



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**

**POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

***Leucaena esculenta*: SU PERCEPCIÓN EN LA CULTURA NGIWA Y LA  
CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EXTRACTO PROTEICO**



**APROBADA**



**TESIS**

**Que como requisito parcial para obtener el grado de:  
DOCTOR EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS**

**Presenta**

**GUADALUPE GARCÍA MACEDA**

**Bajo la supervisión de: ARTURO HERNÁNDEZ MONTES, DR**



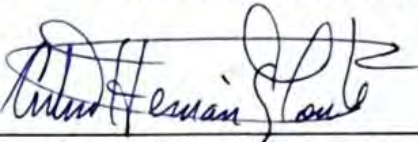
**Chapingo, Estado de México, junio de 2024**

***Leucaena esculenta*: SU PERCEPCIÓN EN LA CULTURA NGIWA Y LA  
CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL EXTRACTO PROTEICO**

Tesis realizada por **GUADALUPE GARCÍA MACEDA** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTORA EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS**

DIRECTOR:



DR. ARTURO HERNÁNDEZ MONTES

ASESOR:



DRA. MA. CARMEN YBARRA MONCADA

ASESOR:



DRA. ROCIO GUADALUPE CASAÑAS PIMENTEL

ASESOR:



DR. ERICH VON BORRIES MEDRANO

LECTOR EXTERNO:



DRA. ALEIDA SELENE HERNÁNDEZ CAZARES

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
DEDICATORIAS .....	xi
AGRADECIMIENTOS .....	xii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN GENERAL.....	xiv
GENERAL ABSTRACT.....	xv
1 INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
1.1 Objetivo general .....	3
1.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Organización de la tesis .....	5
1.5 Literatura citada.....	6
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
2.1 Leguminosas .....	10
2.2 <i>Leucaena</i> spp. alimento tradicional de México .....	11
2.3 Factores antinutricionales de las leguminosas .....	12
2.4 Tratamiento termoalcalino .....	13
2.5 Métodos de extracción de las proteínas .....	14
2.6 Las proteínas y su digestibilidad.....	14
2.7 Panificación con haría de leguminosas .....	15
2.8 Literatura citada.....	16
3 PERCEPCIÓN Y SIGNIFICADOS DEL GUAJE ROJO <i>Leucaena esculenta</i> (DC.) Benth. EN LA CULTURA NGIWA DE PUEBLA, MÉXICO.....	28
Resumen: .....	28
3.1 Introducción.....	30

3.2	Materiales y métodos.....	35
3.2.1	Área de estudio .....	35
3.2.2	Material vegetal .....	36
3.2.3	Encuesta .....	38
3.3	Análisis estadístico .....	40
3.3.1	Rutas de influencia de los valores humanos en el consumo de guaje rojo	40
3.3.2	Significados psicológicos simbólicos y utilitarios para los consumidores de guaje rojo .....	42
3.4	Resultados.....	42
3.4.1	Influencia directa e indirecta de los valores humanos en el consumo de guaje rojo.....	42
3.4.2	Significados psicológicos simbólicos y utilitarios para los consumidores de guaje rojo .....	46
3.5	Discusión .....	49
3.5.1	Rutas de influencia de los valores humanos en el consumo de guaje rojo	49
3.5.2	Significados para los consumidores de guaje rojo .....	51
3.6	Conclusiones .....	53
3.7	Agradecimientos.....	54
3.8	Literatura citada.....	54
4	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EXTRACTO PROTEICO DE <i>Leucaena esculenta</i> (DC.) BENTH CON PROCESO TERMOALCALINO .....	65
4.1	Introducción.....	65
4.2	Materiales y métodos.....	67
4.2.1	Material vegetal .....	67
4.2.2	Materiales.....	67
4.2.3	Tratamientos de los granos de <i>L. esculenta</i> (DC) Benth.....	67
4.2.4	Obtención del extracto de proteína de <i>L. esculenta</i> (DC) Benth .	68
4.2.5	Determinación de las proteínas por el método Bradford .....	68
4.2.6	Identificación de las fracciones de proteínas del extracto proteico	69

4.2.7	Evaluación de la solubilidad del extracto proteico de la proteína <i>L. esculenta</i> (DC) Benth .....	70
4.2.8	Digestibilidad <i>In Vitro</i> del extracto de proteína de <i>L. esculenta</i> (DC.) Benth	70
4.2.9	Determinación del contenido de aminoácidos hidrolizados de la harina de <i>L. esculenta</i> (DC) Benth .....	71
4.2.10	Determinación de grupos funcionales de la harina de <i>L. esculenta</i> (DC.) Benth a través de infrarrojo cercano con la transformación de Fourier	72
4.3	Análisis estadístico .....	72
4.4	Resultados y discusión .....	73
4.4.1	Análisis de la concentración de proteínas del extracto proteico de <i>Leucaena esculenta</i> (DC.) Benth .....	73
4.4.2	Análisis de las fracciones proteicas del extracto de <i>Leucaena esculenta</i> (DC) Benth .....	74
4.4.3	Análisis de la solubilidad de la proteína del extracto proteico de <i>Leucaena esculenta</i> (DC) Benth .....	76
4.4.4	Digestibilidad del extracto proteico de <i>Leucaena esculenta</i> (DC) Benth	77
4.4.5	Evaluación aminoácidos hidrolizados de la harina de <i>L. esculenta</i> (DC) Benth .....	79
4.4.6	Grupos funcionales de la harina de <i>L. esculenta</i> (DC) Benth utilizando el infrarrojo cercano con transformación de Fourier .....	81
4.5	Conclusiones .....	82
4.6	Literatura citada .....	83
5	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN DE TRIGO ENRIQUECIDO CON HARINA DE GUAJE ( <i>Leucaena esculenta</i> ) .....	90
5.1	Introducción .....	92
5.2	Materiales y métodos .....	95
5.2.1	Obtención de las harinas y tratamientos .....	95
5.2.2	Alveogramas de las masas .....	96
5.2.3	Calidad panadera .....	96
5.2.4	Composición química parcial del pan de caja .....	98
5.2.5	Análisis proximal .....	98

5.2.6	Evaluación sensorial del pan de caja .....	98
5.3	Análisis estadístico .....	98
5.3.1	Evaluación del alveograma y la calidad panadera.....	98
5.3.2	Análisis proximal parcial del pan de caja .....	99
5.3.3	Evaluación sensorial.....	99
5.4	Resultados y discusión .....	100
5.4.1	Alveogramas y calidad panadera del pan de caja fortificado.....	100
5.4.2	Aceptabilidad global .....	104
5.4.3	Penalidad de medias de la aceptabilidad global empleando escalas JAR .....	107
5.5	Conclusión.....	109
5.6	Literatura citada.....	110
6	CONCLUSIONES GENERALES .....	116
7	ANEXOS .....	117

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Valores motivaciones, valores humanos y sus significados empleados en la encuesta a consumidores de guaje rojo.....	39
Cuadro 2. Resultados de las regresiones de la importancia de los atributos tangibles y valores humanos para los consumidores de guaje rojo. ....	43
Cuadro 3. Ruta de influencia directa de los valores humanos sobre el consumo de guaje rojo. ....	45
Cuadro 4. Ruta de influencia indirecta de los valores humanos sobre el consumo de guaje rojo. ....	46
Cuadro 5. Categorías de palabras mencionadas por los consumidores de San Felipe Otlaltepec, al ver una imagen de guaje rojo. ....	46
Cuadro 6. Comunalidades de categorías de significados por sexo para los consumidores de guajes de San Felipe Otlaltepec, Puebla.....	49
Cuadro 7. Concentraciones para preparar para la solución stock en la fase del líquido gástrico simulado. ....	71
Cuadro 8. Estadísticas de bondad de ajuste .....	74
Cuadro 9. Digestibilidad <i>In Vitro</i> de la proteína de <i>L. esculenta</i> (DC) Benth....	78
Cuadro 10. Contenido porcentual de aminoácidos hidrolizados de la <i>L. esculenta</i> (DC) Benth con diferentes tratamientos.....	80
Cuadro 11. Composición del pan de caja enriquecido con harina de guaje rojo con proceso termoalcalino y el testigo (100 % harina de trigo).....	97
Cuadro 12. Propiedades alveográficas de la masa de harina de trigo adicionada con harina de guaje con proceso termoalcalino.....	101
Cuadro 13. Estadísticas de bondad de ajuste .....	102
Cuadro 14. Calidad panadera de mezclas, de cada tratamiento, de harina de trigo y harina de guaje con proceso termoalcalino.....	102
Cuadro 15. Estadísticas de bondad de ajuste .....	102

Cuadro 16. Análisis proximal del pan de caja enriquecido con harina de guaje rojo.....	104
Cuadro 17. Estadísticas de bondad de ajuste .....	104
Cuadro 18. Comparación de medias de la aceptabilidad global de los tratamientos de los panes de trigo enriquecidos con harina de guaje con proceso termoalcalino (n = 100). .....	104
Cuadro 19. Estadísticas de bondad de ajuste .....	105
Cuadro 20. Diferencias de medias centralizadas por cada grupo formado....	105
Cuadro 21. Diferencias de medias centralizadas en la preferencia de los panes: A, B y C.....	106
Cuadro 22. Caídas de las medias de la aceptabilidad en los atributos del pan A (100 % HT).....	107
Cuadro 23. Caídas de las medias de la aceptabilidad en los atributos del pan B (95 % HT + 5 % HGCPT).....	108
Cuadro 24. Caídas de las medias de la aceptabilidad en los atributos del pan C (80 % HT + 20 % HGCPT).....	109

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. San Felipe Otlaltepec, Tepexi de Rodríguez, Puebla. ....	36
Figura 2. <i>Leucaena esculenta</i> (DC) Benth.....	37
Figura 3. Porcentajes de las comunalidades de categorías de significados del guaje rojo y sus aportaciones a los significados psicológicos. a,b,c, Porcentajes de comunalidades de significados con diferentes letras son estadísticamente diferentes. $X^2 = 21.026$ , $p < 0.0001$ y un $\alpha = 0.05$ .....	48
Figura 4. Contenido de proteína de los extractos proteicos de <i>Leucaena esculenta</i> (DC) Benth. a y b. Diferentes letras son estadísticamente diferentes.....	74
Figura 5. Electroforesis SDS-PAGE del extracto de proteína de <i>Leucaena esculenta</i> (DC) Benth. Carril 1. Marcador molecular (kDa); Carril 2. Sin proceso termoalcalino (SPT); Carril 3. Con proceso termoalcalino (CPT); y Carril 4. Proceso térmico (PT).....	75
Figura 6. Solubilidad de los extractos de la proteína de los tratamientos, sin proceso termoalcalino (SPT), con proceso termoalcalino (CPT) y proceso térmico (PT) de <i>Leucaena esculenta</i> (DC) Benth, en función del pH 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10. ....	77
Figura 7. Electroforesis SDS-PAGE de la digestibilidad del extracto proteico de <i>Leucaena esculenta</i> (DC) Benth. Carril 1. BSA. Carril 2. Marcador de peso molecular. Carril 3. Digestibilidad del extracto proteico sin proceso termoalcalino (SPT). Carril 4. Digestibilidad del extracto proteico con proceso termoalcalino (CPT). Carril 5. Digestibilidad del extracto proteico con proceso térmico (PT). 78	
Figura 8. Espectros de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) de las harinas sin proceso térmico (SPT), con proceso térmico (CPT) y con proceso térmico (PT) y del extracto proteico (SPT_extracto, CPT_extracto y PT_extracto), de <i>Leucaena esculenta</i> (DC) Benth.....	82

Figura 9. Volumen del pan enriquecido con harina de guaje. A: 100 % harina de trigo (HT); B: 95 % HT + 5 % harina de guaje (HGCPT); C: 80 % HT + 20 % HGCPT. .... 103

Figura 10. Color y estructura de la miga del pan enriquecido con harina de guaje. A: (100 % HT) = color amarillo-crema, muy buena; B: (95 % HT+ 5 % HGCPT) = color café, regular; C: (80 % HT + 20 % HGCPT) = color obscuro, muy pobre. .... 103

Figura 11. Dendrograma de los grupos de preferencias formados. .... 105

## DEDICATORIAS

A Dios Jesús Cristo, a quien le pertenece todo y quien me ha dado todo, con Él ha sido posible.

Con mucho amor para mi mamá Lucy, que con su gran ejemplo, fortaleza y constancia en la vida me ha enseñado que a pesar de todo los objetivos se pueden lograr, la amo gran ángel de Dios.

Al ser que Dios encomendó mi vida, mi querido papá Álvaro, muchas gracias.

A mis hermanos y hermanas con mucho cariño, Alvarin †, Mony, Fredy, Roy, Rufox, Chuchin, Kary y Soco, porque siempre han estado conmigo.

Por esos momentos especiales de amor y felicidad, a todos mis amados sobrinos y sobrinas, ustedes han sido mi motivación e inspiración en la vida.

A la familia García Ybarra por todo su apoyo y cariño.

A todos mis amigos y seres queridos.

Gracias a la familia agroindustrial, en especial a mis profesores y trabajadores.

“Él respondió y dijo: Escrito está: No solo de pan vivirá el hombre, sino de toda palabra que sale de la boca de Dios”.  
Mateo 4:4 RVR1960.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi gran nación, México.

Al presidente de México, al Lic. Andrés Manuel López Obrador, por su gran compromiso, honestidad y amor por nuestro país.

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONHACYT) por la beca 901824.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Ingeniería Agroindustrial.

Al posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria

Al Dr. Arturo Hernández Montes por enseñarme que a pesar de que el recorrido sea complicado se puede avanzar con la ayuda de otro; gracias por su paciencia y apoyo, siempre lo llevaré en mis pensamientos.

A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada por iniciar la investigación del guaje rojo y por permitir la vinculación con los productores de la comunidad de San Felipe Otlaltepec, Puebla. Gracias por ser parte importante en mi desarrollo académico y profesional.

A la Dra. Rocio Guadalupe Casañas Pimentel y al Dr. Erich Von Borries Medrano.

## DATOS BIOGRÁFICOS

### Datos personales

<b>Nombre:</b>	Guadalupe García Maceda
<b>Fecha de nacimiento:</b>	03 de noviembre de 1986
<b>Lugar de nacimiento:</b>	San Felipe Otlaltepec, Tepexi de Rodríguez, Puebla.
<b>CURP:</b>	GAMG861103MPLRCD09
<b>Profesión:</b>	Ingeniero Agroindustrial

### Desarrollo académico

**Licenciatura:** Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo.

**Diplomado:** Estrategias de evaluación e investigación didáctica, Universidad Autónoma Chapingo.

**Maestría:** Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

## RESUMEN GENERAL

### ***Leucaena esculenta*: SU PERCEPCIÓN EN LA CULTURA NGIWA Y LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EXTRACTO PROTEICO**

El guaje rojo (*Leucaena esculenta*) es un recurso fitogenético de México. En Puebla se distribuye de manera natural, particularmente, en la región Ngiwa. Los objetivos fueron: a) identificación de la percepción y los significados de los consumidores nativos de guaje rojo b) caracterización fisicoquímica del extracto proteico de los granos secos del guaje rojo c) evaluación de la calidad panadera de un pan de trigo enriquecido con harina de guaje. Se preguntó a 200 consumidores de guaje la importancia de algunos atributos tangibles y de 40 valores humanos. Se extrajo la proteína a partir de la modificación del pH, y se cuantificó por el método Bradford; el análisis de las fracciones proteicas fue por electroforesis (SDS-PAGE), se analizó la solubilidad y se evaluó la digestibilidad *In Vitro*. El contenido de aminoácidos fue cuantificado con un equipo UPLC-ESI-MS/MS y los grupos funcionales por espectroscopia FTIR. En los panes con harina trigo (HT) y harina de guaje con proceso termoalcalino (HGCT) se evaluó la calidad panadera, análisis proximal parcial, aceptabilidad global y el de JAR. El análisis de la percepción indicó que la ruta directa no fue significativa y los significados utilitarios fueron del 70.7 %. La concentración del extracto de proteína fue de 49.82 % y las bandas electroforéticas identificadas fueron vicilinas y leguminas. La solubilidad de la proteína disminuyó a medida que el pH se aproximó a su punto isoeléctrico y la digestibilidad *In Vitro* fue proporcional con la concentración inicial del extracto proteico. Los aminoácidos esenciales mayoritarios para la harina fueron la lisina, leucina y valina; los principales grupos funcionales fueron amida I y amida II. El pan enriquecido con 95 % HT y 5 % HGCT, mostró buena calidad panadera; volumen, textura, miga color café; y fue preferido estadísticamente similar por los consumidores de pan con 100 % HT.

**Palabras clave:** guaje rojo, alimento tradicional, fracciones proteicas, aminoácidos, digestibilidad *In Vitro*, productos enriquecidos.

---

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: M.C. Guadalupe García Maceda.

Director de tesis: Arturo Hernández Montes, Ph.D.

## GENERAL ABSTRACT

### ***Leucaena esculenta*: ITS PERCEPTION IN NGIWA CULTURE AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE PROTEIC EXTRACT**

The red guaje (*Leucaena esculenta*) is a phylogenetic resource of Mexico. In Puebla it is naturally distributed, particularly in the Ngiwa region. The objectives were: a) identification of the perception and meanings of native consumers of red guaje b) the physicochemical characterization of the protein extract of the dried grains of red guaje and c) the evaluation of the baking quality of a wheat bread enriched with guaje flour. Two hundred guaje consumers were surveyed about the importance of some tangible attributes and 40 human values. Protein of guaje grain was extracted by pH modification, and its content was determined with the Bradford method; protein fractions were analyzed by electrophoresis (SDS-PAGE), solubility was analyzed and *In Vitro* digestibility was evaluated. Amino acid content was quantified by UPLC-ESI-MS/MS and functional groups by FTIR spectroscopy. Baking quality, partial proximate analysis, overall acceptability and JAR were evaluated in breads with wheat flour (HT) and guaje flour with thermo-alkaline process (HGCPT). The perception analysis showed the direct route was not significant and the utilitarian meanings were 70.7%. The protein extract concentration was 49.82 % and the electrophoretic bands showed vicillins and legumins. The protein solubility decreased as the pH approached its isoelectric point and the *In Vitro* digestibility was proportional to the initial concentration of the protein extract. The main essential flour amino acids were lysine, leucine and valine; the main functional groups were amide I and amide II. The bread enriched of flour 95% wheat and 5 % HGCPT, give good baking quality: volume, texture, brown crumb and was statistically equal to bread made with 100 % HT.

**Key words:** red guaje, traditional food, protein fractions, amino acids, *In Vitro* digestibility, fortified products.

---

Doctoral Thesis Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.  
Author: M.C. Guadalupe García Maceda.  
Advisor: Arturo Hernández Montes, Ph.D.

## 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La leguminosa *Leucaena* spp. es una alternativa alimenticia para el consumo humano, al igual que la soya, frijol y lentejas. Las leguminosas son fuentes importantes de proteínas, almidón, fibra cruda minerales, ácidos grasos esenciales y antioxidantes (Finatsiyatull Rosida et al., 2016; Román-Cortés et al., 2014).

Las leguminosas (legumbres) son consideradas como la principal fuente de proteínas en países semidesarrollados, a pesar de esto, son subestimadas principalmente por su contenido de antinutrientes que causan hinchazón y flatulencias, además de que su cocción es tardada (FAO, 2016). Sin embargo, la demanda de alimentos saludables, como las proteínas vegetales de las leguminosas, va en aumento principalmente por los consumidores vegetarianos, veganos, adultos mayores y niños, lo que ha favorecido su consumo (FAO, 2016).

La familia de las leguminosas es amplia y se caracteriza por su fruto en forma de legumbre, cuando están secas; algunas de ellas se consumen en verde aprovechándose el grano tierno y la vaina; se usan para alimentar a los animales y a los humanos (Olmedilla Alonso et al., 2010). De acuerdo con la FAO (2023), el cultivo de las legumbres en comparación con otros cultivos favorece a los agricultores, principalmente aquellos que se encuentran en entornos donde hay escases de agua, debido a que la huella hídrica de las leguminosas es baja, con mayor tolerancia a la sequía y más resistente a las catástrofes climatológicas. Las leguminosas proporcionan nitrógeno a otros sistemas de cultivos múltiples (cultivos intercalados, rotación de cultivos y agroforestería), debido a que fijan nitrógeno a través de las bacterias simbióticas (bacterias *Rhizobium*) que se encuentran dentro de sus nódulos radiculares, mejorando la fertilidad del suelo y por lo tanto el rendimiento del cultivo (FAO, 2021).

El guaje (*Leucaena* spp) es una leguminosa que presenta altos contenidos de proteína, fibra cruda, minerales (N, Mg, Mn, P y Zn), lípidos, compuestos fenólicos, antocianinas y flavonoides (Román-Cortés et al., 2014). A nivel mundial se distribuye en algunos países de Latinoamérica, África, India, China, Tailandia, Filipinas, Nueva Guinea y Australia (POWO, 2024); en México se distribuye en 22 estados, su área de distribución natural se encuentra en Guerrero, Morelos y Puebla, sobre todo, en la sierra madre del sur, en la depresión del Balsas, abarcando la región de la sierra Negra y de la Mixteca. En otras localidades se presenta como especie exótica cultivada (Peralta-Juárez et al., 2017; Sánchez-Hurtado, 2014). En México los recursos fitogenéticos son importantes por su biodiversidad, son fuente de alimentos, materia prima para medicamentos, energía, construcción, y su estudio resalta aspectos biológicos, ambientales y sociales (Flores et al., 2015). El guaje rojo es considerado un recurso fitogenético, desvalorado y olvidado, de México, sin embargo, en varias comunidades indígenas es usado de diversas maneras, por ejemplo, como alimento humano, para alimento animal se utiliza como forraje para el ganado y como uso no alimenticio es un recurso forestal (Casas, 1992).

La demanda de los aislados y extractos de proteínas vegetales se ha incrementado debido a que su consumo se relaciona con el respeto al medio ambiente y surgen de una fuente más sostenible en comparación con las proteínas animales que tienen un mayor impacto en la huella de carbono (Apostolidis & McLeay, 2016).

Por ello, ha sido relevante investigar su comportamiento durante la digestión gastrointestinal, ya que influye en el valor nutrimental del alimento (Henchion et al., 2017). Las proteínas vegetales suelen presentar digestibilidad alta, similar a la digestibilidad de las proteínas animales, siempre y cuando éstas sean concentradas o purificadas y se haya eliminado la pared celular, como en el caso de los aislados de proteína (Tomé, 2013). Actualmente se prefieren las proteínas vegetales ya que son consideradas como una alternativa alimentaria, debido a

los crecientes impactos de salud, ambientales y éticos, derivado de la relación con el consumo de proteínas animales (Kornet et al., 2020).

