas condiciones de crecimiento.	18
Figura 1.3	Diagrama del proceso para cuantificar Compuestos fenólicos totales (CFT) y Flavonoides totales (FT).	21
Figura 1.4	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
Figura 1.5	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
Figura 1.6	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
Figura 1.7	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
Figura 1.8	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
Figura 1.9	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
Figura 1.10	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

Figura 2.1	Siembra en campo e invernadero de variedades de haba mexicanas.	51
Figura 2.2	Diagrama del procesamiento realizado con el material vegetal para sus posteriores determinaciones.	52
Figura 2.3	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
Figura 2.4	Proceso de extracción de L-DOPA de tejidos de haba (<i>Vicia faba</i> L.).	57
Figura 2.5	Cromatograma (a) y curva de calibración (b) del estándar de L-3,4-dihidroxifenilalanina (L-DOPA).	58
Figura 2.6	Proceso de extracción de las isoflavonas.	59
Figura 2.7	Cromatograma (a) y curva de calibración del estándar de daidzeína (b).	60
Figura 2.8	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
Figura 2.9	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
Figura 2.10	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
Figura 2.11	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
Figura 2.12	Contenido de flavonoides totales en plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. bajo condiciones distintas de crecimiento.	69
Figura 2.13	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
Figura 2.14	Contenido de daidzeína en plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L. bajo condiciones distintas de crecimiento.	71
Figura 2.15	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
Figura 2.16	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 ⁻¹ MS), FT; Flavonoides totales (determinados en mg de equivalente de quercetina (EQ) g ⁻¹ MS); L-DOPA; L-3,4-dihidroxifenilalanina, DAID; Daidzeína. Las barras indican \pm desviación estándar ($n = 3$).	
Figura 2.17	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
Figura 3.1	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
Figura 3.2	Síntesis de costos de producción de haba verde por categoría de productor.	103
Figura 4.1	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
Figura 4.2	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
Figura 4.3	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
Figura 4.4	Procedimiento de la extracción de L-DOPA en <i>Vicia faba</i> L.	129
Figura 4.5	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.	
Figura 4.6	Actividad antioxidante por el método de 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl; a) imagen de la coloración de la reacción, b) obtención del CI ₅₀ de la variedad José María.	132
Figura 4.7	Procedimiento de la extracción para la determinación de la actividad anti-inflamatoria.	133
Figura 4.8	Actividad anti-inflamatoria de extractos de tejidos de planta de haba a distintas concentraciones (12.5 – 200 mg mL ⁻¹).	134
Figura 4.9	Efecto del diclofenaco sódico en la inhibición de la turbidez a distintas concentraciones (25 – 1000 μ g mL ⁻¹).	135
Figura 4.10	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

Figura 4.11	Contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides totales (FT) y L-DOPA en plantas de variedades de haba.	140
Figura 4.12	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
Figura 4.13	Actividad anti-inflamatoria de extractos de planta de variedades de haba, a) Porcentaje de inhibición de 12.5 a 200 mg mL ⁻¹ , b) Porcentaje de inhibición de la actividad anti-inflamatoria a 150 mg mL ⁻¹ .	144
Figura 4.14	Contenido de rutina, isoorientinas y L-DOPA, en plantas de cuatro variedades de <i>Vicia faba</i> L.	149
Figura 4.15	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
Figura 5.1	Metabolitos derivados de daidzeína con actividad farmacológica.	163
Figura 5.2	Cantidades de producción de haba común y haba caballar secas por país en el periodo de 2000-2017 (FAOSTAT, 2019).	168
Figura 5.3	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