En algunos países como en Estados Unidos y en la región del mediterráneo las presentaciones comerciales de algunas leguminosas, como el chícharo, incluyen a las harinas (20-25 % de proteína), concentrado o extracto (50-75 % de proteína) y aislado (mayor a 80 % de proteína), además de ser diferentes en la cantidad de proteína, también difieren en su composición química y por lo tanto en su determinado uso (Boukid-Fatma et al., 2021; Vogelsang-O'Dwyer et al., 2021). En la industria de los alimentos a nivel mundial el uso de los aislados y los extractos de las proteínas de las leguminosas han tenido muchas aplicaciones como sustitutos de la carne, leche, y en la elaboración de productos de panificación sin gluten (Schreuders et al., 2019). La leguminosa *Leucaena esculenta* conocida como guaje en México es una fuente importante de proteína vegetal y por lo tanto una alternativa más entre las otras leguminosas, sin embargo, las semillas y hojas contiene un aminoácido no proteico llamado mimosina (ácido  $\beta$ -[N-(3-hidroxi-4-oxipiridil)]- $\alpha$ -aminopropiónico; L-mimosina), y se ha demostrado en diversas investigaciones que su consumo causa toxicidad en el ganado vacuno, ovino, caprino y equino, provocando problemas de salud como alopecia, disminución del apetito, salivación excesiva y otros (Porto et al., 2017; Radrizzani & Nasca, 2014). Sin embargo, estudios recientes han demostrado que la toxicidad en la dieta de los seres humanos es a partir del 10 % de los granos de guaje en peso seco (Nguyen & Tawata, 2016; Sethi & Kulkarni, 1995).

Los estudios nutricionales, proximales y gastronómicos son relevantes para abordar el tema de alimentos tradicionales y los cambios en la alimentación en México (Good & Corona, 2011).

### **1.1 Objetivo general**

Identificar la percepción y los significados que los consumidores nativos de guaje rojo *L. esculenta* (DC) Benth le otorgan y evaluar el potencial alimenticio de su extracto proteico como una proteína alternativa, así como el uso de la harina para

elaborar un pan de caja de trigo enriquecido con harina de guaje procesada para darle un valor agregado.

## **1.2 Objetivos específicos**

Determinar las rutas de influencia directa e indirecta de los valores humanos en la frecuencia de consumo del guaje rojo, y las comunales de los significados percibidos por los consumidores nativos.

Caracterizar fisicoquímicamente el extracto proteico de la harina de los granos de *L. esculenta* (DC) Benth sin proceso termoalcalino, con proceso termoalcalino y proceso térmico; además, evaluar el perfil de aminoácidos y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) de la harina de *L. esculenta* (DC) Benth con proceso termoalcalino.

Elaborar un pan de caja de trigo enriquecido con harina de granos de guaje rojo, con proceso termoalcalino, para evaluar su calidad panadera, nutricional y sensorial.

## **1.3 Hipótesis**

La percepción y los significados que los consumidores nativos de guaje rojo le otorgan mayormente será directa y de tipo simbólico, respectivamente, así mismo, el extracto proteico y el pan de caja de trigo enriquecido con harina de guaje procesada presentarán las mejores características fisicoquímicas.

Los valores humanos de los consumidores de guaje rojo ejercen una influencia directa. Los consumidores de guajes rojos presentan significados psicológicos mayormente de tipo simbólico.

El proceso termoalcalino de los granos de *Leucaena esculenta* (DC) Benth permitirá que el extracto proteico tenga mejores propiedades fisicoquímicas; y que la harina presente mayor calidad proteica.

La calidad panadera, nutricional y sensorial del pan de trigo enriquecido con harina de granos de guaje rojo con proceso termoalcalino, presentará mayor

volumen y color; una estructura de la miga aceptable y mayores contenidos de proteína y cenizas, lo que permitirá que los consumidores le otorguen una mayor aceptabilidad global.

#### **1.4 Organización de la tesis**

La tesis está conformada en cinco capítulos:

El Capítulo uno corresponde a la introducción general, en la cual se describen características generales, usos, tratamientos e importancia de las leguminosas. De manera particular se describe a la leguminosa *Leucaena* spp., considerando su distribución natural en México como recurso fitogenético, su calidad nutricional y sus usos alimenticios y no alimenticios. Se señalan generalidades de los alimentos tradicionales, como la *Leucaena esculenta*, que son considerados parte de la identidad de las comunidades indígenas de México, así como de la importancia de identificar la percepción y los significados que los consumidores locales le otorgan. Dentro de los usos alimenticios de las leguminosas se mencionan los aislados y extractos proteicos de las proteínas vegetales, que cada vez van teniendo más demanda por los consumidores que toman en cuenta la sostenibilidad y el cuidado de su salud, por ello la relevancia de conocer sus usos en la industria de los alimentos y llevar a cabo pruebas de digestibilidad para garantizar su consumo. Además, se mencionan algunos usos de la harina de las leguminosas en la panificación.

El Capítulo dos incluye la revisión de literatura con relación a las leguminosas, características botánicas, propiedades funcionales y nutricionales. También se consideró relevante estudiar a las proteínas, sus aminoácidos, y métodos de extracción, propiedades estructurales y superficiales. Fue relevante investigar las rutas de influencia de los valores humanos en el consumo, al igual que los significados psicológicos en la decisión de compra de los consumidores. Se revisó el uso de las harinas y extracto proteico de las leguminosas y la aplicación de algunas técnicas de evaluación sensorial para la aceptabilidad global y de atributos.

En el Capítulo tres se trató del análisis de la percepción y significados del guaje rojo *Leucaena esculenta* (DC.) Benth, en la cultura Ngiwa de Puebla, México. En esta investigación se identificaron el tipo de ruta de influencia de los valores humanos, los significados y las comunalidades que tiene el guaje rojo para los consumidores locales. La influencia indirecta resultó significativa, es decir, el elemento utilitario es más importante. Las mayores comunalidades fueron gastronomía y economía. Este capítulo fue publicado como artículo científico en la revista POLIBOTÁNICA, en la sección de anexos se muestra la primera página de la publicación.

El Capítulo cuatro presenta el estudio del extracto proteico de *Leucaena esculenta* (DC) Benth con proceso termoalcalino y la evaluación de sus propiedades fisicoquímicas y digestibilidad *In Vitro*.

En el quinto y último Capítulo se presenta la evaluación de la calidad panadera, nutrimental y sensorial del pan de trigo enriquecido con harina de guaje rojo con proceso termoalcalino.

### **1.5 Literatura citada**

- Apostolidis, C., & McLeay, F. (2016). Should we stop meeting like this? Reducing meat consumption through substitution. *Food Policy*, 65, 74–89. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.11.002>
- Boukid, F., Rosell, C. M., & Castellari, M. (2021). Pea protein ingredients: A mainstream ingredient to (re)formulate innovative foods and beverages. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 729–742. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.040>
- Casas, A. (1992). Etnobotánica y procesos de domesticación en *Leucaena esculenta* (Moc. et Sesse ex A.D.C.) Benth [Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://doi.org/https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000182289>
- FAO. (2016). Beneficios nutricionales clave de las legumbres. <https://www.fao.org/3/i5384s/i5384s.pdf>

- FAO. (2021). Las legumbres y la biodiversidad las legumbres mejoran la biodiversidad del suelo.
- FAO. (2023). Día Mundial de las Legumbres. 10 de febrero. <https://www.fao.org/world-pulses-day/es/>
- Finatsiyatull Rosida, D., Hapsari, N., & Hidayah, T. (2016). Functional properties of *Leucaena leucocephala* protein concentrates resulted separation of ultrafiltration membrane. MATEC Web of Conferences, 58(01012). <https://doi.org/10.1051/conf/2016>
- Flores, H. A., Peña, V. C., Murillo, A. B., Preciado, R. P., Rueda, P. E., Valenzuela, N. L., Trasviña, C. M., & Hernández, H. J. (2015). Sustentabilidad y análisis cualitativo de recursos fitogenéticos en una región árida de México. In H. M. Fortis (Ed.), Agricultura orgánica: octava parte (Primera, pp. 1–226). Red Internacional de Agricultura Orgánica. [https://www.researchgate.net/publication/295906346\\_sustentabilidad\\_y\\_analisis\\_cualitativo\\_de\\_recursos\\_fitogeneticos\\_en\\_una\\_region\\_arida\\_de\\_mexico](https://www.researchgate.net/publication/295906346_sustentabilidad_y_analisis_cualitativo_de_recursos_fitogeneticos_en_una_region_arida_de_mexico)
- Good, E. C., & Corona, P. L. (2011). Comida, cultura y modernidad en México. Mediateca INAH, 1, 346. [https://www.researchgate.net/publication/311325346\\_Estudiando\\_la\\_comida\\_y\\_la\\_cultura\\_mesoamericana\\_frente\\_a\\_la\\_modernidad](https://www.researchgate.net/publication/311325346_Estudiando_la_comida_y_la_cultura_mesoamericana_frente_a_la_modernidad)
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M., & Tiwari, B. (2017). Future protein supply and demand: Strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. Foods, 6(7), 1–21. <https://doi.org/10.3390/foods6070053>
- Kornet, C., Venema, P., Nijse, J., van der Linden, E., van der Goot, A. J., & Meinders, M. (2020). Yellow pea aqueous fractionation increases the specific volume fraction and viscosity of its dispersions. Food Hydrocolloids, 99, 105332. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105332>
- Nguyen, B. C. Q., & Tawata, S. (2016). The Chemistry and Biological Activities of Mimosine: A Review. Phytotherapy Research, 1242(May), 1230–1242. <https://doi.org/10.1002/ptr.5636>

- Olmedilla Alonso, B., Farré Rovir, R., Asensio Vegas, C., & Martín Pedrosa, M. (2010). Papel de las leguminosas en la alimentación actual. *Actividad Dietética*, 14(2), 72–76. [https://doi.org/10.1016/S1138-0322\(10\)70014-6](https://doi.org/10.1016/S1138-0322(10)70014-6)
- Peralta-Juárez, I., Gómez-Campos, A., Romero-Castillo, P. A., & Reyes-Dorantes, A. (2017). Uso antropocéntrico del guaje *Leucaena esculenta* (Moc. y Sessé Ex. DC.) Benth, en dos comunidades de la mixteca baja oaxaqueña. *Polibotánica*, 0(43). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.15>
- Porto, M. R., Moscardini, A. R. C., Novais, E. P. F., Cabral Filho, S. L. S., Lima, E. M. M., & Castro, M. B. (2017). Intoxicação natural e experimental por *Leucaena leucocephala* em equinos. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 37(8), 829–834. <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2017000800008>
- Radrizzani, A., & Nasca, J. A. (2014). The effect of *Leucaena leucocephala* on beef production and its toxicity in the Chaco Region of Argentina. *Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales*, 2(1), 127. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(2\)127-129](https://doi.org/10.17138/TGFT(2)127-129)
- Román-Cortés, N., Del Rosario García-Mateos, M., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, A. (2014). Componentes nutricionales y antioxidantes de dos especies de guaje (*Leucaena* spp.): Un recurso ancestral subutilizado. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 20(2), 157–170. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.07.023>
- Sánchez-Hurtado, J. C. (2014). Caracterización bromatológica y determinación de factores tóxicos naturales de partes comestibles de guaje rojo (*Leucaena esculenta* subsp. *esculenta*) [Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/197568>
- Sethi, P., & Kulkarni, P. R. (1995). *Leucaena leucocephala* a nutrition profile. *Food and Nutrition Bulletin*, 16(3), 1–16. <https://doi.org/10.1177/156482659501600307>
- Schreuders, F. K. G., Dekkers, B. L., Bodnár, I., Erni, P., Boom, R. M., & van der Goot, A. J. (2019). Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation. *Journal of Food Engineering*, 261, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.022>

Tomé, D. (2013). Digestibility Issues of Vegetable versus Animal Proteins: Protein and Amino Acid Requirements—Functional Aspects. *Food and Nutrition Bulletin*, 34(2), 272–274. <https://doi.org/10.1177/156482651303400225>

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Leguminosas

Las leguminosas pertenecen a la familia Fabaceae, se consideran como la tercera familia más grande, con más de 18,000 especies y más de 700 géneros, la subfamilia mimosoidae es la que sobresale con 2,900 especies (Ahmed et al., 2017). Este cultivo de las leguminosas es uno de los más importantes del mundo, después de los cereales, y forman parte de la alimentación desde el año 7000 a. C. (Avilés-Gaxiola et al., 2018). La palabra leguminosa deriva del latín “legumen”, significa las semillas que se cosechan en vainas y dependiendo de la región son conocidas como leguminosas (Abbas & Ahmad, 2018). Para la FAO las “legumbres” son un subtipo de leguminosas y se cosechan como grano seco y con bajo contenido en grasa, por ejemplo, los frijoles y los garbanzos (FAO, 2016). Las leguminosas tienen un gran valor nutricional, son ricas en proteínas (de 17% a 40%), carbohidratos (30% a 40%), fibra dietética (de 8% a 27,5%), grasa (de <5% a 47%), vitaminas del grupo B y minerales, en compuestos bioactivos vegetales, como fenoles y flavonoides y aminoácidos esenciales como lisina, leucina y arginina (Abbas and Abmad, 2018; Rebello *et al* 2014; Iqbal *et al* 2006). Las leguminosas más conocidas son el frijol (*Phaseolus vulgaris*), el cacahuete (*Arachys hypogea*), el garbanzo (*Cicer arietinum*), la lenteja (*Lens culinaris*), el haba (*Vicia faba*), el chícharo (*Pisum sativum*) y la soya (*Glycine max*) (Sánchez *et al.*, 2015). En México las semillas de las leguminosas se usan como materia prima para la elaboración y enriquecimiento de alimentos de panificación, tortillas, botanas, bebidas como el yogurt y otros (Avilés-Gaxiola et al., 2018). Los componentes nutricionales de las leguminosas, como la presencia de carbohidratos y un perfil equilibrado de aminoácidos, tienen efectos positivos en los humanos (Hayat et al., 2014), que las hacen valiosas para los nutricionistas

y profesionales de la salud (Tharanathan & Mahadevamma, 2003; Vairagar et al., 2008).

A nivel mundial la demanda de leguminosas va en aumento, como el frijol, sin embargo, el consumo per cápita sigue siendo bajo, debido a muchos factores entre ellos: el acceso a otros productos por parte de la población rural que los hace abandonar sus hábitos alimentarios, falta de información sobre las leguminosas, su cultivo es limitado y sus rendimientos son bajos, entre otros (Del Gobbo et al., 2015; Hughes et al., 2022). Es urgente que los países en vías de desarrollo destinen más recursos en la investigación de las leguminosas para aumentar su producción, fortalecer las cadenas de valor, fomentar su consumo e innovar productos (FAO, 2016). Países como Ecuador, el Salvador, Guatemala y la India, han realizado campañas de los beneficios de las leguminosas, han creado nuevos productos, han fomentado el consumo y la valorización de sus alimentos tradicionales, como los frijoles (FAO, 2021). La demanda de alimentos y su diversificación aumentará debido al crecimiento de la población a nivel mundial; se ha observado un aumento en el consumo de alimentos ricos en proteínas de origen animal, sin embargo, la producción de estos alimentos ha tenido un impacto medioambiental negativo, principalmente por el uso excesivo de recursos naturales no renovables como el agua, por ello se está optando a trascender hacia una producción más sostenible de alimentos (Henchion et al., 2017). En la actualidad el uso de los granos de las leguminosas tiene mayor demanda en la industria alimentaria, para la producción y enriquecimiento de productos de panificación, botanas, bebidas, proteínas vegetales, entre otros (Avilés-Gaxiola et al., 2018; Cunsolo et al., 2012).

## **2.2 *Leucaena* spp. alimento tradicional de México**

En México existe una estrecha relación entre los alimentos tradicionales, los significados, los valores humanos y las identidades colectivas, para lo cual es necesario reconocer las actividades alrededor de la preparación, el consumo y la comercialización de estos alimentos, que dependerá de cada tradición cultural (Good, 2011).

Dentro de las leguminosas se encuentra la *Leucaena* spp, y se sabe que fue reconocida por primera vez en América Central y la península de Yucatán en México por los españoles que llevaron semillas de *Leucaena* a Filipinas para alimentar a su ganado; esta especie tiene más de 50 nombres, en algunas regiones de México se les conoce como guajes, en la India como subabul y en Malasia como petai belalang (Ilham et al., 2015).

### **2.3 Factores antinutricionales de las leguminosas**

La demanda de leguminosas a nivel mundial últimamente ha ido aumentando ya que son consideradas como un componente importante en la alimentación humana por sus altos contenidos de nutrientes y componentes bioactivos. Sin embargo, las leguminosas también contienen factores antinutricionales (FAN) como taninos, saponinas, polifenol, lectinas, inhibidores de la tripsina (IT), inhibidores de la proteasa, ácido fítico, los oligosacáridos que causan las flatulencias, hemaglutininas, entre otros, que impiden el aprovechamiento adecuado de la biodisponibilidad de varios nutrientes (Abbas and Abmad, 2018).

Los IT son los factores antinutricionales más relevantes ya que forman complejos indigeribles que se encargan de inhibir la actividad de las enzimas pancreáticas (tripsina y quimiotripsina), perjudicando la digestión y absorción de las proteínas de las leguminosas (Fekadu Gemedé & Ratta, 2014; Khattab et al., 2009). Los IT solo se han encontrado en las semillas de las leguminosas, es decir, los IT no presentan actividad en las hojas, raíces o tallos; y la localización al interior de las semillas de las leguminosas varía, pudiendo estar en el cotiledón, en el eje embrionario o en el pericarpio (Sreerama et al., 2010; Valdez-Anguiano et al., 2015). Los IT de las leguminosas se clasifican de acuerdo con su peso molecular, de aproximadamente 20 KDa y 8 KDa, y se conocen como Kunitz (KTIs) y Bowman-Birk (BBTIs), respectivamente (Avilés-Gaxiola et al., 2018). Otra de las características de los KTIs es que en su estructura tienen dos enlaces disulfuro, que desempeñan funciones relevantes en la estructura general de la proteína; los BBTIs presentan siete enlaces disulfuros en su estructura global y su ubicación varía según la leguminosa (Avilés-Gaxiola et al., 2018).

Los factores antinutricionales de las leguminosas, como los frijoles, garbanzos, lentejas y otras, han limitado su uso, y por lo tanto el aprovechamiento de estas (Ramakrishna et al., 2006). Los FAN como los taninos, los inhibidores de la tripsina (IT), el ácido fítico, las hemaglutininas, entre otros (Abbas and Abmad, 2018), que se encuentran en las leguminosas, se pueden inactivar o reducir a partir de la aplicación de diversos métodos de procesamiento, físicos, químicos y biológicos de alimentos (Avilés-Gaxiola et al., 2018). Se ha observado que el tratamiento térmico en los frijoles mejora su perfil nutricional, contenido de proteína y fibra, reduce componentes tóxicos termolábiles (como lectinas e inhibidores de tripsina) y el contenido de oligosacáridos que son los causantes de las flatulencias (Olmedilla Alonso et al., 2010). En el caso de la soya se han usado bases como hidróxido de sodio, hidróxido de amonio y bicarbonato de sodio para la inactivación o reducción de los IT (Avilés-Gaxiola et al., 2018). El propósito de la aplicación de los tratamientos térmicos en las leguminosas es mejorar el valor nutricional y favorecer la digestibilidad de las proteínas, sin embargo, muchos de esos tratamientos térmicos, a temperaturas superiores a 80 °C, también afectan algunos de los nutrientes como aminoácidos y vitaminas termolábiles (Yang et al., 2014; Avilés-Gaxiola et al., 2018). Para el caso de los granos de *Leucaena esculenta* (DC) Benth se ha reportado el proceso termoalcalino (nixtamalización) (García-Maceda et al., 2019).

#### **2.4 Tratamiento termoalcalino**

La nixtamalización es un tratamiento termoalcalino y se puede considerar como una combinación de los procesos físicos (tratamiento térmico y remojo) y agentes químicos, como la cal (hidróxido de calcio), es decir, los granos o semillas de cereales y leguminosas se someten a un tratamiento térmico con cal, a cierta temperatura y a diferente tiempo de reposo (Chaidez-Laguna et al., 2016), las condiciones del tratamiento termoalcalino serán de acuerdo con las características físicas (por ejemplo, tamaño y peso) de los granos o semillas. La aplicación del proceso termoalcalino en las leguminosas tiene como propósito mejorar sus propiedades fisicoquímicas y reducir o inhibir los antinutrientes como los IT (Santiago-Ramos et al., 2018).

## **2.5 Métodos de extracción de las proteínas**

El adecuado procesamiento de extracción de proteínas de las leguminosas permite maximizar el rendimiento, conocer sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales, así como determinar su uso en la industria de alimentos (Boukid-Fatma et al., 2021). En la extracción de las proteínas se debe considerar su solubilidad, determinada por las interacciones proteína-proteína y proteína-solvente, así como al balance hidrofóbico-hidrofílico en la superficie de las biomoléculas (Moure et al., 2006). Considerando el método de Osborne (1914), los extractos proteicos se pueden obtener con base en su solubilidad, las albuminas son solubles en el agua, las globulinas en soluciones salinas, las prolaminas en soluciones alcohólicas y las glutelinas en soluciones ácidas o alcalinas (Tan et al., 2011). Para la extracción de las fracciones proteicas de albuminas se usa agua, se pondrá a agitar a 1 h y se centrifugará a 3000 g durante 10 min, y se recuperará el sobrenadante, el precipitado se usará para obtener las fracciones de globulinas, glutelinas y prolaminas, con NaCl al 5 %, NaOH 0.1 M y etanol al 70 % respectivamente; para cada extracción será necesario ajustar el pH a 3 con HCl 1 M y pH 7 con NaOH 1 M (Moscoso et al., 2017; Tan et al., 2019). La extracción de las proteínas de algunas leguminosas, como los garbanzos (Grasso et al., 2022) y el sésamo (Idowu et al., 2021), se pueden obtener mediante el método Osborne.

## **2.6 Las proteínas y su digestibilidad**

Los alimentos de origen vegetal como las leguminosas (soya, garbanzos, lentejas, frijoles, entre otras), son considerados excelentes fuentes de proteínas de alta calidad para la alimentación humana y animal; por ello la importancia de investigar la digestibilidad de las proteínas (Santos-Hernández et al., 2020). En general, se acepta que la digestibilidad de las proteínas vegetales suele ser menor que la de las proteínas animales, aunque puede mejorarse una vez que se eliminan los componentes de la pared celular de la planta (Tomé, 2013). Las leguminosas presentan diferentes fracciones proteicas, las más abundantes son las globulinas, sin embargo, son pobres en aminoácidos azufrados como la

metionina, cisteína y triptófano; también el contenido de lisina es importante y es superior al de los cereales (Olmedilla Alonso et al., 2010).

Las leguminosas se componen principalmente de dos fracciones proteicas, albúminas (5 a 80 kDa) y globulinas (100 a 400 KDa); las albúminas son proteínas solubles en agua y se pueden clasificar en enzimas, inhibidores de enzimas y lectinas; las globulinas son proteínas que se extraen fácilmente en soluciones salinas y se componen principalmente de dos familias: legumina (360 y 400 kDa) y vicilina (160 y 200 kDa) (Djoullah et al., 2018). En la industria de alimentos, las leguminosas, se usan como materia prima y desempeñan un papel esencial en la determinación de la calidad y la biodisponibilidad como ingrediente proteico (Liu et al., 2019).

En las proteínas los aminoácidos esenciales son: Leucina (Leu), isoleucina (Ile), valina (Val), fenilalanina (Phe), triptófano (Trp), treonina (Thr), metionina (Met), lisina (Lys) e histidina (His); los tres primeros corresponden al 40 % de las necesidades del organismo y se encuentran principalmente en las proteínas de los alimentos (Xiao & Guo, 2022).

## **2.7 Panificación con haría de leguminosas**

Las leguminosas contienen excelentes fuentes de almidón de digestión lenta, lo que las hace tener el índice glucémico bajo, su consumo es recomendable en la dieta de las personas que padecen diabetes y para reducir las enfermedades cardiovasculares (Hawkins & Johnson, 2005; Olmedilla Alonso et al., 2010). El consumo de las leguminosas combinadas con los cereales mejora la absorción del hierro y la calidad de la proteína en la dieta, además se recomienda consumirlos con alimentos ricos en vitamina C (Fidler et al., 2004). Las leguminosas contienen una cantidad importante de componentes bioactivos como polifenoles y fibras dietéticas (Millar et al., 2019).

La producción de trigo para consumo humano va en incremento, en un 70 % del consumo total del grano, se estima que ese crecimiento será más de tres veces superior que el de uso pecuario y el consumo mundial de trigo creció a una tasa

promedio anual de 1.4 %, de este total del 79.7 % correspondió al consumo humano e industrial y el resto a consumo forrajero (FAO, 2020).

## 2.8 Literatura citada

- Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018). Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: A review. In *Annals. Food Science and Technology* (Vol. 19, Issue 2). <https://www.researchgate.net/publication/352510016>
- Acosta-Alcolea, G., Arozarena-Daza, N., Vázquez-Moreno, L. L., & Ramos-Bravo, L. (2015). Perception of social performers in the biodiversity management of the Gran Piedra protected natural landscape in Santiago Cuba. *CIENCIA EN SU PC*, 1, 43–58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181338814004>.
- Abd El-Hady, E. A., & Habiba, R. A. (2003). Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *LWT - Food Science and Technology*, 36(3), 285–293. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(02\)00217-7](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(02)00217-7)
- Ahmed, A. M. M., Sánchez, F. J. S., Ramírez y Avilés, L., Mahdy, R. E. E., & Camaal, J. B. C. (2017). Tannins and mimosine in *Leucaena* genotypes and their relations to *Leucaena* resistance against *Leucaena* Psyllid and Onion thrips. *Agroforestry Systems*, 91(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9907-1>
- Arbit, N., Ruby, M., & Rozin, P. (2017). Development and validation of the meaning of food in life questionnaire (MFLQ): Evidence for a new construct to explain eating behavior. *Food Quality and Preference*, 59, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.02.002>
- Avilés-Gaxiola, S., Chuck-Hernández, C., & Serna Saldívar, S. O. (2018). Inactivation Methods of Trypsin Inhibitor in Legumes: A Review. In *Journal of Food Science* (Vol. 83, Issue 1, pp. 17–29). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13985>
- Bertoni, M., & López, M. J. (2010). Percepciones sociales ambientales Valores y actitudes hacia la conservación de la Reserva de Biosfera “Parque

- Atlántico Mar Chiquita"-Argentina. Estudios y Perspectivas En Turismo, 19, 835–849. <http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/384/1/00937.pdf>
- Blancas, J., Casas, A., Pérez-Salicrup, D., Caballero, J., & Vega, E. (2013). Ecological and socio-cultural factors influencing plant management in Náhuatl communities of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9(1), 39. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-9-39>
- Boukid, F., Rosell, C. M., & Castellari, M. (2021). Pea protein ingredients: A mainstream ingredient to (re)formulate innovative foods and beverages. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 729–742. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.040>
- Casas, A. (1992). Etnobotánica y procesos de domesticación en *Leucaena esculenta* (Moc. et Sesse ex A.D.C.) Benth [Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://doi.org/https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000182289>
- Chaidez-Laguna, L. D., Torres-Chavez, P., Ramírez-Wong, B., Marquez-Ríos, E., Islas-Rubio, A. R., & Carvajal-Millan, E. (2016). Corn proteins solubility changes during extrusion and traditional nixtamalization for tortilla processing: A study using size exclusion chromatography. *Journal of Cereal Science*, 69, 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.04.004>
- CONABIO. (2011). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado. México. Capítulo 5 (pp. 195–241). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. [https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Biodiversidad\\_en\\_Puebla2.pdf](https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Biodiversidad_en_Puebla2.pdf)
- Cunsolo, V., Muccilli, V., Saletti, R., & Foti, S. (2012). Mass spectrometry in the proteome analysis of mature cereal kernels. *Mass Spectrometry Reviews*, 31(4), 448–465. <https://doi.org/10.1002/mas.20347>

- Del Gobbo, L. C., Khatibzadeh, S., Imamura, F., Micha, R., Shi, P., Smith, M., Myers, S. S., & Mozaffarian, D. (2015). Assessing global dietary habits: a comparison of national estimates from the FAO and the Global Dietary Database. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 101(5), 1038–1046. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.087403>
- Djoullah, A., Husson, F., & Saurel, R. (2018). Gelation behaviors of denaturated pea albumin and globulin fractions during transglutaminase treatment. *Food Hydrocolloids*, 77, 636–645. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.005>
- El-Adawy, T. A., Rahma, E. H., El-Bedawy, A. A., & Sobihah, T. Y. (2000). Effect of soaking process on nutritional quality and protein solubility of some legume seeds. *Nahrung/Food*, 44(5), 339–343. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20001001\)44:5<339:AID-FOOD339>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20001001)44:5<339:AID-FOOD339>3.0.CO;2-T)
- Embaby, H. E.-S. (2010). Effect of soaking, dehulling, and cooking methods on certain antinutrients and *In Vitro* protein digestibility of bitter and sweet lupin seeds. *Food Science and Biotechnology*, 19(4), 1055–1062. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0148-1>
- FAO. (2016). Legumbres: Innovaciones del campo a la cazuela. Foro Global sobre Seguridad Alimentaria y Nutrición Legumbres: desafíos y oportunidades. [www.fao.org/fsnforum/es/activities/discussions/pulses2](http://www.fao.org/fsnforum/es/activities/discussions/pulses2)
- FAO. (2021). Las legumbres y la biodiversidad las legumbres mejoran la biodiversidad del suelo.
- Fekadu Gemede, H., & Ratta, N. (2014). Antinutritional Factors in Plant Foods: Potential Health Benefits and Adverse Effects. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(4), 284. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140304.18>
- García-Maceda, G., Guerra-Ramírez, D., Ybarra-Moncada, Ma. C., & Casañas-Pimentel, R. G. (2019). "Desarrollo de una harina de semilla de guaje *Leucaena esculenta* para uso alimenticio" [Maestría en Ciencias y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo].

[https://chapingo.orex.es/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=209739&query\\_desc=an%3A%2246239%22](https://chapingo.orex.es/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=209739&query_desc=an%3A%2246239%22)

- Good, E. C., & Corona, P. L. (2011). Comida, cultura y modernidad en México. *MEDIATECA INAH*, 1, 346. [https://www.researchgate.net/publication/311325346\\_Estudiando\\_la\\_comida\\_y\\_la\\_cultura\\_mesoamericana\\_frente\\_a\\_la\\_modernidad](https://www.researchgate.net/publication/311325346_Estudiando_la_comida_y_la_cultura_mesoamericana_frente_a_la_modernidad)
- Grasso, N., Lynch, N. L., Arendt, E. K., & O'Mahony, J. A. (2022). Chickpea protein ingredients: A review of composition, functionality, and applications. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 21, Issue 1). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12878>
- Güneş, S., Savran, A., Yavuz, P. M., & Uğur, Ç. (2018). Survey of wild food plants for human consumption in Karaisalı (Adana-Turkey). *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 17(2), 290–298. [https://www.academia.edu/71202693/Survey\\_of\\_wild\\_food\\_plants\\_for\\_human\\_consumption\\_in\\_Karaisal%C4%B1\\_Adana\\_Turkey\\_](https://www.academia.edu/71202693/Survey_of_wild_food_plants_for_human_consumption_in_Karaisal%C4%B1_Adana_Turkey_)
- Habiba, R. A. (2002). Changes in anti-nutrients, protein solubility, digestibility, and HCl-extractability of ash and phosphorus in vegetable peas as affected by cooking methods. *Food Chemistry*, 77(2), 187–192. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00335-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00335-1)
- Hawkins, A., & Johnson, S. K. (2005). *In vitro* carbohydrate digestibility of whole-chickpea and chickpea bread products. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56(3). <https://doi.org/10.1080/09637480500103920>
- Hayat, I., Ahmad, A., Masud, T., Ahmed, A., & Bashir, S. (2014). Nutritional and Health Perspectives of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(5), 580–592. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.596639>
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M., & Tiwari, B. (2017). Future protein supply and demand: Strategies and factors influencing a

- sustainable equilibrium. *Foods*, 6(7), 1–21.  
<https://doi.org/10.3390/foods6070053>
- Hughes, J., Pearson, E., & Grafenauer, S. (2022). Legumes—A Comprehensive Exploration of Global Food-Based Dietary Guidelines and Consumption. *Nutrients*, 14(15), 3080. <https://doi.org/10.3390/nu14153080>
- Idowu, A. O., Alashi, A. M., Nwachukwu, I. D., Fagbemi, T. N., & Aluko, R. E. (2021). Functional properties of sesame (*Sesamum indicum* Linn) seed protein fractions. *Food Production, Processing and Nutrition*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-020-00047-5>
- Ilham, Z., Hamidon, H., Rosji, N. A., Ramli, N., & Osman, N. (2015). Extraction and Quantification of Toxic Compound Mimosine from *Leucaena leucocephala* Leaves. *Procedia Chemistry*, 16, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.029>
- Iqbal, A., Khalil, I. A., Ateeq, N., & Sayyar Khan, M. (2006). Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry*, 97(2), 331–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.011>
- Kayabaş Nihan, Tümen, G., & Polat Ridvan. (2018). Wild edible plants and their traditional use in the human nutrition in Manyas (Turkey). Article in *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 17(2), 299–306. <https://www.researchgate.net/publication/323387955>
- Khattab, R. Y., Arntfield, S. D., & Nyachoti, C. M. (2009). Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: Protein quality evaluation. *LWT - Food Science and Technology*, 42(6), 1107–1112. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.02.008>
- Kornet, C., Venema, P., Nijse, J., van der Linden, E., van der Goot, A. J., & Meinders, M. (2020). Yellow pea aqueous fractionation increases the specific volume fraction and viscosity of its dispersions. *Food Hydrocolloids*, 99, 105332. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105332>
- Learning from the past. (2016). *Nature Plants*, 2(4), 16057. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nplants.2016.57>

- Liu, X., Niu, H., Li, Q., & Gu, P. (2019). Metabolic engineering for the production of l-phenylalanine in *Escherichia coli*. In *3 Biotech* (Vol. 9, Issue 3). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1619-6>
- Martínez, G. J., & Manzano-García, J. (2016). Estilos de percepción de la biodiversidad y su conservación en actores sociales de áreas protegidas de Córdoba. *Revista Del Museo de Antropología*, 9(2), 135–152. <https://doi.org/10.31048/1852.4826.v9.n2.14169>
- Mastretta-Yanes, Alicia., R. Bellon, M., Acevedo, F., Burgeff, C., Piñero, D., & Sarukhán, J. (2019). Un programa para México de conservación y uso de la diversidad genética de las plantas domesticadas y sus parientes silvestres. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 321–334. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/42-4/1a.pdf>
- Millar, K. A., Gallagher, E., Burke, R., McCarthy, S., & Barry-Ryan, C. (2019). Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Journal of Food Composition and Analysis*, 82, 103233. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103233>
- Moscoso, M. G., Zavaleta, A., Mujica, Á., Santos, M., & Calixto, R. (2017). Fraccionamiento y caracterización electroforética de las proteínas de la semilla de kañihua (*Chenopodium pallidicaule aellen*). *Revista Chilena de Nutricion*, 44(2), 144–152. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182017000200005>
- Moure, A., Sineiro, J., Domínguez, H., y Parajó, J. C. (2006). Functionality of oilseed protein products: A review. *Food Research International*, 39, 945-963.
- Mumba, P. P., Chilera, F., & Alinafe, G. (2004). The effect of the length of soaking time on trypsin inhibitor, crude protein and phosphorus contents of soybeans (*Glycine max*). *International Journal of Consumer Studies*, 28(1), 49–54. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2004.00333.x>

- Olmedilla Alonso, B., Farré Rovir, R., Asensio Vegas, C., & Martín Pedrosa, M. (2010). Papel de las leguminosas en la alimentación actual. *Actividad Dietética*, 14(2), 72–76. [https://doi.org/10.1016/S1138-0322\(10\)70014-6](https://doi.org/10.1016/S1138-0322(10)70014-6)
- Osborne, T. B., Mendel, L. B., Ferry, E. L., & Wakeman, A. J. (1914). NUTRITIVE PROPERTIES OF PROTEINS OF THE MAIZE KERNEL. *Journal of Biological Chemistry*, 18(1), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)88372-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)88372-7)
- Peralta-Juárez, I., Gómez-Campos, A., Romero-Castillo, P. A., & Reyes-Dorantes, A. (2017). Uso antropocéntrico del guaje *Leucaena esculenta* (Moc. y Sessé Ex. DC.) Benth, en dos comunidades de la mixteca baja oaxaqueña. *Polibotánica*, 0(43). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.15>
- Ramakrishna, V., Jhansi Rani, P., & Ramakrishna Rao, P. (2006). Anti - Nutritional Factors During Germination in Indian Bean (*Dolichos lablab* L . ) Seeds. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 1(1).
- Rangel-Landa, S., Casas, A., García-Frapolli, E., & Lira, R. (2017). Sociocultural and ecological factors influencing management of edible and non-edible plants: the case of Ixcatlán, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s13002-017-0185-4>
- Rebello, C. J., Greenway, F. L., & Finley, J. W. (2014). A review of the nutritional value of legumes and their effects on obesity and its related co - morbidities. *Obesity Reviews*, 15(5), 392 - 407. <https://doi.org/10.1111/obr.12144>
- Román-Cortés, N., Del Rosario García-Mateos, M., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, A. (2014). Nutritional components and antioxidants of two species of guaje (*Leucaena* spp.): An underutilized traditional resource. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 20(2), 157–170. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.07.023>
- Sánchez-Chino, X., Jiménez-Martínez, C., Dávila-Ortiz, G., Álvarez-González, I., & Madrigal-Bujaidar, E. (2015). Nutrient and Nonnutrient Components of

- Legumes, and Its Chemopreventive Activity: A Review. *Nutrition and Cancer*, 67(3), 401–410. <https://doi.org/10.1080/01635581.2015.1004729>
- Sánchez-Hurtado, J. C. (2014). Caracterización bromatológica y determinación de factores tóxicos naturales de partes comestibles de guaje rojo (*Leucaena esculenta* subsp. *esculenta*) [Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/197568>
- Sansanelli, S., Ferri, M., Salinitro, M., & Tassoni, A. (2017). Ethnobotanical survey of wild food plants traditionally collected and consumed in the Middle Agri Valley (Basilicata region, southern Italy). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s13002-017-0177-4>
- Sansanelli, S., & Tassoni, A. (2014). Wild food plants traditionally consumed in the area of Bologna (Emilia Romagna region, Italy). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10(1), 69. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-69>
- Santiago-Ramos, D., Figueroa-Cárdenas, J. de D., Véles-Medina, J. J., & Salazar, R. (2018). Physicochemical properties of nixtamalized black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *Food Chemistry*, 240, 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.156>
- Santos-Hernández, M., Alfieri, F., Gallo, V., Miralles, B., Masi, P., Romano, A., Ferranti, P., & Recio, I. (2020). Compared digestibility of plant protein isolates by using the INFOGEST digestion protocol. *Food Research International*, 137, 109708. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109708>
- SDR. (2007). Cadenas productivas agropecuarias y acuícolas del Estado de Puebla. Secretaría de Desarrollo Rural-Gobierno del Estado de Puebla, Puebla, México. pp. 198-199. <https://www.jimenezmerino.com.mx/libros/CADENASPRODUCTIVASAGROPECUARIASYACUICOLAS.pdf>
- Soetan, K. O., & Oyewole, O. E. (2009). The need for adequate processing to reduce the anti-nutritional factors in plants used as human foods and animal feeds: A review. *African Journal of Food Science*, 3(9), 223–232. <http://www.academicjournals.org/AJFS>

- Sreerama, Y. N., Neelam, D. A., Sashikala, V. B., & Pratape, V. M. (2010). Distribution of Nutrients and Antinutrients in Milled Fractions of Chickpea and Horse Gram: Seed Coat Phenolics and Their Distinct Modes of Enzyme Inhibition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4322–4330. <https://doi.org/10.1021/jf903101k>
- Tan, S. H., Mailer, R. J., Blanchard, C. L., & Agboola, S. O. (2011). Extraction and characterization of protein fractions from Australian canola meals. *Food Research International*, 44(4), 1075–1082. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.023>
- Tharanathan, R. N., & Mahadevamma, S. (2003). Grain legumes—a boon to human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 14(12), 507–518. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.002>
- Vairagar, P., Prasad, K., Ghadge, P. N., Vairagar, P. R., & Prasad, K. (2008). Some physical properties of chickpea split (*Cicer arietinum* L.). *Agricultural Engineering International*: <https://www.researchgate.net/publication/228975572>
- Valdez-Anguiano DM, Herrera-Cabrera E, Dávila-Ortiz G, Oomah BD, Cardador-Martínez A, Jiménez-Martínez C. (2015). Content and distribution of nutritional and non-nutritional compounds during germination of three Mexican faba bean (*Vicia faba*) varieties. *Intl J Res Agric Food Sci* 2(9):1–14
- Vazquez-Garcia, V. (2008). Gender, ethnicity, and economic status in plant management: Uncultivated edible plants among the Nahuas and Popolucas of Veracruz, Mexico. *Agriculture and Human Values*, 25(1), 65–77. <https://doi.org/10.1007/s10460-007-9093-x>
- Villegas De Gante, A., & Cervantes Escoto, F. (2011). Genuineness and typicity in the revalorization of artisanal Mexican cheeses. *ESTUDIOS SOCIALES*, 19(38), 146–164. <https://www.redalyc.org/pdf/417/41719205006.pdf#:~:text=Villegas%20de%20Gante%2C%20Abraham%3B%20Cervantes%20Escoto%2C%20Fer>

- nandoLa%20genuinidad,de%20Desarrollo%20RegionalHermosillo%2C%  
20M%C3%A9xico%20C%C3%B3mo%20citar%20el%20art%C3%ADculo
- Xiao, F., & Guo, F. (2022). Impacts of essential amino acids on energy balance. In *Molecular Metabolism* (Vol. 57). <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2021.101393>
- Yang, H.-W., Hsu, C.-K., & Yang, Y.-F. (2014). Effect of thermal treatments on anti-nutritional factors and antioxidant capabilities in yellow soybeans and green-cotyledon small black soybeans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(9), 1794–1801. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6494>
- Zárate, S. (1997). Domestication of Cultivated *Leucaena* (Leguminosae) in Mexico: The Sixteenth Century Documents. *Economic Botany*, 50(3), 238–250. <https://www.jstor.org/stable/4255964>
- Zárate, S. (1999). ETHNOBOTANY AND DOMESTICATION PROCESS OF *Leucaena* IN MEXICO. *Journal of Ethnobiology*, 19(1), 1–23. [https://www.researchgate.net/publication/233730395\\_Ethnobotany\\_and\\_domestication\\_process\\_of\\_Leucaena\\_in\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/233730395_Ethnobotany_and_domestication_process_of_Leucaena_in_Mexico)
- Zárate, S. (2000). The Archaeological Remains of *Leucaena* (Fabaceae) Revised. *Economic Botany*, 54(4), 477–499. <https://www.jstor.org/stable/4256361>

### 3 PERCEPCIÓN Y SIGNIFICADOS DEL GUAJE ROJO *Leucaena esculenta* (DC.) Benth. EN LA CULTURA NGIWA DE PUEBLA, MÉXICO

**Resumen:** El guaje rojo (*Leucaena esculenta* (DC.) Benth.) es una planta comestible distribuida ampliamente en México, particularmente en la región Ngiwa de Puebla. Con la percepción los usuarios obtienen conceptualizaciones funcionales, emocionales y abstractas de diversos productos en su entorno cultural. Los objetivos fueron: a) aplicar de la psicología social un método de la mercadotecnia para identificar las rutas de influencia de los valores humanos en el consumo del guaje rojo; y b) determinar los significados que consumidores nativos le otorgan a la planta. Se aplicó una encuesta a 200 consumidores preguntando la importancia de algunos atributos tangibles del guaje y de un conjunto de 40 valores humanos; se mostró una imagen del guaje y se solicitó mencionar tres palabras relacionadas con ella. Mediante análisis factorial se generaron factores usados en la construcción de modelos de regresión lineal múltiple. Tres modelos fueron ajustados para estimar los coeficientes de correlación múltiple  $R_{\text{Modelo1}}$ ,  $R_{\text{Modelo2}}$  y  $R_{\text{Modelo3}}$ . Tales modelos fueron conformados por: consumo en función de factores de atributos tangibles; consumo en función de factores de valores humanos más residuales de atributos tangibles; y consumo en función de factores de valores humanos. Una prueba de k-proporciones y el procedimiento de Marascuilo se aplicaron a frecuencias de palabras agrupadas por afinidad. La ruta directa se obtuvo de la diferencia  $R_{\text{Modelo2}} - R_{\text{Modelo1}} = (\Delta R)$ ; y la indirecta de  $R_{\text{Modelo3}} - (\Delta R)$ . La influencia directa no resultó significativa, indicando que los valores humanos fluyeron a través de la importancia de los atributos tangibles. El guaje rojo presentó mayor comunalidad de significados utilitarios (70.7 %), dentro de estos, las mayores comunalidades fueron gastronomía (29.45 %) y economía (22.75 %); la menor comunalidad fue conservación de semillas (1.15 %). Dentro de los significados psicológicos simbólicos, las mayores comunalidades fueron hedonismo (11.47 %) e identidad (9.18 %).

**Palabras clave:** Recurso fitogenético, popoloca, cultura, alimento tradicional, comunalidades.

---

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: M.C. Guadalupe García Maceda.

Director de tesis: Arturo Hernández Montes, Ph.D.

## PERCEPTION AND MEANINGS OF THE RED GUAJE *Leucaena esculenta* (DC.) Benth. IN THE NGIWA CULTURE FROM PUEBLA, MÉXICO

**Abstract:** Red guaje (*Leucaena esculenta* (DC.) Benth.) is an edible plant widely distributed in Mexico, particularly in the Ngiwa region of Puebla. Users obtain functional, emotional, and abstract conceptualizations of various products in their cultural environment through perception. The objectives of the study were: a) to apply from social psychology a marketing method to identify the routes of influence of human values on the consumption of red guaje, and b) to determine the meanings that native consumers assign to the plant. A survey was conducted with 200 consumers, asking about the importance of specific tangible attributes of guaje and a set of 40 human values. An image of guaje was shown, and participants were asked to mention three words related to it. Factor analysis was used to generate factors for constructing multiple linear regression models. Three models were adjusted to estimate the multiple correlation coefficients:  $R_{Model1}$ ,  $R_{Model2}$ , and  $R_{Model3}$ . These models were composed of: consumption based on factors of tangible attributes, consumption based on factors of human values plus residuals of tangible attributes, and consumption based on factors of human values. A k-proportions test and the Marascuilo procedure were applied to word frequencies grouped by affinity. The direct route was calculated as the difference  $R_{Model2} - R_{Model1} = (\Delta R)$ , and the indirect route as  $R_{Model3} - (\Delta R)$ . The direct influence was not found to be significant, indicating that human values flowed through the importance of tangible attributes. Red guaje exhibited a higher communality of utilitarian meanings (70.7%), with gastronomy (29.45%) and economy (22.75%) being the most prevalent, while seed preservation (1.15%) showed the lowest communality. Among the symbolic psychological meanings, hedonism (11.47%) and identity (9.18%) had the highest communalities.

**Keywords:** Fitogenetic resource, popoloca, culture, traditional food, communalities.

### **3.1 Introducción**

La percepción es el proceso de seleccionar, organizar e interpretar información obtenida a partir de estímulos selectos que pasan a través de nuestros filtros perceptivos, se organizan en estructuras y patrones mentales existentes, y luego se interpretan con base a experiencias previas (Niosi, 2021). Thomson et al. (2010) señalan que los consumidores obtienen conceptualizaciones funcionales, emocionales y abstractas al procesar información sensorial, de manera que cuando experimentan un producto, no solo reaccionan al producto en sí, sino también a las conceptualizaciones asociadas al mismo. Cuando un producto tiene un significado más allá de su aspecto tangible, se supera la visión funcional del producto como el eje central del consumo y se acepta el significado social como el mayor impulsor de las decisiones tomadas por los consumidores (Páramo-Morales, 2011). A un producto se le pueden atribuir dos tipos de significados psicológicos: el utilitario y el simbólico; el utilitario representa la función tangible del producto, se deriva de su utilidad práctica y está ligado a su conveniencia, eficiencia y a valor de cambio; el significado psicológico simbólico o abstracto es el resultado de experiencias sociales que conducen a la categorización subjetiva del producto (Torres & Allen, 2009). Oliveira Barbosa (2016) sugiere que, para entender mejor las decisiones de compra, hay que concebir que los productos poseen atributos tangibles e intangibles, que generan consecuencias funcionales o psicológicas importantes para satisfacer los valores de los individuos.

Herrero y Pérez (2014) mencionan que sobresalen tres herramientas para estudiar valores y estilos de vida en ambientes diversos de la psicología y la mercadotecnia: la encuesta de valores de Rokeach (RVS), la Lista de Valores (LOV) de Kahle y el Sistema de Valores, Actitudes y Estilos de Vida (VALS) del Instituto de Investigación de Stanford. de Almeida et al. (2017) mencionan que la RVS consiste en dos grupos de 18 preguntas de valores, que engloban valores instrumentales y valores terminales; la LOV se basa en sólo nueve valores terminales de Rokeach (1973) y la encuesta de valores de Schwartz (SVS), es un instrumento usado para relacionar aspectos culturales en función de sus

valores a partir de una prueba de fiabilidad que conlleve a su validación (Gurel et al., 2019). La SVS presenta ventajas sobre los otros métodos, ya que es un sistema de clasificación de valores humanos validado transculturalmente y que se ha experimentado en más de 20 países (Schwartz, 2012).

Los valores humanos fueron clasificados en diez tipos de valores motivacionales organizados dentro de cuatro dominios de valor de orden superior (Schwartz, 2012). La teoría de los valores de Schwartz ha sido utilizada para estudiar la influencia de los valores humanos en la decisión de consumo de alimentos tales como carne roja, carne blanca, pescado/marisco (Hayley et al., 2015), bebidas saludables (Lee et al., 2014), alimentos convenientes (preparados, envasados y listos para consumo) (Botonaki & Mattas, 2010) y productos de comercio justo (Ladhari & Tchetgna, 2015).

A partir de la teoría de expectativa–valor, el modelo multi-atributos se ha aplicado para explicar la actitud de las personas en las selecciones de consumo (Allen, 2000; Hauser et al., 2011); el mejor modelo que predecía la preferencia global de un alimento revelaba que los valores humanos estaban detrás de la preferencia del producto. Esta preferencia se encuentra en función de las creencias del consumidor, de que los atributos del producto deberían reforzar a sus valores prioritarios (Lindberg et al., 1989). Basado en la influencia de los valores humanos del consumidor sobre la elección de productos, Allen, (2001) propuso un método para descubrir las influencias directa e indirecta de los valores humanos en las decisiones de los consumidores.

La influencia de los valores humanos sobre el consumo de un producto, usando como mediadores a los atributos tangibles, puede seguir dos rutas: la indirecta y la directa. En la primera, los consumidores pueden emitir un juicio fragmentado del producto, atributo por atributo, evaluando su significado utilitario, en el que los valores humanos pueden influir en la importancia de los atributos tangibles, que a su vez influyen en la preferencia del producto (Allen, 2000). En la segunda ruta, los consumidores evalúan el significado simbólico del producto y emiten un juicio afectivo, intuitivo y holístico, los valores humanos pueden influir directamente en

la preferencia del producto (Torres & Allen, 2009). La función psicológica de cada una de las rutas puede ser instrumental o expresiva, respectivamente (Allen, 2000).

El procedimiento para identificar las rutas de influencia de los valores humanos sobre el consumo es cuantitativo y se aplica a muestras de consumidores. Para su análisis se ha utilizado el análisis factorial y la regresión múltiple (Allen, 2001; Hernández-Montes, 2020). Este método se ha aplicado a varios productos, servicios y conductas, por ejemplo: automóviles (Allen, 2000), destinos de vacaciones (Torres y Pérez-Nebra, 2007), anteojos (Torres & Allen, 2009), conducta de consumo sustentable (Sharma & Jha, 2017), en quesos tradicionales mexicanos (Hernández-Montes, 2018, 2020; Illescas-Marín et al., 2019; Torres-Salas & Hernández-Montes, 2021) y en flor de alcatraz (Cuéllar-Mandujano et al., 2022).

Dentro de una perspectiva de mercado, los productos son una colección de atributos tangibles e intangibles; lo tangible se refiere a elementos del producto verificables objetivamente, y lo intangible es aquello que no altera la forma física del producto, pero ayuda a determinar su significado simbólico (Hirschman, 1986). En este sentido, para que un producto funcione como símbolo debe poseer comunalidad de significado entre los consumidores (Lo Monaco et al., 2016). Este tipo de simbolismo podría presentarse en el guaje rojo, cuyo consumo en platillos es frecuente o se encuentra asociado a una temporada específica, se elaboran acorde a la herencia gastronómica, conocido debido a sus propiedades sensoriales y asociado a cierta área local, región o país (Guerrero et al., 2009). Los significados de los alimentos tradicionales, para los consumidores, pueden ser utilizado para ayudar a generar políticas públicas y estrategias de mercadotecnia que contribuyan al desarrollo económico de áreas rurales (Sánchez-Vega et al., 2021). Los cultígenos son plantas cultivadas que constituyen la herencia del hombre primitivo y que han contribuido al desarrollo de la humanidad (Krapovickas, 2010).

En este contexto, *Leucaena* es una planta comestible que comprende 24 taxones de árboles y arbustos, 22 de ellos en México. Incluyendo 14 especies y 18 subespecies. Los principales cultígenos son el guaje rojo *Leucaena esculenta* y el guaje verde o guaje blanco *Leucaena leucocephala*; se encuentran desde el sur de los Estados Unidos de América hasta el norte de América del Sur; *Leucaena* crece en diferentes ambientes tropicales, de áridos a húmedos. En ambientes húmedos el taxón *Leucaena* pertenece mayormente a la vegetación secundaria, su dominancia se incrementa con la aridez del medio (Peralta-Juárez et al., 2017; Sánchez-Hurtado, 2014; Zárate, 1999b).

Zárate (1997) menciona que en el Código Florentino se describe al uaxin y vagamente se menciona su uso como alimento y venta en mercados, de este nombre Náhuatl se deriva el término español de guaje; por otro lado, reporta que el cultígeno de *Leucaena* se consume en México desde épocas prehispánicas. La Cuenca del Río Balsas se presume sea el centro de origen biológico de *L. esculenta*, ahí se han encontrado escondites prehistóricos de semillas que fueron colectadas de árboles silvestres y preparadas para almacenamiento por contemporáneos de gente náhuatl y mixteca (Zárate, 2000).

*Leucaena* spp. es un género de leguminosas que presenta altos contenidos de proteína (32.5 %), fibra cruda, minerales, lípidos y antioxidantes (Casas, 1992b; Román-Cortés et al., 2014b). Lo más usado del guaje es el fruto y sus semillas, los usos reportados para el guaje son como alimento, árbol de frutos cultivado, árbol medicinal, como leña y como topónimo (Zárate, 1997).

Zárate (1999) reporta algunas preparaciones del guaje, en la tradición culinaria, tales como el guaxmole, salsas de guaje, tortas de guaje (semilla inmadura batida con huevo y queso, frita en sartén) y el guajesquite (semilla seca tostada hasta reventar y servida en tacos con salsa, o bien limón y chile en polvo).

La superficie de guaje rojo en el estado de Puebla es de 80 ha con una producción de 2,000 ton, para el caso de guaje verde son 140 ha con una producción de 16,103 ton (SDR, 2007). El guaje rojo se produce principalmente en 22 municipios

de Puebla entre ellos se encuentra Tepexi de Rodríguez (CONABIO, 2011). Por lo que, en el caso de la comunidad Ngiwa de San Felipe Otlaltepec, Tepexi de Rodríguez, Puebla, se produce principalmente guaje rojo (*Leucaena* spp.) y se cosecha de agosto a febrero. Estas comunidades indígenas se han relacionado culturalmente con comunidades mestizas y a través del tiempo se han apropiado de nuevos ingredientes, sabores y técnicas de procesamiento de sus alimentos (Good & Corona, 2011). Por otro lado, Casas (1992) reporta un abandono paulatino del guaje como alimento humano y un uso creciente como forraje para el ganado y otros usos no alimentarios, principalmente como un recurso forestal. Por lo que, los alimentos tradicionales se encuentren en riesgo de reemplazo, pudiendo implicar que la población consumidora otorga una mínima valorización a ese tipo de alimento (Villegas De Gante & Cervantes Escoto, 2011). En la valorización de alimentos se selecciona aquel que exprese los ideales culturales personales y los valores humanos del consumidor, por lo que, al expresar durante la percepción, el “significado” de algún alimento, se mencionan aspectos no relacionados necesariamente con el mismo (Arbit et al., 2017).

La evolución de la domesticación de plantas trajo como consecuencia a la agricultura; la domesticación consiste en la intervención humana en el sistema reproductivo de las plantas, dando como resultado modificaciones genéticas y/o fenotípicas. Mediante el proceso de domesticación, los seres humanos han creado diversidad biológica (agrobiodiversidad) que no existiría de otra forma (Mastretta-Yanes et al., 2019). Las interacciones e interrelaciones que mantienen los pueblos originales con las plantas permiten identificar los distintos pasos del proceso de domesticación (Blancas et al., 2013).

La percepción de la biodiversidad y su conservación ha sido reportada en Santiago, Cuba (Acosta-Alcolea et al., 2015) y en Córdoba y en Provincia de Buenos Aires, Argentina (Bertoni & López, 2010; Martínez & Manzano-García, 2016). Las percepciones ambientales manifiestan las formas diferentes en que los actores involucrados aprecian, valoran, interpretan, se vinculan y/o modifican su entorno (Martínez y Manzano-García, 2016), y su análisis sistemático permite

revelar las lógicas subjetivas de interacción sociedad-naturaleza y mejorar las intervenciones en el área involucrada (Bertoni & López, 2010). Se han reportado estudios sobre el uso tradicional de plantas comestibles en Italia (Sansanelli et al., 2017; Sansanelli & Tassoni, 2014), plantas medicinales, ceremoniales, comestibles y plantas no cultivadas de grupos rurales marginales en México (Rangel-Landa et al., 2017; Vazquez-Garcia, 2008) y plantas silvestres en Turquía (Güneş et al., 2018; Kayabaş et al., 2018). La conservación de la biodiversidad incluye bancos de semillas, material vegetativo, y el entendimiento de cómo crecer y cultivar a estas especies (Learning from the Past, 2016).

El guaje rojo podría considerarse como un alimento tradicional y como un recurso fitogenético que pudiera tener diferentes significados en la percepción de los consumidores de San Felipe Otlaltepec, por lo que los objetivos de esta investigación fueron: a) aplicar de la psicología social un método de la mercadotecnia para determinar las rutas de influencias directa e indirecta de los valores humanos en la frecuencia de consumo del guaje rojo, en una muestra de personas originarias de esa comunidad; b) identificar las comunalidades de los diferentes significados que los consumidores le otorgan al guaje rojo.

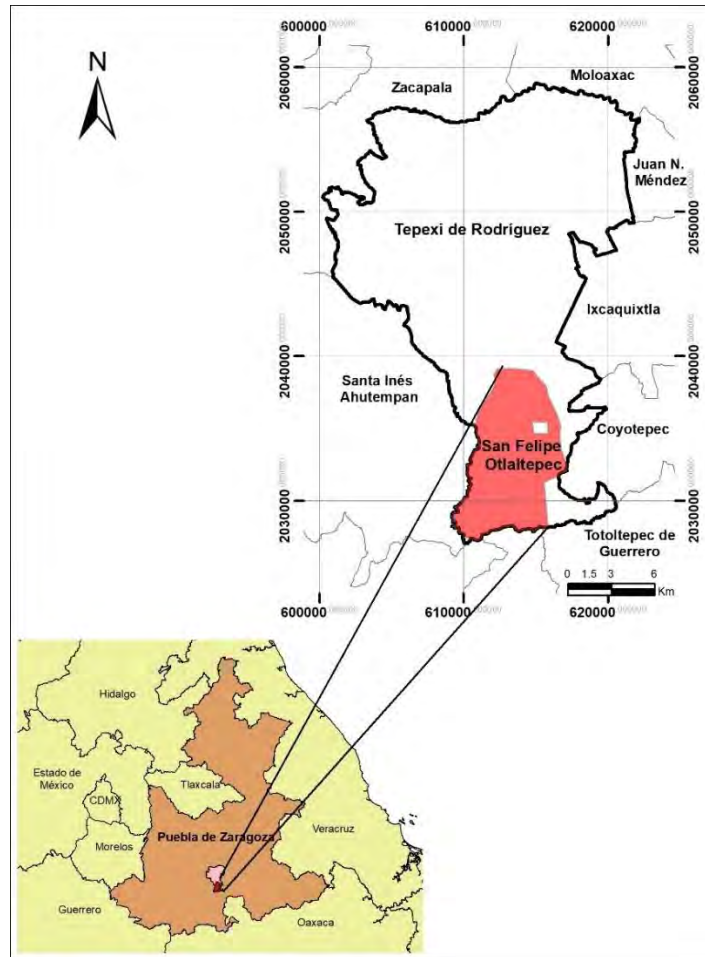
Las hipótesis establecidas en esta investigación fueron: a) los valores humanos de los consumidores ejercen una influencia directa en el consumo de guaje rojo; b) los significados psicológicos que le otorgan los consumidores al guaje rojo son mayormente del tipo simbólico.

## **3.2 Materiales y métodos**

### **3.2.1 Área de estudio**

La investigación se realizó en la comunidad indígena ngiwa de San Felipe Otlaltepec, perteneciente al municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México (Figura 1), esta comunidad presenta un índice de marginación del 21.47 %, que corresponde a un grado de marginación bajo (CONAPO, 2020). San Felipe Otlaltepec tiene una población de 1980 habitantes, del cual el 50.51 % corresponde al sexo femenino y 49.49 % al masculino. El porcentaje de la población analfabeta de 15 años y más, es de 12.02 % y la población de 3 años

y más, que habla alguna lengua indígena es de 688 (34.74 %). San Felipe Otlaltepec cuenta con una superficie total de 7,120.37 hectáreas, la topografía es muy accidentada, con pendientes muy marcadas; la litología se caracteriza por rocas calizas. El clima predominante en esta zona es del tipo (A)C(w<sub>0</sub>), semicálido, con temperatura media anual de 22 °C y altitud de 1844 msnm. Coordenadas: 18° 24' 04.288" latitud Norte y 97° 54' 28.20" longitud Oeste (INEGI, 2020).



**Figura 1.** San Felipe Otlaltepec, Tepexi de Rodríguez, Puebla.  
Fuente: Elaboración propia con información de (INEGI, 2020)

### 3.2.2 Material vegetal

Para identificar la especie estudiada, se herborizaron tres ejemplares de *Leucaena* spp., colectadas en la comunidad de San Felipe Otlaltepec, municipio Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. La identificación botánica la realizó la M.C.

Ernestina Cedillo Portugal, del área de Biología del Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Los ejemplares herborizados fueron depositados en el herbario hortorio Jorge Espinosa Salas (JES) con número de registro 26061, haciendo uso de claves dicotómicas se determinó que el ejemplar corresponde a *Leucaena esculenta* (DC) Benth (Figura 2).



**Figura 2.** *Leucaena esculenta* (DC) Benth

### **Muestreo**

Se empleó una muestra de 200 personas de San Felipe Otlaltepec, los criterios de selección consideraron que todos fueran nativos de San Felipe Otlaltepec, mayores de 40 años, consumidores de guaje rojo, e igual número de hombres y mujeres. Debido a que no se contaba con un censo de todos los pobladores nativos y además era de interés encuestar a personas mayores de 40 años, el método de muestreo aplicado fue de bola de nieve, por el alto sesgo se considera un método no probabilístico (Heckathorn, 2011), por lo que no se pueden realizar inferencias de la población. Inicialmente se identificaron a dos contactos nativos que cumplían con los criterios de selección y disposición a colaborar en la encuesta, estas personas a su vez recomendaron a otras personas que cumplían con los requisitos de la muestra y mostraban disposición a participar, esto se fue repitiendo hasta alcanzar el tamaño de muestra planeado.

### **3.2.3 Encuesta**

La encuesta incluyó cuatro secciones. En la primera sección del cuestionario se proporcionó a los encuestados una lista de 40 valores humanos con sus definiciones (Cuadro 1), con la finalidad de facilitarles su comprensión, también se entregó un formato con los 40 valores y sus respectivas escalas Likert de nueve puntos y se les pidió calificar a cada uno de ellos según la importancia que estos tuvieran como “un principio rector de su vida”. Los 40 valores humanos empleados en este estudio comprenden los 36 ítems de la Encuesta de Valores de Rokeach (1973), con los dominios de valores señalados en la Encuesta de Valores de Schwartz (Schwartz, 1994), más otros cuatro valores humanos: justicia, equidad, poder social y autodeterminación. La Encuesta de Valores de Schwartz es aplicable a diferentes culturas y sus dominios tienen un fuerte fundamento empírico y teórico (Allen, 2001).

En la segunda sección, a los encuestados se les pidió calificar con escalas Likert de 10 puntos la importancia de cada uno de los atributos tangibles de los guajes rojos (manchas en la vaina y tamaño de la semilla en la vaina) para decidir su consumo. Los atributos tangibles del guaje fueron generados por un grupo focal, formado por 10 personas (cinco hombres y cinco mujeres) nativas de San Felipe Otlaltepec, consumidoras de guaje rojo y que además tenían experiencia en su comercialización; se reunieron por una hora en tres ocasiones y no participaron posteriormente en la encuesta. En la tercera sección se preguntó al encuestado sobre su consumo de guaje rojo, expresado en kilogramos por persona al año, el guaje en vaina se comercializa al menudeo por unidad de manojo, pero al mayoreo se comercializan en kilogramos. En la última sección se presentó a las personas un cuestionario de preguntas abiertas y una fotografía de vainas de guaje rojo; y se les pidió mencionar tres ideas o palabras que la imagen les evocara (Lo Monaco & Bonetto, 2019). Un equipo de cinco personas universitarias, con entrenamiento en el procedimiento de diagramas de afinidad, agrupó las palabras y a cada grupo formado les asignó un nombre (categoría) por consenso, cada categoría estuvo formada por al menos dos palabras (Elliott, 1994).

**Cuadro 1.** Valores motivaciones, valores humanos y sus significados empleados en la encuesta a consumidores de guaje rojo.

Valores motivacionales	Valores humanos	Definición
Auto-dirección	Auto determinación	Habilidad para determinar su propio destino
Auto-dirección	Auto respeto	Autoestima
Auto-dirección	Imaginativo	Atrevido, creativo
Auto-dirección	Independiente	Auto confiable, auto suficiente
Auto-dirección	Libertad	Independencia, selección libre
Benevolencia	Amistad verdadera	Compañerismo cercano
Benevolencia	Amor maduro	Intimidad espiritual y sexual
Benevolencia	Cariñoso	Afectivo, tierno
Benevolencia	Honesto	Sincero, creíble
Benevolencia	Indulgencia	Deseo de perdonar a otros
Benevolencia	Responsable	Digno de confianza, confiable
Benevolencia	Salvación	Salvado, vida eterna
Benevolencia	Útil	Trabajar por el bienestar de otros
Conformidad	Auto controlado	Refrenado, auto disciplinado
Conformidad	Educado	Cortes, buena manera
Universalismo	Equidad	Cada persona es gratificada de acuerdo con cuánto haya realizado
Conformidad	Obediente	Con obligaciones, respetable
Estimulación	Una vida excitante	Una vida estimulante, vida activa
Estimulación	Valiente	De pie por tus convicciones
Hedonismo	Alegre	Poco serio
Hedonismo	Felicidad	Sentirse contento
Hedonismo	Placentero	Agradable, vida relajada
Hedonismo	Una vida confortable	Una vida próspera
Logro	Ambicioso	Trabajar duro, aspirar
Logro	Capaz	Competente, efectivo
Logro	Intelectual	Inteligente, reflexivo
Logro	Lógico	Consistente, racional
Logro	Un sentido de logro	Contribución duradera
Poder	Poder social	Posición de autoridad e importancia
Poder	Reconocimiento social	Respeto, admiración
Seguridad	Limpio	Ordenado, pulcro
Seguridad	Seguridad familiar	Tomar cuidado de los seres queridos
Seguridad	Seguridad nacional	Protección de ataque
Tradición	Respeto por la tradición	Compromiso y aceptación de las costumbres
Universalismo	Armonía interior	Libre de conflictos internos
Universalismo	Igualdad	Comunidad, oportunidad igual para todos
Universalismo	Justicia social	Rectitud, no discriminación
Universalismo	Mente amplia	Mente abierta

Universalismo	Sabiduría	Un entendimiento maduro de la vida
Universalismo	Un mundo de paz	Libre de guerras y conflictos

Fuente: Schwartz (2012).

### 3.3 Análisis estadístico

#### 3.3.1 Rutas de influencia de los valores humanos en el consumo de guaje rojo

El procedimiento estadístico para identificar las rutas de influencias fue un análisis factorial exploratorio sin rotación, empleando el método de componentes principales (Hernández-Montes, 2020), tanto en los valores humanos ( $Z_{VH}$ ) como en los atributos tangibles ( $Z_{AT}$ ) del guaje, para reducir el número de variables. Los factores seleccionados fueron aquellos que mostraron valores propios  $\geq 1$  y a sus vectores característicos o latentes se les aplicó una prueba de normalidad de Kolmogorov–Smirnov (Razali & Wah, 2011) .

El modelo matricial del análisis factorial (AF), se expresa como:

$$x = \Lambda f + \eta$$

Donde:

$\Lambda f$  = factores comunes

$\eta$  = factores específicos y  $X$

No existe autocorrelación de los residuales, ni de estos con los factores.

Los residuales son específicos para cada variable respuesta ( $x_i$ )

En el análisis factorial la varianza de cada variable observada puede dividirse en dos partes: la varianza específica y la varianza compartida (Johnson, 2000).

Las nuevas variables generadas por el AF consideradas para generar al modelo de regresión lineal múltiple (MRLM):

$$Z_{AT} = w_i F1_{AT} + w_i F2_{AT} + \eta$$

$$Z_{VH} = w_i F1_{VH} + w_i F2_{VH} + w_i F3_{VH} + \dots + w_i F7_{VH} + \eta$$

Donde:

$w_i$  = score;  $F1_{AT}$  = Factor 1 de los atributos tangibles;  $F1_{VH}$  = Factor 1 de los valores humanos;  $\eta$  = factores específicos.

Posteriormente, se construyeron modelos de regresión lineal múltiple:

Modelo 1, se usaron los factores seleccionados de los atributos tangibles ( $F_{AT}$ ), como variables explicativas y el consumo ( $Q$ ) como variable respuesta:

$$Q = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i F_{i(AT)} + e$$

Modelo 2, se consideraron como variables explicativas a los factores seleccionados de los valores humanos ( $F_{VH}$ ) y a los residuales de los atributos tangibles ( $F_{ATresiduales}$ ) y el consumo ( $Q$ ) como variable respuesta:

$$Q = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i F_{i(VH)} + \beta_{p+1} F_{ATresiduales} + e$$

Modelo 3, se emplearon los factores seleccionados de los valores humanos ( $F_{VH}$ ) (variables explicativas) y el consumo ( $Q$ ) como variable respuesta:

$$Q = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i F_{i(VH)} + e$$

Los tres modelos se ajustaron mediante el método Stepwise con un  $\alpha = 0.1$ , tanto para incluir como para excluir a las variables explicativas, con el programa XLSTAT versión 2023.1.1 (Addinsoft, Nueva York, USA.) (Cuéllar-Mandujano et al., 2022) y se obtuvieron los análisis de varianza y los coeficientes de correlación ( $R$ ) de cada una de las regresiones múltiples (Torres-Salas & Hernández-Montes, 2021).

De acuerdo con (Allen, 2001) la influencia directa de los valores humanos sobre el consumo de guaje rojo, utilizando como mediadores a los atributos tangibles, se obtuvo con el cambio en  $R$  ( $\Delta R$ ):

$$\Delta R = R_{\text{Modelo2}} - R_{\text{Modelo1}}$$

La significancia del  $\Delta R$  se evalúa aplicando la transformación Z de Fisher (Chalmer, 1986) a los coeficientes de regresión y se prueba la  $H_0: \Delta R = 0$  mediante la distribución Z.

La influencia indirecta (II) se define como (Allen, 2001):

$$II = R_{\text{Modelo3}} - \Delta R$$

### **3.3.2 Significados psicológicos simbólicos y utilitarios para los consumidores de guaje rojo**

En el análisis de los significados se elaboraron tablas de frecuencias para las palabras que formaron cada una de las categorías. La frecuencia de palabras de las categorías fue analizada utilizando la prueba de k proporciones, considerada como una metodología libre de palabras para la conceptualización, tomando en cuenta el total de las frecuencias y el tamaño de la muestra para obtener la proporción (Álvarez-Hernández et al., 2012; Marascuilo & McSweeney, 1967) y la comparación de estas se llevó a cabo empleando el procedimiento de Marascuilo, para ambas pruebas se empleó un  $\alpha = 0.05$ . Una prueba de bondad de ajuste, Chi-cuadrada, que analiza si las variables son independientes o están asociadas (Flores Tapia & Flores Cevallos, 2023; Read & Cressie, 1988) se aplicó para comparar las proporciones de las diversas categorías de significados otorgados por las mujeres, con respecto a las frecuencias observadas en las categorías de los hombres. El procedimiento gráfico de la rueda de comunalidades de significados se usó para representar las comunalidades de los significados. Los datos fueron analizados empleando el programa XLSTAT versión 2023.1.1 Addinsoft, USA (Torres-Salas et al., 2020).

## **3.4 Resultados**

### **3.4.1 Influencia directa e indirecta de los valores humanos en el consumo de guaje rojo**

El análisis factorial de los atributos tangibles arrojaron tres factores con valores propios mayores o iguales a uno, los cuales explicaron el 66.52 % del total de la variabilidad de los datos. En el análisis factorial de los valores humanos se

identificaron siete factores con valores propios mayores o iguales a uno, que explicaron el 67.65 % de la variabilidad.

Todos los vectores característicos de los factores empleados en las regresiones presentaron distribución normal ( $p > 0.05$ ). Los resultados de las tres regresiones lineales múltiples se presentan en el Cuadro 2. El Modelo 1 estimado de los atributos tangibles (manchas en vaina y tamaño de semilla) fue significativo ( $p < 0.0001$ ), con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.024$ , grados de libertad  $DF = 198$ , valor- $p = 0.028$  y solo un factor resultó significativo en la regresión lineal múltiple (Cuadro 3). El coeficiente de correlación del modelo  $R_{\text{Modelo1}} = 0.155$ .

$$\hat{Q} = 3.792 + 0.156 * FT1$$

El Modelo 2 estimado, debería incluir como variables explicativas a los residuales de los atributos tangibles y a los siete factores de los valores humanos; sin embargo, no existieron residuales de los atributos tangibles, sólo el FVH3 y el FVH6 permanecieron en el Modelo 2, que fue significativo ( $p = 0.0001$ ), con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.042$ , grados de libertad  $DF = 196$ , valor- $p = 0.015$  y, con un coeficiente de correlación múltiple  $R_{\text{Modelo2}} = 0.204$ .

$$\hat{Q} = 4.472 + 0.598 * FVH3 + 0.618 * FVH6$$

El cambio en R ( $\Delta R = R_{\text{Modelo2}} - R_{\text{Modelo1}}$ ) es la influencia directa de los valores humanos en el consumo de guaje, este valor fue de 0.049; y no resultó significativo ( $p = 0.215$ ). Con un valor de Z de Fisher = 0.789.

**Cuadro 2.** Resultados de las regresiones de la importancia de los atributos tangibles y valores humanos para los consumidores de guaje rojo.

	Fuente	Valor Coeficiente (B)	Error estándar	T	Pr >  t
Regresión de los factores	Intersección	3.792	0.458	8.275	< 0.0001
de atributos tangibles y el	FT1 <sup>z</sup>	0.156	0.07	2.219	0.028
consumo de guaje.	FT2	0.000	0.000		

	FT3	0.000	0.000		
Ecuación de regresión					
(R <sub>modelo1</sub> )		$\hat{Q} = 3.792 + 0.156 * FT1$			
Regresión de los factores de los residuales de los atributos tangibles, más los factores de los valores humanos y el consumo de guaje	Intersección	4.472	0.339	13.191	< 0.0001
	FVH1 <sup>y</sup>	0.000	0.000		
	FVH2	0.000	0.000		
	FVH3	0.598	0.271	2.210	0.028
	FVH4	0.000	0.000		
	FVH5	0.000	0.000		
	FVH6	0.618	0.321	1.923	0.056
	FVH7	0.000	0.000		
Ecuación de regresión					
(R <sub>modelo2</sub> )		$\hat{Q} = 4.472 + 0.598 * FVH3 + 0.618 * FVH6$			
Regresión de los factores de los valores humanos y el consumo	Intersección	4.472	0.339	13.191	< 0.0001
	FVH1	0.000	0.000		
	FVH2	0.000	0.000		
	FVH3	0.598	0.271	2.210	0.028
	FVH4	0.000	0.000		
	FVH5	0.000	0.000		
	FVH6	0.618	0.321	1.923	0.056
	FVH7	0.000	0.000		
Ecuación de regresión					
(R <sub>modelo3</sub> )		$\hat{Q} = 4.472 + 0.598 * FVH3 + 0.618 * FVH6$			

<sup>z</sup> FT: Factores de atributos tangibles

<sup>y</sup> FVH: Factores de los valores humanos

El Modelo 3 estimado, incorporó solamente los factores de los valores humanos FVH3 y FVH6 con el consumo como variable respuesta. El modelo de regresión

múltiple resultó significativo ( $p < 0.05$ ), con un coeficiente de correlación múltiple  $R_{\text{Modelo3}} = 0.204$ .

$$\hat{Q} = 4.472 + 0.598 * FVH3 + 0.618 * FVH6$$

En la ruta indirecta los consumidores del guaje rojo consideran importante el significado utilitario, es decir a atributos tangibles tales como la presencia de manchas en la vaina y el tamaño de las semillas (Cuadro 4). La ruta indirecta usa los coeficientes de correlación múltiple de los tres modelos de ( $R_{\text{Modelo3}} - \Delta R$ ). El valor de la ruta indirecta es de 0.155, mayor al de la ruta directa.

**Cuadro 3.** Ruta de influencia directa de los valores humanos sobre el consumo de guaje rojo.

Modelo 1			Modelo 2			
Factores de los atributos tangibles			Factores de los valores humanos + factores de residuales tangibles			
Factores Introducidos	Coeficientes ( $\beta$ )	R múltiple	Factores Introducidos	Coeficientes ( $\beta$ )	R múltiple	Cambio en R
Intersección	3.79	0.155	Intersección	4.472	0.204	0.049
FT1 <sup>z</sup>	0.156	F = 4.922	FVH3 <sup>y</sup>	0.598	F = 4.290	z = 0.789
(Manchas en la vaina)		gl = 1, 199 $p = 0.028$	FVH6	0.618	gl = 1, 199 $p = 0.015$	$p = 0.215$

<sup>z</sup> FT: Factores de atributos tangibles

<sup>y</sup> FVH: Factores de los valores humanos

Ecuación de regresión ( $R_{\text{modelo1}}$ )  $\hat{Q} = 3.792 + 0.156 * FT1$

Ecuación de regresión ( $R_{\text{modelo2}}$ )  $\hat{Q} = 4.472 + 0.598 * FVH3 + 0.618 * FVH6$

**Cuadro 4.** Ruta de influencia indirecta de los valores humanos sobre el consumo de guaje rojo.

Modelo 3			
Factores de valores humanos	Coefficientes ( $\beta$ )	R múltiple	Ruta indirecta
FVH3 <sup>z</sup>	0.598	0.204	0.155
		F = 4.290	
FVH6	0.618	gl = 1,199	
		p = 0.015	

<sup>z</sup>FVH: Factores de los valores humanos

Ruta indirecta: coeficiente de correlación (R) de solo valores humanos menos cambio de R

Ecuación de regresión ( $R_{\text{modelo3}}$ )  $\hat{Q} = 4.472 + 0.598 * FVH3 + 0.618 * FVH6$

### 3.4.2 Significados psicológicos simbólicos y utilitarios para los consumidores de guaje rojo

Las diferentes categorías de significados otorgados al guaje rojo se muestran en el Cuadro 5. De las 13 categorías, las primeras cinco corresponden a significados psicológicos simbólicos (hedonismo, identidad, añoranza familiar, tradición y emoción); las ocho categorías restantes corresponden a gastronomía, economía, trabajo del campo, consumo, atributos de sabor, atributo de apariencia, salud y conservación, y pertenecen a los significados psicológicos utilitarios.

**Cuadro 5.** Categorías de palabras mencionadas por los consumidores de San Felipe Otlaltepec, al ver una imagen de guaje rojo.

Categorías	Descripción	Palabras asociadas
Hedonismo	Búsqueda del placer sensorial.	Muy bonito, auténtico, bendición, gusto, regalo, alimento exquisito, delicioso.
Identidad	Reconocimiento del lugar de origen.	San Felipe Otlaltepec, mi pueblo, identidad, región popoloca, nuestras raíces.
Añoranza familiar	Nostalgia o ausencia de algo querido.	Recuerdos, hijos, esperanza para comer, familia.

Tradición	Costumbres transmitidas a través de generaciones.	Tradición, tradición gastronómica, costumbre
Emoción	Alteración momentánea del ánimo.	Alegría, nostalgia, felicidad.
Gastronomía	Conjunto de platillos y usos culinarios.	Guaxmole, salsa de guaje, gastronomía típica, comida, platillos por hacer, diversos guisos.
Economía	Satisfacción de necesidades humanas materiales.	Dinero, venderlos, ingreso económico, economía del pueblo, comprarlos
Trabajo del campo	Labores agronómicas.	Seleccionar las semillas para sembrar, cuidados del árbol de guaje, identificar árboles buenos, temporada de guajes, calidad del guaje en cosecha, cortar guajes, campo, terreno, trabajos de campo, clima cálido, naturaleza.
Consumo	Exigencia alimentaria.	Consumirlos como semilla seca, consumo familiar, comerlos asados, comerlos, comida
Atributos de sabor	Aroma, gusto y sensaciones químicas presentes en un alimento.	Picosito, fuerte, sabor especial del guaje.
Atributos de apariencia	Tamaño, color, superficie y movimiento.	Color rojo.
Salud	Condición de una persona que goza bienestar físico, mental y social.	Nutritivo, alimento saludable.
Conservación	Seleccionar semillas en campo para garantizar y mejorar la producción futura.	Selección de guajes, guardar semillas.

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas a consumidores de guaje rojo.

La Figura 3 muestra que los significados psicológicos utilitarios (70.7 %) fueron significativamente ( $p < 0.0001$ ) mayores que los significados psicológicos simbólicos (29.3 %). Las mayores comunalidades de los significados psicológicos utilitarios correspondieron a gastronomía (29.45 %) y a economía (22.75 %). Las menores comunalidades de los significados fueron trabajo de campo, consumo,

atributos de sabor, atributos de apariencia, salud y conservación. Para el caso de los significados psicológicos simbólicos las mayores comunales fueron hedonismo (11.47 %) e identidad (9.18 %) y las de menor porcentaje fueron añoranza familiar (4.78 %), tradición (2.29 %) y emoción (1.53%).



**Figura 3.** Porcentajes de las comunales de categorías de significados del guaje rojo y sus aportaciones a los significados psicológicos. a,b,c, Porcentajes de comunales de significados con diferentes letras son estadísticamente diferentes.  $X^2 = 21.026$ ,  $p < 0.0001$  y un  $\alpha = 0.05$ .

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas a consumidores de guaje rojo.

Las comunales de significados, dentro de cada sexo, resultaron significativas ( $p < 0.0001$ ). Tanto para hombres, como para mujeres, las categorías de significados de gastronomía y economía presentaron los mayores porcentajes de comunales (Cuadro 6), esto es igual con las comunales de la muestra

total de consumidores (Figura 3). Para el caso de las mujeres, las categorías con mayor comunalidad después de gastronomía y economía fueron hedonismo, identidad, añoranza familiar, atributos de sabor, atributos de apariencia y emoción. Las categorías trabajo de campo, hedonismo, identidad, consumo, tradición y atributos de apariencia, fueron las de mayor porcentaje de comunalidad para el sexo masculino. Las frecuencias observadas en las categorías de significados de los hombres fueron significativamente diferentes ( $p < 0.0001$ ) a las proporciones de las diversas categorías otorgadas por las mujeres.

**Cuadro 6.** Comunalidades de categorías de significados por sexo para los consumidores de guajes de San Felipe Otlaltepec, Puebla.

Categoría	Mujer (%) <sup>z</sup> <sub>x</sub>	Hombre (%) <sub>y</sub>
Conservación	0.76a	1.54ab
Tradicición	1.9ab	2.69ab
Emoción	2.28ab	0.77a
Consumo	1.90ab	4.23ab
Salud	1.90ab	1.15ab
Atributos de apariencia	2.28ab	2.69ab
Atributos de sabor	3.04abc	1.92ab
Trabajo del campo	5.70abc	10.0b
Identidad	10.65bcd	7.69ab
Hedonismo	13.31cde	9.62b
Gastronomía	29.28e	29.62c
Economía	19.39de	26.15c
Añoranza familiar	7.60abcd	1.92ab

<sup>z</sup>a,b,c,d,e: Porcentajes con letras diferentes dentro de las columnas indican diferencia significativa entre categorías ( $p < 0.05$ ).

x, y: Porcentajes con letras diferentes entre sexos indican diferencia significativa en los diversos porcentajes de las categorías de mujeres con respecto a la de los hombres ( $p < 0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia con datos de las encuestas a consumidores de guaje.

### 3.5 Discusión

#### 3.5.1 Rutas de influencia de los valores humanos en el consumo de guaje rojo

La ruta de influencia de los valores humanos en el consumo de guajes fue de tipo indirecta, indicando que en su consumo las personas valoran únicamente los atributos tangibles del guaje, en esta ruta, los consumidores pueden emitir un

juicio fragmentado del producto, atributo por atributo, evaluando su significado utilitario, y los valores humanos pueden influir en la importancia de los atributos tangibles que a su vez influyen en la preferencia del producto, (Allen, 2000). Esta ruta indirecta es contraria a lo reportado en flor de alcañán por (Cuéllar-Mandujano et al., 2022), quienes encontraron una ruta directa altamente significativa. La ruta indirecta implica que los oriundos le dan al guaje rojo una función manifiesta y de utilidad, enfocada al producto, no hay expresión afectiva, más bien es evaluativa, con un razonamiento lógico amplio, las fuentes de beneficio son las cualidades intrínsecas del producto y representa un fin (Allen, 2001).

Debido a la escasa información publicada sobre rutas de influencia de los valores humanos en plantas comestibles, algunas coincidencias de los resultados encontrados con otro tipo de productos serán comentados. La ruta indirecta encontrada en esta investigación coincide con los resultados reportados para el caso de consumidores de autos compactos Toyota Corolla (Allen, 2001) y consumidores del queso Chapingo (Hernández-Montes, 2020), queso añejo de Zacazonapan (Torres-Salas & Hernández-Montes, 2021) y queso Bola de Ocosingo (Illescas-Marín et al., 2019); lo contrario fue reportado para consumidores de carne roja en Brasil, quienes presentaron una influencia directa (Allen & Torres, 2006). En los consumidores de guaje rojo se identificaron los valores de logro, hedonismo, universalismo, benevolencia y conformidad; que representa una coincidencia del 75 % de los valores reportados por (Lehto et al., 2023), en un estudio sobre la influencia de los 10 valores motivacionales de Schwartz en el consumo de cárnicos y lácteos, comparados con sus productos alternativos basados en plantas. Además, no encontraron diferencia en la frecuencia de consumo; sin embargo, encontraron un perfil de valores de consumidores al que llamaron “universalistas modernos” quienes mostraron un menor consumo de carne roja y se caracterizaron por apreciar a los valores motivacionales de benevolencia, universalismo, autodirección y hedonismo. De acuerdo con el modelo de actitud multi-atributos, las actitudes que los consumidores desarrollan sobre un producto, están basadas en varios atributos

de éste, nuestras creencias (valores) acerca de esos atributos y las importancias relativas que les asignan (Niosi, 2021). De acuerdo con Schwartz (2012) los consumidores pueden presentar similitud en sus valores motivacionales, como en el caso de los consumidores de guaje rojo, estos muestran una actitud hacia el éxito personal, placer y gratificación para sí mismos, pero también consideran el bienestar de las personas, a partir de la tolerancia y protección; restringiendo las acciones que puedan dañar las normas sociales y la convivencia. Es importante señalar que en esa comunidad la comercialización del guaje y su consumo son actividades cotidianas importantes.

### **3.5.2 Significados para los consumidores de guaje rojo**

Los consumidores (hombres y mujeres) de guaje rojo de San Felipe Otlaltepec, identificaron 13 categorías de significados psicológicos a partir de palabras o ideas mencionadas por los mismos. Las comunalidades de significados psicológicos utilitarios del 70.7 % coincide con la identificación de una ruta indirecta para el guaje rojo y es opuesto a lo publicado por Cuéllar-Mandujano et al. (2022) en flor de alcatraz, para la que reportó una ruta directa de influencia de los valores humanos y una comunalidad de significados psicológicos simbólicos del 81.3%. Lo Monaco & Bonetto (2019) reportaron que tales conceptualizaciones corresponden a representaciones sociales definidas como conjuntos de ideas, opiniones, conocimientos y creencias, compartidas por un grupo social acerca de objetos específicos. Durand (2008) considera a las percepciones como procesos sociales de asignación de significados a los elementos del entorno natural y a sus cursos de transformación y/o deterioro. Por otro lado, Martínez y Manzano-García (2016) revelaron la coexistencia de estilos perceptuales asociados con diferentes perfiles de actores sociales, en las percepciones vinculadas con problemáticas ambientales, y con la importancia y conservación de especies.

Aplicando el método de asociación libre de palabras en flores comestibles de Brasil, Alves et al. (2021) reportaron la asociación de actitudes y sentimientos positivos de palabras como ambiente y compra de nuevos alimentos, para rosas e hibiscos. Por otro lado, Allen et al. (2008) mencionan que la relación entre la

mente, el objeto y la palabra crean significados, que se distinguen entre utilitarios y simbólicos. Para el caso de los consumidores de guaje rojo, el mayor significado se centra en el aprovechamiento gastronómico y económico del producto, que corresponden a significados psicológicos utilitarios. En concordancia con Torres-Salas et al. (2020) el significado utilitario está ubicado en atributos objetivos y tangibles que las personas perciben a través de sus sentidos y del grado de funcionalidad del producto. Dentro de estos, la categoría que resultó con un porcentaje alto de comunalidad fue la gastronomía (29.45 %), esta corresponde a las costumbres y tradiciones forjadas como un sincretismo culinario que forma parte importante de un alto significado cultural e identidad de los consumidores, por lo que “comer es un acto de sobrevivencia, cocinar es un acto cultural” (Jeannete & Baez, 2016). Dentro de las palabras mencionadas en la categoría gastronomía se encuentran guaxmole, salsa de guaje, gastronomía típica, comida, platillos por hacer y diversos guisos, para este caso los consumidores de guaje rojo asociaron sus palabras con los alimentos, que de acuerdo con Blackburn et al. (2018) incluyen temas relacionados con las recetas y enfoques sensoriales. Los consumidores le dan importancia a la gastronomía, a tal grado de definir al guaje rojo como un ingrediente principal para la elaboración de diferentes comidas que han trascendido de generación en generación, conservando la gastronomía tradicional (Good & Corona, 2011). El hecho de que los consumidores le otorguen un significado gastronómico al guaje rojo implica que éste sigue vivo en su cultura; habrá que evitar que ese hábito culinario envejezca, como ha sido reportado en plantas comestibles del Mediterráneo (Hadjichambis et al., 2008).

El segundo mayor significado para los consumidores de guaje rojo fue economía (27.75 %) y para este caso es importante entender la perspectiva económica de este producto tradicional, que lo vincule con la organización social y los valores culturales, para replantear los patrones de consumo en San Felipe Otlaltepec, principalmente en la elección de alimentos menos procesados, más saludables y orgánicos. Es importante subrayar que las culturas alimentarias y los alimentos tradicionales de México, como el guaje rojo, son patrimonio biocultural (Corona

de la Peña, 2018). El significado con la menor comunalidad fue la conservación (1.15 %), que representa la selección de semillas del guaje rojo en campo, para garantizar y mejorar su producción futura; esta actividad ha sido definida como colecciones vivas de la biodiversidad (Learning from the Past, 2016), que implica adicionalmente conservar algo intangible; la comprensión de cómo desarrollar y cultivar el guaje, que forma parte de las tradiciones culturales de la comunidad. Blancas et al. (2013) comentan que las plantas comestibles en comunidades del Valle de Tehuacán, México, se manejan de acuerdo con el papel que éstas juegan en la subsistencia de los hogares, remarcando como importante al equilibrio entre la disponibilidad del recurso y su demanda. Las plantas comestibles silvestres son signos de la identidad cultural (Kayabaş et al., 2018) y el significado de identidad (9.18 %) en el guaje rojo fue el segundo que presentó una mayor comunalidad dentro de los significados psicológicos simbólicos.

Existen conceptos compartidos de significados entre los consumidores de guaje rojo de ambos sexos, principalmente en las categorías con mayor comunalidad, gastronomía y economía. Las diferencias en los porcentajes de comunalidades de significados entre ambos sexos y dentro de ellos indican la importancia de las fuentes cognitivas y afectivas relacionadas con las actitudes alimentarias para cada género (Rappoport et al., 1993).

### **3.6 Conclusiones**

La influencia de los valores humanos, de los usuarios de guaje rojo de San Felipe Otlaltepec, sobre la frecuencia de consumo fue de tipo indirecta, los valores humanos mediaron en la importancia de los atributos tangibles, que a su vez influyeron en la preferencia del guaje rojo, congruente con el predominante significado psicológico utilitario; las mayores comunalidades de significados utilitarios correspondieron a gastronomía y economía, y la menor a la conservación del recurso fitogenético. Por lo que, la comunidad ngiwa de San Felipe Otlaltepec conserva dentro de su cultura la tradición de consumir platillos con guaje rojo y éste adicionalmente representa un recurso para la economía de

los hogares; en menor medida los encuestados expresaron un significado de conservación del recurso fitogenético.

Los procedimientos surgidos en la mercadotecnia, para identificar rutas de influencia de los valores humanos en el consumo de productos y sus significados, proporcionaron información sobre las percepciones y diversas interpretaciones que consumidores nativos de San Felipe Otlaltepec asignan al guaje rojo, en el contexto de su cultura.

Finalmente, la información obtenida muestra que, como recurso fitogenético, el guaje rojo en San Felipe Otlaltepec continúa siendo importante en la dieta y economía del hogar, como lo ha sido por cientos de años en algunas comunidades indígenas de México.

### **3.7 Agradecimientos**

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías, por la beca 901824 y a los pobladores de San Felipe Otlaltepec por su participación en la encuesta aplicada.

### **3.8 Literatura citada**

- Acosta-Alcolea, G., Arozarena-Daza, N., Vázquez-Moreno, L. L., & Ramos-Bravo, L. (2015). Perception of social performers in the biodiversity management of the Gran Piedra protected natural landscape in Santiago Cuba. *CIENCIA EN SU PC*, 1, 43–58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181338814004>.
- Allen, M. W. (2000). The attribute-mediation and product meaning approaches to the influences of human values on consumer choices. *Advances in Psychology Research*, 1(January).
- Allen, M. W. (2001). A practical method for uncovering the direct and indirect relationships between human values and consumer purchases. *Journal of Consumer Marketing*, 18(2), 102–120. <https://doi.org/10.1108/07363760110385983>

- Allen, M. W., Gupta, R., & Monnier, A. (2008). The interactive effect of cultural symbols and human values on taste evaluation. *Journal of Consumer Research*, 35(2), 294–308. <https://doi.org/10.1086/590319>
- Allen, M. W., & Torres, C. v. (2006). Food symbolism and consumer choice in brazil (Vol. 1). Association for Consumer Research. <http://www.acrwebsite.org/volumes/1000062/la/v1/LA-01http://www.copyright.com/>.
- Álvarez-Hernández, M., Martín-Andrés, A., Herranz-Tejedor, I., & Femia-Marzo, P. (2012). Modelación matemática de fenómenos del medio ambiente y la salud inferencias asintóticas sobre una combinación lineal de k proporciones. *Modelación Matemática de Fenómenos Del Medio Ambiente y La Salud*, 2, 51–63. [https://rideca.cs.buap.mx/web/files/articulo\\_1oiydevBhA7vgO5.pdf](https://rideca.cs.buap.mx/web/files/articulo_1oiydevBhA7vgO5.pdf)
- Alves, L. C., Sant'Anna, V., Biondo, E., & Hoppe, A. (2021). Consumers' perception of edible flowers using free word association. *Research, Society and Development*, 10(4), e18810414011. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14011>
- Arbit, N., Ruby, M., & Rozin, P. (2017). Development and validation of the meaning of food in life questionnaire (MFLQ): Evidence for a new construct to explain eating behavior. *Food Quality and Preference*, 59, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.02.002>
- Bertoni, M., & López, M. J. (2010). Percepciones sociales ambientales valores y actitudes hacia la conservación de la Reserva de Biosfera “Parque Atlántico Mar Chiquita”-Argentina. *Estudios y Perspectivas En Turismo*, 19, 835–849. <http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/384/1/00937.pdf>
- Blackburn, K. G., Yilmaz, G., & Boyd, R. L. (2018). Food for thought: Exploring how people think and talk about food online. *Appetite*, 123, 390–401. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.01.022>
- Blancas, J., Casas, A., Pérez-Salicrup, D., Caballero, J., & Vega, E. (2013). Ecological and socio-cultural factors influencing plant management in Náhuatl communities of the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of*

- Ethnobiology and Ethnomedicine, 9(1), 39. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-9-39>
- Botonaki, A., & Mattas, K. (2010). Revealing the values behind convenience food consumption. *Appetite*, 55(3), 629–638. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.09.017>
- Casas, A. (1992). Etnobotanica y procesos de domesticacion en *Leucaena esculenta* (Moc. et Sesse ex A.D.C.) Benth [Universidad Nacional Autónoma de México]. [https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/DGB\\_UNAM/TES01000182289/3/0182289.pdf](https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/DGB_UNAM/TES01000182289/3/0182289.pdf)
- Chalmer, B. J. (1986). *Understanding Statistics*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367813161>
- CONABIO. (2011). Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. México. Capítulo 5 (pp. 195–241). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. [https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Biodiversidad\\_en\\_Puebla2.pdf](https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Biodiversidad_en_Puebla2.pdf)
- CONAPO. (2020). Índice de marginación por localidad 2020. [https://datos.gob.mx/busca/dataset/indice-de-marginacion-carencias-poblacionales-por-localidad-municipio-y-entidad/resource/a6d095ec-ba03-4549-ad4a-367a5941dc07?inner\\_span=True](https://datos.gob.mx/busca/dataset/indice-de-marginacion-carencias-poblacionales-por-localidad-municipio-y-entidad/resource/a6d095ec-ba03-4549-ad4a-367a5941dc07?inner_span=True)
- Corona de la Peña, L. E. (2018). Somos lo que comemos. Comida y cultura en México. In M. A. Aguilar, D. M. Vásquez, E. Kartz, & C. M. Hernández (Eds.), *Los chiles que le dan sabor al mundo: contribuciones multidisciplinares* (1st ed., pp. 1–318). Editions. <https://libros.uv.mx/index.php/UV/catalog/view/FC278/1087/1179-1>
- Cuéllar-Mandujano, A. K., Hernández-Montes, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2022). Atributos intangibles en alcatraz blanco (*Zantedeschia aethiopica*(L) K. Spreng): significados psicológicos y estructura de valores humanos para el consumidor. *Nova Scientia*, 14(29), 1–24.

[http://nova\\_scientia.delasalle.edu.mx/ojs/index.php/Nova/article/view/3129/1297](http://nova_scientia.delasalle.edu.mx/ojs/index.php/Nova/article/view/3129/1297)

- de Almeida, S. R., Rimoli, C. A., & Hanania, V. N. W. (2017). Teoría dos valores de Schwartz aplicada a consumidores brasileiros classe C. *Revista de Administração Da UEG*, 8(1), 67–84. [https://www.revista.ueg.br/index.php/revista\\_administracao/article/view/4621](https://www.revista.ueg.br/index.php/revista_administracao/article/view/4621)
- Durand, L. (2008). De las percepciones a las perspectivas ambientales: Una reflexión teórica sobre la antropología y la temática ambiental. *Nueva Antropología*, 21(68), 75–87. <https://ru.crim.unam.mx/handle/123456789/951>
- Elliott, R. (1994). Exploring the symbolic meaning of brands. *british journal of management*, 5(s1), S13–S19. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.1994.tb00126.x>
- Flores Tapia, C. E., & Flores Cevallos, K. L. (2023). Pruebas de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov y Ji-cuadrada aplicadas a la toma de decisiones empresariales. *Yachana Revista Científica*, 12(2). <https://doi.org/10.62325/10.62325/yachana.v12.n2.2023.844>
- Good, E. C., & Corona, P. L. (2011). Comida, cultura y modernidad en México. *MEDIATECA INAH*, 1, 346. [https://www.researchgate.net/publication/311325346\\_Estudiando\\_la\\_comida\\_y\\_la\\_cultura\\_mesoamericana\\_frente\\_a\\_la\\_modernidad](https://www.researchgate.net/publication/311325346_Estudiando_la_comida_y_la_cultura_mesoamericana_frente_a_la_modernidad)
- Guerrero, L., Guàrdia, M. D., Xicola, J., Verbeke, W., Vanhonacker, F., Zakowska-Biemans, S., Sajdakowska, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Contel, M., Scalvedi, M. L., Granli, B. S., & Hersleth, M. (2009). Consumer-driven definition of traditional food products and innovation in traditional foods. A qualitative cross-cultural study. *Appetite*, 52(2), 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.11.008>
- Güneş, S., Savran, A., Yavuz, P. M., & Uğur, Ç. (2018). Survey of wild food plants for human consumption in Karaisalı (Adana-Turkey). *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 17(2), 290–298.

[https://www.academia.edu/71202693/Survey\\_of\\_wild\\_food\\_plants\\_for\\_human\\_consumption\\_in\\_Karaisal%C4%B1\\_Adana\\_Turkey\\_](https://www.academia.edu/71202693/Survey_of_wild_food_plants_for_human_consumption_in_Karaisal%C4%B1_Adana_Turkey_)

Gurel, Atay. E., Khale, L. R., Lengler, B. J., & Kim, C. H. (2019). A comparing and contrasting of the list of values and the schwartz value scale. In Gurel-Atay. E. & Khale. L. R. (Eds.), *Consumer Social Values* (pp. 241–252). Routledge.

[https://www.researchgate.net/publication/333671924\\_A\\_Comparing\\_and\\_Contrasting\\_of\\_the\\_List\\_of\\_Values\\_and\\_the\\_Schwartz\\_Value\\_Scale](https://www.researchgate.net/publication/333671924_A_Comparing_and_Contrasting_of_the_List_of_Values_and_the_Schwartz_Value_Scale)

Hadjichambis, A. CH., Paraskeva-Hadjichambi, D., Della, A., Elena Giusti, M., De Pasquale, C., Lenzarini, C., Corsorii, E., Reyes Gonzales-Tejero, M., Patricia Sanchez-Rojas, C., Ramiro-Gutierrez, J. M., Skoula, M., Johnson, C., Sarpaki, A., Hmamouchi, M., Jorhi, S., El-Demerdash, M., El-Zayat, M., & Pieroni, A. (2008). Wild and semi-domesticated food plant consumption in seven circum-Mediterranean areas. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 59(5), 383–414. <https://doi.org/10.1080/09637480701566495>

Hauser, M., Jonas, K., & Riemann, R. (2011). Measuring salient food attitudes and food-related values. An elaborated, conflicting and interdependent system. *Appetite*, 57(2), 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.05.322>

Hayley, A., Zinkiewicz, L., & Hardiman, K. (2015). Values, attitudes, and frequency of meat consumption. Predicting meat-reduced diet in Australians. *Appetite*, 84, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.10.002>

Heckathorn, D. D. (2011). Comment: Snowball versus Respondent-Driven Sampling. *Sociological Methodology*, 41(1), 355–366. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1111/j.1467-9531.2011.01244.x>

Hernández-Montes. (2018). Propuesta para identificar simbolismo y valores en consumidores de quesos tradicionales mexicanos: caso queso Chapingo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15, 399–412. <https://www.revista-asyd.org/index.php/asyd/article/view/853/241>

- Hernández-Montes, A. (2020). Influencia de valores humanos en la aceptación del queso Chapingo y sus significados intangibles de compra. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 16(4), 497–511. <https://doi.org/10.22231/asyd.v16i4.1283>
- Herrero, C., & Pérez, A. (2014). Values and lifestyles in the adoption of new technologies applying vals scale. Article in *Academy of Marketing Studies Journal*, 18(2), 37–55. <https://www.researchgate.net/publication/287297956>
- Hirschman, E. C. (1986). Humanistic inquiry in marketing research: Philosophy, method, and criteria. *Journal of Marketing Research*, 23(3), 237–249. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/002224378602300304>
- Illescas-Marín, C., Hernández-Montes, A., Estrada-Estrada, E., Murguía-Cozar, R., Espejel-García, A., & Santos-Moreno, A. (2019). Influencia de los valores humanos en el consumo de quesos tradicionales chiapanecos: una comparación de las rutas directa e indirecta. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4). <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4799>
- INEGI. (2020). Censo de población y vivienda. <https://censo2020.mx/>
- Jeannete, P., & Baez, V. (2016). Tradición Cultural Gastronómica de Puebla. <https://www.researchgate.net/publication/304153363>
- Johnson, D. E. (2000). Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. (2000 Thomson, Ed.; 7th ed.). [https://books.google.com.mx/books/about/M%C3%A9todos\\_multivariados\\_aplicados\\_al\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_datos.html?id=4j\\_tAAAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.mx/books/about/M%C3%A9todos_multivariados_aplicados_al_an%C3%A1lisis_de_datos.html?id=4j_tAAAACAAJ&redir_esc=y)
- Kayabaş, N., Tümen, G., & Polat Ridvan. (2018). Wild edible plants and their traditional use in the human nutrition in Manyas (Turkey). Article in *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 17(2), 299–306. <https://www.researchgate.net/publication/323387955>
- Krapovickas, A. (2010). LA DOMESTICACIÓN Y EL ORIGEN DE LA AGRICULTURA 1. In *BONPLANDIA* (Vol. 19, Issue 2).

- Ladhari, R., & Tchetgna, N. M. (2015). The influence of personal values on fair trade consumption. *Journal of Cleaner Production*, 87, 469–477. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.068>
- Learning from the past. (2016). *Nature plants*, 2(4), 16057. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.57>
- Lee, P. Y., Lusk, K., Miroso, M., & Oey, I. (2014). The role of personal values in Chinese consumers' food consumption decisions. A case study of healthy drinks. *Appetite*, 73, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.11.001>
- Lehto, E., Korhonen, K., Muilu, T., & Konttinen, H. (2023). How do values relate to the consumption of meat and dairy products and their plant-based alternatives? *Food Quality and Preference*, 106, 104804. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104804>
- Lindberg, E., Gärling, T., & Montgomery, H. (1989). Belief-value structures as determinants of consumer behaviour: A study of housing preferences and choices. *Journal of Consumer Policy*, 12(2), 119–137. <https://doi.org/10.1007/BF00412067>
- Lo Monaco, G., & Bonetto, E. (2019). Social representations and culture in food studies. *Food Research International*, 115, 474–479. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.10.029>
- Lo Monaco, G., Piermattéo, A., Rateau, P., & Tavani, J. L. (2016). Methods for studying the structure of social representations: A critical review and agenda for future research. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, 47(3), 306–331. <https://doi.org/10.1111/jtsb.12124>
- Marascuilo, L. A., & McSweeney, M. (1967). Nonparametric post hoc comparisons for trend. *Psychological Bulletin*, 67(6), 401–412. <https://doi.org/10.1037/h0020421>
- Martínez, G. J., & Manzano-García, J. (2016). Estilos de percepción de la biodiversidad y su conservación en actores sociales de áreas protegidas de Córdoba. *Revista Del Museo de Antropología*, 9(2), 135–152. <https://doi.org/10.31048/1852.4826.v9.n2.14169>

- Mastretta-Yanes, Alicia., R. Bellon, M., Acevedo, F., Burgeff, C., Piñero, D., & Sarukhán, J. (2019). Un programa para México de conservación y uso de la diversidad genética de las plantas domesticadas y sus parientes silvestres. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 321–334. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/42-4/1a.pdf>
- Niosi, A. (2021). Introduction to consumer behaviour. In *Introduction to consumer behaviour* (BC Open, p. 365). <https://opentextbc.ca/introconsumerbehaviour/>
- Oliveira, F. G. B. de. (2016). Consumer behavior: the factors of influence. *Multidisciplinary core scientific journal of knowledge. Multidisciplinary Core Scientific Journal of Knowledge*, 9, 613–630. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/kalins-pdf/singles/consumer-behavior.pdf>
- Páramo, D. (2011). Mundos simbólicos. *Pensamiento & Gestión*, 31, VII–X. <https://www.redalyc.org/pdf/646/64620759001.pdf>
- Peralta-Juárez, I., Gómez-Campos, A., Romero-Castillo, P. A., & Reyes-Dorantes, A. (2017). Uso antropocéntrico del guaje *Leucaena esculenta* (Moc. y Sessé Ex. DC.) Benth, en dos comunidades de la mixteca baja oaxaqueña. *Polibotánica*, 0(43). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.15>
- POWO. (2024). Plants of the world online. Facilitated by the royal botanic gardens, kew. Retrieved April 29, 2024, from <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:502717-1>
- Rangel-Landa, S., Casas, A., García-Frapolli, E., & Lira, R. (2017). Sociocultural and ecological factors influencing management of edible and non-edible plants: the case of Ixcatlán, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s13002-017-0185-4>
- Rappoport, L., Peters, G. R., Downey, R., McCann, T., & Huff-Corzine, L. (1993). Gender and age differences in food cognition. *Appetite*, 20(1), 33–52. <https://doi.org/10.1006/appe.1993.1004>
- Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. In *Journal of*

- Statistical Modeling and Analytics (Vol. 2).  
<https://www.nrc.gov/docs/ML1714/ML17143A100.pdf>
- Read, T. R. C., & Cressie, N. A. C. (1988). Goodness - of - fit statistics for discrete multivariate data. In Springer Serie in Statistics.  
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4612-4578-0>
- Rokeach M. (1973). The nature of human values. Free Press.  
<https://doi.org/10.2307/1959882>
- Román-Cortés, N., Del Rosario García-Mateos, M., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, A. (2014). Nutritional components and antioxidants of two species of guaje (*Leucaena spp.*): An underutilized traditional resource. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 20(2), 157–170. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.07.023>
- Sánchez-Hurtado, J. C. (2014). Caracterización bromatológica y determinación de factores tóxicos naturales de partes comestibles de guaje rojo (*Leucaena esculenta* subsp. *esculenta*) [Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/197568>
- Sánchez-Vega, L. P., Espinoza-Ortega, A., Thomé-Ortiz, H., & Moctezuma-Pérez, S. (2021). Perception of traditional foods in societies in transition: The maize tortilla in Mexico. *Journal of Sensory Studies*, 36(2). <https://doi.org/10.1111/joss.12635>
- Sansanelli, S., Ferri, M., Salinitro, M., & Tassoni, A. (2017). Ethnobotanical survey of wild food plants traditionally collected and consumed in the Middle Agri Valley (Basilicata region, southern Italy). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s13002-017-0177-4>
- Sansanelli, S., & Tassoni, A. (2014). Wild food plants traditionally consumed in the area of Bologna (Emilia Romagna region, Italy). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10(1), 69. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-69>
- Schwartz, S. H. (1994). Are there universal aspects in the structure and contents of human values? *Journal of Social Issues*, 50(4), 19–45. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1994.tb01196.x>

- Schwartz, S. H. (2012). An overview of the Schwartz theory of basic values. *Online readings in psychology and culture*, 2(1). <https://doi.org/10.9707/2307-0919.1116>
- SDR. (2007). Cadenas productivas agropecuarias y acuícolas del Estado de Puebla. Secretaría de Desarrollo Rural-Gobierno del Estado de Puebla, Puebla, México. pp. 198-199. <https://www.jimenezmerino.com.mx/libros/CADENASPRODUCTIVASAGROPECUARIASYACUICOLAS.pdf>
- Sharma, R., & Jha, M. (2017). Values influencing sustainable consumption behaviour: Exploring the contextual relationship. *Journal of Business Research*, 76, 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.03.010>
- Thomson, D. M. H., Crocker, C., & Marketo, C. G. (2010). Linking sensory characteristics to emotions: An example using dark chocolate. *Food Quality and Preference*, 21(8), 1117–1125. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.04.011>
- Torres, C. V., & Allen, M. W. (2009). Human values and consumer choice in Australia and Brazil. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 25(4), 489–497. <https://www.scielo.br/j/ptp/a/58MR4XsJKMdsQ7jW4T5Fd8Q/?format=pdf&lang=en>
- Torres, C. V., & Pérez-Nebra, A. R. (2007). The influence of human values on holiday destination choice in Australia and Brazil. *BAR - Brazilian Administration Review*, 4(3), 63–76. <https://doi.org/10.1590/S1807-76922007000300006>
- Torres-Salas, V., & Hernández-Montes, A. (2021). valores humanos en el consumo del queso añejo de Zacazonapan. *Nova Scientia*, 13(26). <https://doi.org/10.21640/ns.v13i26.2826>
- Torres-Salas, V., Hernández-Montes, A., Pablo-Cano, M., Jáuregui-García, C. Z., Peralta-Aparicio, C., & Espejel-García, A. (2020). Communalities of meanings for Mexican traditional cheeses: Zacazonapan cheese, Quesillo and Poro cheese. *Acta Universitaria*, 30, 1–13. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2875>

- Vazquez-Garcia, V. (2008). Gender, ethnicity, and economic status in plant management: Uncultivated edible plants among the Nahuas and Popolucas of Veracruz, Mexico. *Agriculture and Human Values*, 25(1), 65–77. <https://doi.org/10.1007/s10460-007-9093-x>
- Villegas De Gante, A., & Cervantes Escoto, F. (2011). Genuineness and typicity in the revalorization of artisanal Mexican cheeses. *Estudios sociales*, 19(38), 146–164. <https://www.redalyc.org/pdf/417/41719205006.pdf#:~:text=Villegas%20de%20Gante%2C%20Abraham%3B%20Cervantes%20Escoto%2C%20FernandoLa%20genuinidad,de%20Desarrollo%20RegionalHermosillo%2C%20M%C3%A9xico%20C%C3%B3mo%20citar%20el%20art%C3%ADculo>
- Zárate, S. (1997). Domestication of cultivated *Leucaena* (Leguminosae) in Mexico: The sixteenth century documents. *Economic botany*, 50(3), 238–250. <https://www.jstor.org/stable/4255964>
- Zárate, S. (1999). Ethnobotany and domestication process of *Leucaena* in Mexico. *Journal of ethnobiology*, 19(1), 1–23. [https://www.researchgate.net/publication/233730395\\_Ethnobotany\\_and\\_domestication\\_process\\_of\\_Leucaena\\_in\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/233730395_Ethnobotany_and_domestication_process_of_Leucaena_in_Mexico)
- Zárate, S. (2000). The archaeological remains of *Leucaena* (Fabaceae) revised. *Economic botany*, 54(4), 477–499. <https://www.jstor.org/stable/4256361>

## 4 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EXTRACTO PROTEICO DE *Leucaena esculenta* (DC.) BENTH CON PROCESO TERMOALCALINO

**Resumen:** Los granos de la leguminosa de *Leucaena esculenta* (DC) Benth, son ricos en proteínas, minerales, fibra y antioxidantes. El objetivo de este estudio fue evaluar la caracterización fisicoquímica del extracto proteico de *Leucaena esculenta* (DC) Benth con proceso termoalcalino (CPT). Se determinó la concentración de proteína por el método Bradford. Se utilizó la electroforesis SDS-PAGE para identificar las fracciones proteicas; la solubilidad se determinó por el cambio de pH y su digestibilidad *In Vitro* fue evaluada. El equipo FTIR y la determinación de aminoácidos esenciales fueron usados para la harina CPT. El contenido de proteína del extracto CPT fue de 49.82 %. Se observó similitud entre el extracto de proteína CPT y el control sin proceso termoalcalino (SPT) de acuerdo con la electroforesis SDS-PAGE. La solubilidad fue de 62 % al 63 % a pH 5 y el tratamiento CPT presentó el 40.73 % de digestibilidad con relación al contenido inicial de la proteína. Para la harina CPT el FTIR mostró que sobresalen los picos de la Amida I (1700 a 1600  $\text{cm}^{-1}$ ) y la Amida II (1600 a 1500  $\text{cm}^{-1}$ ); los principales aminoácidos esenciales identificados fueron la lisina, leucina y valina. La caracterización fisicoquímica del extracto de la proteína con proceso termoalcalino de *L. esculenta* (DC) Benth es un primer buen inicio para aprovecharlo como fuente de proteína vegetal.

**Palabras claves:** guaje; nixtamalización; proteína; digestibilidad.

---

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.  
Autor: M.C. Guadalupe García Maceda.  
Director de tesis: Arturo Hernández Montes, Ph.D.

**PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISATION OF THE PROTEIN EXTRACT  
OF *Leucaena esculenta* (DC.) BENTH WITH THERMOALKALINE PROCESS**

**Abstract:** *Leucaena esculenta* (DC) Benth legume grains are rich in protein, minerals, fiber and antioxidants. The objective of this study was to evaluate the physicochemical characterization of the protein extract of *Leucaena esculenta* (DC) Benth with thermos alkaline process (CPT). The protein concentration was evaluated by the Bradford method. It was used SDS-PAGE electrophoresis to identify protein fractions; the solubility was determined by the change of pH and its *In Vitro* digestibility was assess. The equipment FTIR and essential amino acid determination were used for CPT flour. The protein content of the CPT extract was 49.82 %. The CPT protein extract and the protein of the control without thermos alkaline process (SPT) was similar according to the SDS-PAGE electrophoresis. The solubility was of 62 % to 63 % at pH 5 and the CPT treatment presented 40.73 % of solubility in relation to the initial protein content. For CPT flour the FTIR showed that peaks of Amide I (1700 to 1600  $\text{cm}^{-1}$ ) and Amide II (1600 to 1500  $\text{cm}^{-1}$ ) stand out; the main essential amino acids identified were lysine, leucine and valine. The physicochemical characterization of the protein of Guaje grains with thermoalkaline process is a good first step to use this vegetable protein.

**Keywords:** guaje; nixtamalization; protein; digestibility

---

Doctoral Thesis in Ciencias Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: M.C. Guadalupe García Maceda.

Advisor: Arturo Hernández Montes, Ph.D.

#### 4.1 Introducción

El aumento de la población a nivel mundial demanda mayor cantidad y calidad de alimentos; se han creado iniciativas que garantizan que las dietas saludables sean asequibles para todas las personas y en particular de las más vulnerables (FAO, 2020). El consumo de alimentos ricos en proteínas va en aumento, y para satisfacer esta demanda se están proponiendo alternativas de obtención y producción de otras fuentes de proteínas, como las vegetales que se caracterizan por su valor nutricional y un alto contenido proteico, lo que sugiere su uso para la nutrición humana (Henchion et al., 2017; Sá et al., 2020). Actualmente se está promoviendo el uso de ingredientes a base de aislados y extractos de proteínas vegetales por razones de sostenibilidad y salud, las más sobresalientes son las leguminosas (Santos-Hernández et al., 2020); por ejemplo, el consumo del extracto y aislados de proteínas vegetales de los granos de la leguminosa Lupin, ayuda a disminuir la obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares (Cabello-Hurtado et al., 2016). Las leguminosas se cultivan en todo el mundo, tienen un impacto socioeconómico en los países semidesarrollados; se caracterizan por beneficiar al medio ambiente porque son fijadoras de nitrógeno en el suelo, tienen bajos costo de producción por sus mínimos requerimientos hídricos y de fertilizantes (Acquah et al., 2020; Brueck & Lammel, 2016). Las leguminosas son ricas en proteínas (20-25 %) con propiedades nutricionales y funcionales (Boukid et al., 2019).

La leguminosa *Leucaena esculenta* (DC) Benth, guaje rojo, representa una alternativa alimenticia para la población de la zona rural de México, principalmente en los estados de Puebla, Oaxaca, Guerrero y Morelos (Peralta-Juárez et al., 2017; Sánchez-Hurtado, 2014). Las semillas secas del guaje rojo tienen proteína 33.27 %, fenoles 5.86 EAG g<sup>-1</sup>, flavonoides 0.46 mg EC g<sup>-1</sup>, capacidad antioxidante por los ensayos DPPH 0.66 mg ET g<sup>-1</sup> y ABTS 28.34 mg ET g<sup>-1</sup> (García-Maceda et al., 2019). Se han realizado algunos trabajos de investigación de la *Leucaena* spp. uno sobre las propiedades funcionales del concentrado de la proteína de *L. leucocephala* obtenido por ultrafiltración

(Finatsiyatull et al., 2016) y otro acerca de la digestibilidad *In Vitro* del aislado de la proteína de *L. leucocephala* (Sethi & Kulkarni, 1994).

El uso de los extractos de las proteínas vegetales nos obliga a evaluar sus propiedades fisicoquímicas, analizar su perfil de aminoácidos y conocer su aprovechamiento en la digestión gastrointestinal (Santos-Hernández et al., 2020). La nixtamalización es un tratamiento termoalcalino que consiste en la cocción de granos de maíz con agua y cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), este tratamiento permite ablandar el pericarpio y el endospermo, facilitando la molienda (Santiago-Ramos et al., 2018). Durante el proceso termoalcalino ocurren cambios en la solubilidad de las proteínas, la cual es considerada como una propiedad funcional importante (Chaidez-Laguna et al., 2016). El proceso termoalcalino ha sido aplicado a otros cereales y leguminosas, como el trigo, la avena, la cebada, el frijol, la chía, entre otros (Santiago-Ramos et al., 2018). Se desarrolló la optimización del proceso termoalcalino para el aprovechamiento de los granos de guajes y se obtuvo una harina (García-Maceda et al., 2019). Se ha llevado a cabo la caracterización del extracto de proteína de la especie *L. leucocephala* sin embargo para la especie *L. esculenta* (DC) Benth la información es escasa. El extracto de la proteína de los granos de *Leucaena esculenta* podría ser considerado como una opción de proteína vegetal, por lo que el objetivo de esta investigación fue realizar la caracterización fisicoquímica del extracto proteico de *L. esculenta* (DC) Benth, con proceso termoalcalino, proceso térmico y el control, considerando los análisis del contenido de proteínas, fracciones proteicas, solubilidad y digestibilidad *In Vitro*; además del perfil de aminoácidos hidrolizados e identificación de grupos funcionales de las muestras de harinas de los dos tratamientos y el control. La hipótesis es que el extracto de proteína obtenido del proceso termoalcalino de la semilla de guaje posee mejores características fisicoquímicas que la harina con proceso térmico y el control.

## **4.2 Materiales y métodos**

### **4.2.1 Material vegetal**

Los cinco kilogramos de granos de *L. esculenta* (DC) Benth fueron obtenidos de las vainas maduras que se pusieron a secar bajo el sol durante 10 días por los productores de la comunidad de San Felipe Otlaltepec, Tepexi de Rodríguez Puebla (altitud 1500 a los 2100 msnm; coordenadas: 18° 24' 02.85" latitud Norte, 97° 45' 28.70" longitud Oeste) (García Maceda et al., 2014), del ciclo agrícola otoño-invierno 2021. Los árboles utilizados para cosechar se seleccionaron al azar.

### **4.2.2 Materiales**

Poliacrilamida, tris HCl, tetrametiletilendiamina (TEMED), acetonitrilo, ácido trifluoroacético, persulfato de amonio (PSA), acrilamida, bisacrilamida, ácido clorhídrico, azul de bromofenol, mercaptoetanol, glicina, glicerol N, N, N - tetrametiletilendiamina, docecilsulfato de sodio, pepsina de mucosa gástrica porcina, azul brillante de coomassie G-250, azul brillante de coomassie R, hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, se adquirieron en Sigma Aldrich. Hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  de Nixtocal CALIDRA, México.

### **4.2.3 Tratamientos de los granos de *L. esculenta* (DC) Benth**

Se consideraron dos tratamientos y un control; el primero fue con proceso termoalcalino (CPT), el segundo con proceso térmico (PT) y el control sin proceso termoalcalino (SPT). El tratamiento CPT se obtuvo después de que los granos de *Leucaena esculenta* (DC.) Benth pasaron por un proceso termoalcalino: en un vaso de precipitados de 600 mL, se le agregó 300 mL de agua destilada, la cual fue calentada a una temperatura de 90 °C, a una presión normal y se incorporaron 0.3 g de hidróxido de calcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , posteriormente, se homogeneizó la mezcla y se agregaron 100 g de granos de guaje en el vaso, estos se cubrieron con papel aluminio y un vidrio de reloj, en un tiempo de cocción de 42 minutos de y 8 horas de reposo. Después del tiempo de reposo, los granos se lavaron con 550 mL de agua destilada, enseguida se escurrieron en una malla y se secaron sobre toallas de papel durante 30 min (García-Maceda et al., 2019).

Para el segundo tratamiento se aplicó el proceso térmico: en un vaso de precipitados de 600 mL se calentó 300 mL de agua destilada, a una temperatura de 90 °C, a una presión normal, enseguida se agregaron 100 g de granos de guaje a cada vaso, el vaso se cubrió con papel aluminio y un vidrio de reloj, se dejaron cocer durante 42 minutos y se quedó reposando por 8 horas a temperatura ambiente. Una vez cumplido el tiempo de reposo, los granos se lavaron con 550 mL de agua destilada y se dejaron escurrir en una malla y se colocaron en unas toallas de papel 30 min para después meterlas a la estufa. Los granos de los tratamientos se secaron en una estufa de laboratorio a 50 °C durante 24 h; después se molieron en un molino de cuchillas para café KitchenAid 4 Oz Empire Red BCG111ER y se cribaron en una malla U.S. 40.

#### **4.2.4 Obtención del extracto de proteína de *L. esculenta* (DC) Benth**

El extracto de la proteína de *L. esculenta* se obtuvo siguiendo el método de Johnston et al (2015), con algunas modificaciones. Cada muestra de los dos tratamientos y el control, CPT, PT y SPT respectivamente, se extrajeron de la siguiente manera: se le adicionó agua destilada en una proporción de 0.25:1 m/v (0.25 mg de la harina en 1 mL de agua destilada), se ajustó el pH a 9 con una solución de hidróxido de sodio 0.1 M y se agitó (45 °C, 180 rpm, 1h) en una incubadora Benchmark INCU-SHAKER™ 10LR, después se centrifugó a (7500 rpm, 30 min) usando la Centrifuga 5430 R Eppendorf. El sobrenadante se separó y se congeló a -80 °C. El material residual se sometió dos veces más a la extracción, siguiendo el procedimiento anterior y se cuantificó el contenido de proteínas totales por el método de Bradford (1976).

#### **4.2.5 Determinación de las proteínas por el método Bradford**

De los extractos proteicos obtenidos de cada tratamiento, CPT, PT y el control SPT, se diluyeron a una proporción 0.9:1 v/v (0.9 mL del extracto proteico en 1 mL de agua destilada), se agitó en vórtex durante 15 segundos a 2000 rpm, de esta dilución se tomaron 50 µL de muestra y 950 µL del reactivo Bradford, se agitaron durante 1 min a 2000 rpm y se transfirieron 200 µL (por cuadruplicado) a los pozos de una microplaca, se midió la absorbancia a una longitud de onda

de 595 nm. Se obtuvo una curva de calibración que se preparó con BSA a una concentración de 1.0 mg mL<sup>-1</sup>. A partir de la ecuación obtenida de la curva de calibración se determinó de la concentración del extracto proteico y se reportó en mg mL<sup>-1</sup>.

#### **4.2.6 Identificación de las fracciones de proteínas del extracto proteico**

La electroforesis del extracto de la proteína de *Leucaena esculenta* (DC) Benth se analizó por el método en gel de poliacrilamida con dodecilsulfato sódico (SDS-PAGE) (Brunelle & Green, 2014), con algunas modificaciones, para los tratamientos CPT, PT y el control SPT. Las soluciones buffer se prepararon de la siguiente manera: acrilamida/ bisacrilamida, se pesaron 87.6 g de acrilamida y 2.4 g de bisacrilamida, se mezclaron y se disolvieron en 300 mL de agua desionizada. Para el tris HCl 1.5 M pH 8.8, se pesaron 27.23 g de Tris base, se agregaron 8 mL de agua desionizada, se ajustó el pH a 8.8 con HCl 1.5 M y se llevó a volumen total de 150 mL con agua desionizada y se almacenó a 4 °C. Para el caso del tris HCl 0.5 M pH 6.8 se pesaron 6 g de Tris base, se disolvieron 60 mL de agua desionizada, se ajustó el pH a 6.8 con HCl 0.5 M y se llevó a volumen final de 100 mL de agua desionizada, se almacenó a 4 °C. El buffer de muestra para SDS-PAGE, se mezcló con 3.55 mL de agua desionizada, 1.25 mL de Tris HCl 0.5 M pH 6.8, 2.5 mL de glicerina, 2 mL de SDS 10 % (p/v) y 0.2 mL de azul de bromofenol (0.5 % p/v). Se conservó a temperatura ambiente y se mezclaron 50 µL de β-mercaptoetanol y 950 µL de buffer de muestra, se colocó 1:2 con respecto a la muestra. El SDS 10 % (p/v), se pesó 0.5 g de SDS y se diluyó en 5 mL de agua desionizada. El buffer de corrida SDS-PAGE, se pesó 30.3 g de Tris base, 144.1 g de glicina y 10 g de SDS, se mezclaron y se llevó a volumen de 1000 mL, se tomaron 100 mL de la solución anterior y se aforó a 1000 mL con agua desionizada. Ambos buffers se almacenaron a 4 °C y para el persulfato de amonio (APS) al 10 % (p/v), se pesó 100 mg de APS y se adicionó 1 mL de agua desionizada. Para el gel de resolución el buffer de gel es Tris HCl 1.5 M pH 8.8, después de desgasificar la solución se adicionó 50 µL de APS (10 %) y 5 µL de tetrametiletilendiamina (TEMED) y para el gel de apilamiento, el

buffer correspondiente fue Tris HCl 0.5 M (pH 6.8) y se agregaron 50  $\mu\text{L}$  de APS (10 % de persulfato de amonio) y 10  $\mu\text{L}$  de tetrametiletilendiamina (TEMED).

Se colocaron 50  $\mu\text{L}$  del extracto de proteína (SPT, CPT y PT) en el gel, albumina con una concentración de  $120 \mu\text{g mL}^{-1}$  se corrió a 100 V durante 3 h en buffer de Tris-glicina-SDS, después de ese tiempo los geles se tiñeron con brillan blue R, se colocaron en la incubadora para que se mantuvieran en movimiento durante 30 min. Los geles se lavaron con abundante agua y se volvieron a teñir, para posteriormente desteñirlos con etanol y ácido acético durante 30 min, hasta que el gel quedó translucido y se facilitó la identificación de las bandas.

#### **4.2.7 Evaluación de la solubilidad del extracto proteico de la proteína *L. esculenta* (DC) Benth**

La determinación de la solubilidad de los extractos de proteína de (CPT, PT y SPT) de *L. esculenta* (DC) Benth, influida por el pH se evaluó a partir de la concentración de la proteína obtenida de sobrenadantes y fue determinada por el método Bradford. Se prepararon dispersiones de 1% (p/v) de proteínas y se ajustó el pH de 3.0 a 10.0 en intervalos de 1.0, utilizando HCl o NaOH, se dejaron durante toda la noche a una temperatura de 4 °C. Después las muestras se colocaron a una temperatura de 22 °C y se les reajustó el pH en caso de ser necesario. Se usó un potenciómetro (PC 2700 pH/mV/Conductivity/°C/°F meter. OAKLON®). Las muestras se centrifugaron a (4800 g) durante 30 min, usando la Centrifuge 5430 R Eppendorf. A los sobrenadantes se les determinó la concentración de proteínas por el método Bradford y se expresó en porcentaje (Vogelsang *et al.*, 2020).

#### **4.2.8 Digestibilidad *In Vitro* del extracto de proteína de *L. esculenta* (DC.) Benth**

La simulación de la digestibilidad *In Vitro* de los extractos de la proteína de *L. esculenta* (DC) Benth, se realizó para los tratamientos CPT, PT y el control SPT, de acuerdo con Minekus *et al.* (2014) con algunas modificaciones. Por ser un alimento líquido se pasó directamente a la fase gástrica, para lo cual fue necesario obtener la solución del fluido gástrico simulado (FGS), se usaron 10

mL de la muestra del extracto de la proteína, 7.5 mL de solución stock electrolítica (Cuadro 7), 1.6 mL de pepsina (EC 3.4.23.1) (para conseguir 2000 U mL<sup>-1</sup> 10 mL) y 5 µL de CaCl<sub>2</sub> a 0.3 M; fue necesario usar HCl a 1M para ajustar la mezcla a un pH de 3.0 y por último se agregó agua para diluir la FGS y obtener una proporción de la mezcla 50:50 v/v. La digestibilidad duró 2 horas a 37 °C en una incubadora con agitación (Benchmark INCU-SHAKER™10LR), después que concluyó el tiempo las muestras se colocaron en agua en ebullición (90 °C) durante 5 min y se colocaron en el ultracongelador a -79 °C. Las muestras se descongelaron a temperatura ambiente y se determinó la concentración de proteína por el método Bradford.

**Cuadro 7.** Concentraciones para preparar para la solución stock en la fase del líquido gástrico simulado.

Reactivo	Concentración stock		FGS <sup>z</sup>	
			pH 3	
			Vol. de stock	Concentración FGS
	g L <sup>-1</sup>	mol L <sup>-1</sup>	mL	mmol L <sup>-1</sup>
KCl	37.3	0.5	6.9	6.9
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	68	0.5	0.9	0.9
NaHCO <sub>3</sub>	84	1	12.5	25
NaCl	117	2	11.8	47.2
MgCl <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub>	30.5	0.15	0.4	0.1
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	48	0.5	0.5	0.5
Ajustar el pH				
	mol L <sup>-1</sup>		mL	mmol L <sup>-1</sup>
NaOH	1		-	-
HCl	6		1.3	15.6
	g L <sup>-1</sup>	mol L <sup>-1</sup>		mol L <sup>-1</sup>
CaCl <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	44.1	0.3		0.15 (0.075)

<sup>z</sup>FGS: Fluido gástrico simulado

Fuente: (Minekus et al., 2014)

#### 4.2.9 Determinación del contenido de aminoácidos hidrolizados de la harina de *L. esculenta* (DC) Benth

Para la extracción de aminoácidos hidrolizados a partir de la fracción proteica se pesaron 50 mg de muestra de harina SPT, CPT y PT, en recipientes ámbar de 10 mL, a cada muestra se le adicionaron 3 mL de HCl 6 M, y se cerraron

herméticamente; se realizó la extracción a 110 °C durante 24 h, después de ese tiempo que finalizó la hidrólisis las muestras fueron neutralizadas parcialmente con 2.5 mL de NaOH 4 M; posteriormente las muestras fueron filtradas con filtros de membrana (PTFE) de 0.45 µm, el material fue recuperado y congelado a -40°C hasta su análisis. Se realizó la derivatización y se colocaron 250 µL de la muestra líquida en un tubo cónico de 15 mL, adicionando 15 µL de HCl (37% v/v); 500 µL de acetonitrilo y 1.5 mL de buffer borato al 0.05 M. Posteriormente se adicionó 30 µL de NaOH 10 M y 1.25 mL de agente de derivatización; FMOC-Cl a una concentración de 1.5 mg/mL. La derivatización se realizó a 60 °C, 30 min. Al finalizar se le adicionó 150 µL de ácido fórmico (88 % de pureza); la muestra se filtró con filtros de membrana (PTFE) de 0.22 µm y se colocó en viales cromatográficos para su análisis mediante UPLC-ESI-MS/MS. El análisis para la determinación de aminoácidos hidrolizados se realizó en un UPLC-ESI-MS/MS y la curva de calibración se preparó con concentraciones de la mezcla de L aminoácidos de 0.5 a 0.05 µmol/L. Las muestras y los puntos de la curva estándar fueron derivatizados de acuerdo con el procedimiento anteriormente descrito. Se empleó como fase móvil A, acetonitrilo al 10 % con (HCOOH 0.1 % v/v; acetato de amonio al 0.05 mM); la fase B fue acetonitrilo (HCOOH 0.1 %), con una velocidad de flujo de 0.700 mL/min.

#### **4.2.10 Determinación de grupos funcionales de la harina de *L. esculenta* (DC.) Benth a través de infrarrojo cercano con la transformación de Fourier**

La espectroscopia infrarroja de la transformada de Fourier se llevó a cabo para las harinas y los extractos proteicos (CPT, PT y SPT) de *L. esculenta* (DC) Benth, se llevó a cabo según Long et al. (2015). Las muestras se colocaron en el espejo del infrarrojo Agilent Technologies Cary 630 FTIR. Se realizó la lectura en el rango IR medio de 4000 a 650 cm<sup>-1</sup>.

### **4.3 Análisis estadístico**

La caracterización del extracto proteico de granos de *Leucaena esculenta* (DC) Benth se hicieron en dos tratamientos: CPT, PT y un control (SPT). Las variables respuestas evaluadas en los extractos proteicos de CPT, PT y SPT, se hicieron

en tres repeticiones, fueron concentración de la proteína, solubilidad y digestibilidad *In Vitro*, empleando un diseño completamente al azar (DCA), con los resultados se realizó un ANOVA y comparación múltiples (Tukey) con un  $\alpha = 0.05$  (Melo Martínez et al., 2020; Montgomery & Runger, 2002), los datos se analizaron con el programa Minitab® 17 Statistical Software (EE. UU). Para el caso de la variable respuesta fracciones proteicas, de los extractos proteicos CPT, PT y SPT, el análisis fue cualitativo a partir de la comparación de los pesos moleculares (kDa) de las bandas que presentaron los geles de electroforesis SDS-PAGE con un marcador de peso molecular ya establecido de 6,500 Da a 200 kDa (S8445-1 VL, SigmaMarker™).

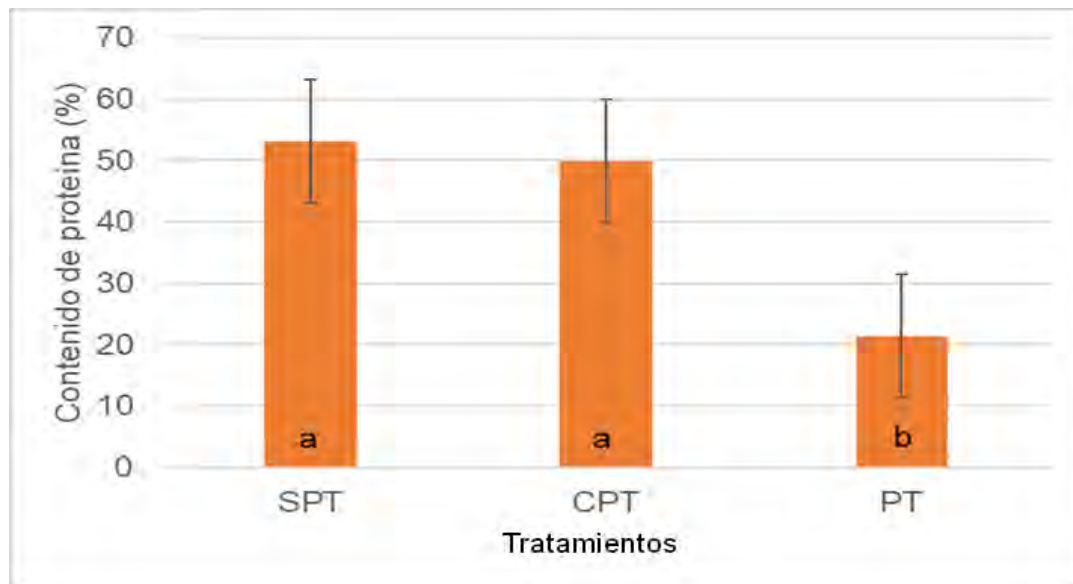
Para la harina de los granos de *Leucaena esculenta* (DC) Benth con proceso termoalcalino (CPT), proceso térmico (PT) y un control (SPT), se determinaron los aminoácidos hidrolizados y los grupos funcionales. El análisis de los aminoácidos hidrolizados se realizó por parte del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). En el caso de los grupos funcionales un análisis cualitativo por la identificación de picos a partir de las longitudes de onda, no se realizó el análisis de varianza.

#### **4.4 Resultados y discusión**

##### **4.4.1 Análisis de la concentración de proteínas del extracto proteico de *Leucaena esculenta* (DC.) Benth**

En la Figura 4 se muestra el contenido de proteínas (%) del extracto proteico de los granos de *Leucaena esculenta* (DC) Benth de los diferentes tratamientos SPT, CPT y PT, este último presento diferencias significativas, en comparación de los dos primeros y en el Cuadro 8 se presentan las estadísticas de bondad de ajuste. Los diferentes tratamientos aplicados a los granos y el método de extracción de la proteína influyeron en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de los extractos proteicos (Boukid-Fatma et al., 2021). Durante la cocción de las semillas en el proceso termoalcalino ocurren diversos cambios, entre ellos la desnaturalización de proteínas, solubilidad de polisacáridos,

ablandamiento y ruptura de la lámina media, y gelatinización del almidón (Ovando-Martínez et al., 2011).



**Figura 4.** Contenido de proteína de los extractos proteicos de *Leucaena esculenta* (DC) Benth. a y b. Diferentes letras son estadísticamente diferentes. Fuente: Elaboración propia.

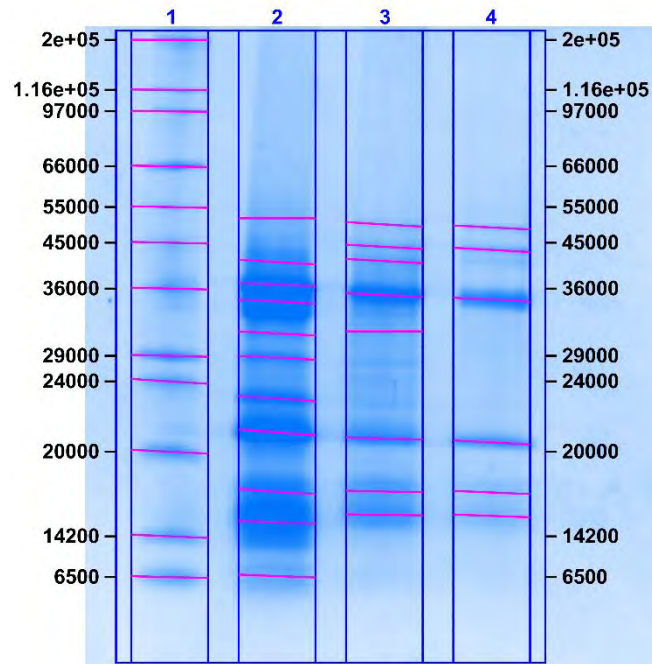
**Cuadro 8.** Estadísticas de bondad de ajuste

P-valúe <sup>z</sup>	0.000
<sup>2</sup> R <sup>2</sup> Coeficiente de determinación	95.12
S Desviación estándar	3.95
α Valor de significancia	0.05
Error estándar de la media	3.22

**4.4.2 Análisis de las fracciones proteicas del extracto de *Leucaena esculenta* (DC) Benth**

En la Figura 5, se muestra la electroforesis de los extractos proteicos de la leguminosa *L. esculenta* (DC) Benth, con sus diferentes tratamientos, SPT, CPT y PT. Se observó que el número total de bandas identificadas para cada tratamiento fue diferente, 11 bandas para SPT, 8 bandas para CPT y 6 bandas para PT. Las bandas identificadas para SPT fueron: 6.6 kDa, 15 kDa, 17 kDa, 21 kDa, 22.9 kDa, 28.5 kDa, 31.1 kDa, 34.49 kDa, 36.7 kDa, 40.95 kDa y 51.6 kDa. En el caso de CPT: 15.48 kDa, 17 kDa, 20.69 kDa, 31.37 kDa, 35.29 kDa, 41.15

kDa, 44.11 kDa, 49.89 kDa y para PT: 15.42 kDa, 16.85 kDa, 20.48 kDa, 34.72 kDa, 43.46 kDa y 49 kDa.



**Figura 5.** Electroforesis SDS-PAGE del extracto de proteína de *Leucaena esculenta* (DC) Benth. Carril 1. Marcador molecular (kDa); Carril 2. Sin proceso termoalcalino (SPT); Carril 3. Con proceso termoalcalino (CPT); y Carril 4. Proceso térmico (PT).

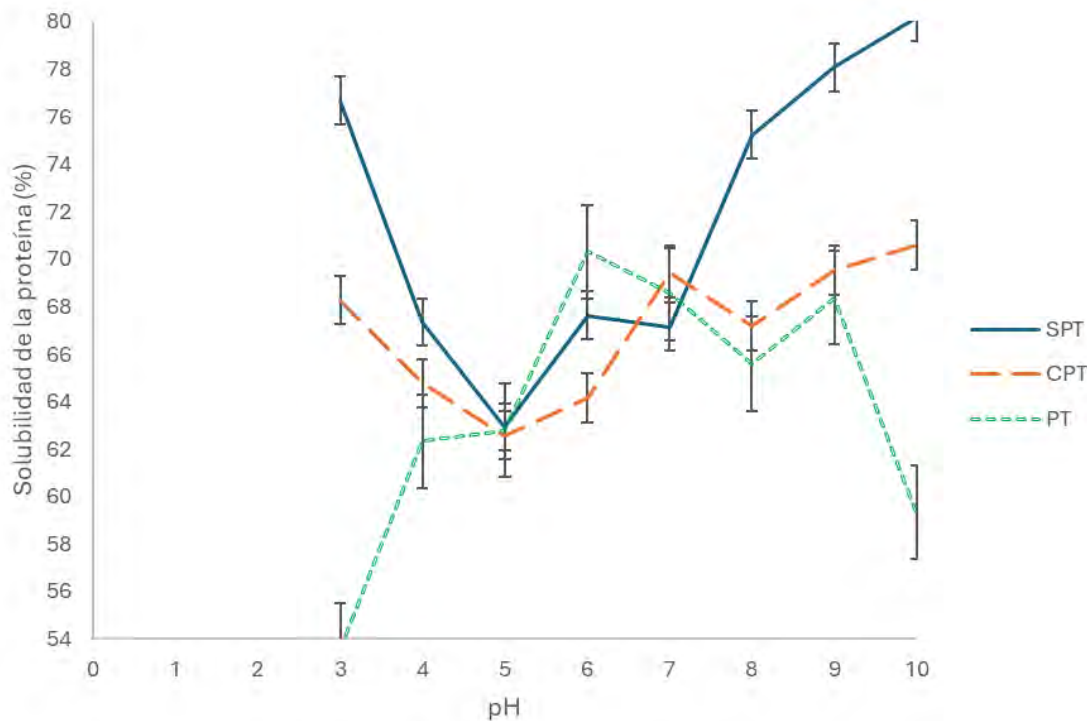
Es muy probable que en los tratamientos CPT y PT se hayan desnaturizado los polipéptidos de las albuminas que corresponden a los pesos moleculares de aproximadamente 25 y 26 kDa y los de 4 y 6 kDa donde se han identificado a las lipoxigenasas, glucosidasas, inhibidores de proteasas y lectinas (Bérot et al., 2007). En los tres tratamientos se observaron bandas de subunidades de las globulinas conocidas como leguminas (subunidad ácida de aproximadamente 40 kDa y subunidad básica de 20 kDa) y vicilinas (subunidad de aproximadamente 50 kDa y diferentes polipéptidos de 30-35 kDa y 13-20 kDa). Sin embargo, para el caso de las bandas del tratamiento SPT se identificaron a la albumina y albumina (PA2), la legumina y sus subunidades ácida y básica; además de la vicilina y de sus subunidades de polipéptidos de vicilina. En el caso de las bandas de los tratamientos CPT y PT, ya no se observaron las bandas de albumina y albumina (PA2); y para el PT, probablemente, las bandas corresponden a las

subunidades ácidas de la legumina, de vicilina y de sus subunidades de polipéptidos (Djoullah et al., 2018).

La mayor intensidad de las bandas se observó en SPT, seguida de CPT y PT. La muestra CPT mostró bandas intensas en comparación con el tratamiento PT, debido a que el hidróxido de calcio formó enlaces de puentes de calcio, difíciles de romper, entre los aminoácidos de la proteína provocando su termorresistencia, lo que reduce la desnaturalización de los péptidos (Guzmán et al., 2011; Santos et al., 2014). Sin embargo, en comparación con SPT se observa un número menor de bandas de CPT, relacionado con la reducción del contenido de las fracciones proteicas, albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas (Trejo-González et al., 1982). Para el caso del tratamiento PT, donde se observaron menos bandas y de menor intensidad, es muy probable que las proteínas se hayan desnaturalizado durante la cocción, que fue de 42 min, y los péptidos de menor tamaño migraron fuera del gel, al ser de muy bajo peso molecular (Guzmán et al., 2011).

#### **4.4.3 Análisis de la solubilidad de la proteína del extracto proteico de *Leucaena esculenta* (DC) Benth**

La solubilidad de la proteína es influenciada por el pH, para el caso de los extractos proteicos (SPT y CPT) de *Leucaena esculenta* (DC) Benth son similares, se observó que la solubilidad disminuyó a medida que el pH se aproxima al punto isoeléctrico (pH 5), donde se observa una solubilidad mínima de 62 % - 63 %, sin embargo, para (PT) es diferente ya que la solubilidad disminuye a pH 3 (Figura 6); la solubilidad de las proteínas vegetales ha sido la principal propiedad funcional que se ha analizado para otros usos industriales (Lam et al., 2018; Vogelsang-O'Dwyer et al., 2020).



**Figura 6.** Solubilidad de los extractos de la proteína de los tratamientos, sin proceso termoalcalino (SPT), con proceso termoalcalino (CPT) y proceso térmico (PT) de *Leucaena esculenta* (DC) Benth, en función del pH 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.

#### 4.4.4 Digestibilidad del extracto proteico de *Leucaena esculenta* (DC) Benth

La digestibilidad *In Vitro* del extracto de proteína de *L. esculenta* (DC) Benth se muestra estadísticamente igual entre los tratamientos SPT y CPT; y diferente para PT (Cuadro 9), esto se relacionó con el total del contenido de proteína que para el caso de PT fue menor y por lo tanto su digestibilidad aumentó; para el caso de los tratamientos SPT y CPT la digestibilidad disminuyó. De acuerdo con Avilés-Gaxiola et al. (2018) se ha demostrado que la digestibilidad *In Vitro* de las proteínas de las leguminosas crudas es menor, en comparación con las leguminosas cocidas, sin embargo, los granos con el tratamiento CPT también presentaron menor digestibilidad, aunque como señala Wiesinger et al. (2020) que el proceso termoalcalino, por el efecto que tiene la cal en los granos, desnaturaliza las proteínas lo que permite una mejor biodisponibilidad. La pepsina, principal proteasa del estómago, lleva a cabo la digestibilidad de la albumina, legumina y vicilina (Moradi et al., 2020).

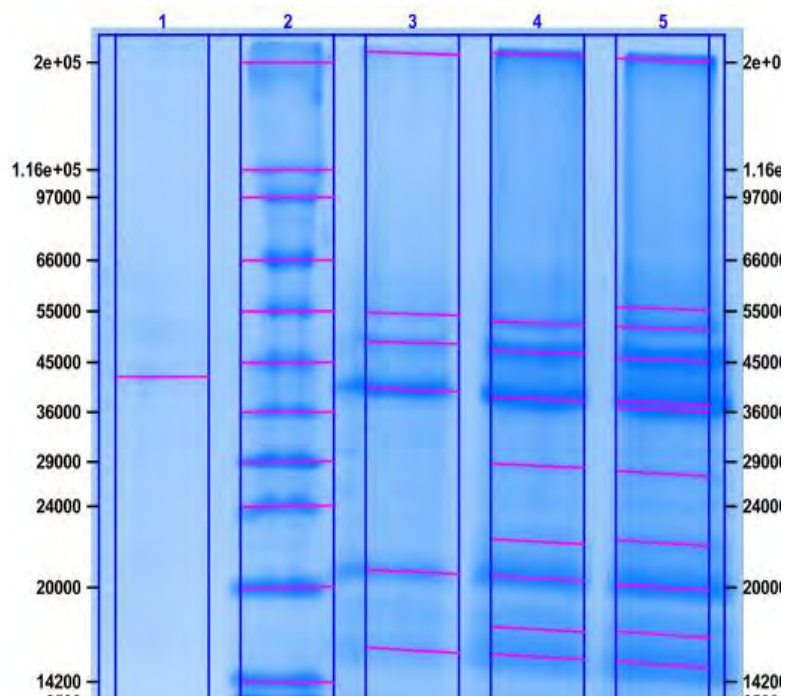
**Cuadro 9.** Digestibilidad *In Vitro* de la proteína de *L. esculenta* (DC) Benth.

Proceso	Proteína inicial del extracto (mg/mL)	Digestibilidad (%)
SPT <sup>z</sup>	5.19	46.20±11.74b
CPT <sup>y</sup>	4.83	40.73±1.50b
PT <sup>x</sup>	2.07	81±8.64a

<sup>z</sup> SPT: Sin proceso termoalcalino; <sup>y</sup> CPT: Con proceso termoalcalino; <sup>x</sup> PT: Proceso térmico.

<sup>w</sup> a,b,c: Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey) ( $p \leq 0.05$ ).

Las bandas identificadas en la electroforesis de la digestibilidad, para todos los tratamientos SPT, CPT y PT (Figura 9), correspondieron a las globulinas (que son las que abundan en las leguminosas), las cuales son resistentes en la digestión gástrica, mostrando resistencia a la acción de la pepsina (Santos-Hernández et al., 2020).



**Figura 7.** Electroforesis SDS-PAGE de la digestibilidad del extracto proteico de *Leucaena esculenta* (DC) Benth. Carril 1. BSA. Carril 2. Marcador de peso molecular. Carril 3. Digestibilidad del extracto proteico sin proceso termoalcalino (SPT). Carril 4. Digestibilidad del extracto proteico con proceso termoalcalino (CPT). Carril 5. Digestibilidad del extracto proteico con proceso térmico (PT).

#### **4.4.5 Evaluación aminoácidos hidrolizados de la harina de *L. esculenta* (DC) Benth**

A nivel mundial se han creado iniciativas que garantizan que las dietas saludables sean asequibles para todas las personas y en particular de las más vulnerables; la composición de una dieta “equilibrada” dependerá de las necesidades individuales, del contexto de cada país, de la disponibilidad de los alimentos y de sus hábitos alimenticios (FAO, 2020). Desde esta perspectiva, se siguen investigando las proteínas vegetales como una alternativa en la dieta humana, por su valor nutricional y su calidad proteica, lo que conllevaría a la transición a dietas vegetales sostenibles (Henchion et al., 2017). Las leguminosas son consideradas como una fuente importante de proteínas, por su alto contenido en proteínas y buen perfil de aminoácidos; la soya, frijoles, garbanzos y lentejas son las leguminosas con mayor valor nutricional, volumen de producción y valor de mercado, actualmente se están llevando a cabo investigaciones de otras leguminosas, de especies nativas, como el mesquite y el guaje rojo (FAO, 2016; Jaimes-Morales et al., 2022). El contenido de aminoácidos esenciales, leucina, isoleucina, valina, fenilalanina, tirosina, metionina, cisteína, treonina, lisina, histidina y triptófano, es considerado un parámetro importante para evaluar la calidad de una proteína alimenticia (Suárez López et al., 2006). Los aminoácidos esenciales identificados en las muestras de la harina de *L. esculenta* (DC) Benth, con diferentes tratamientos (SPT y PT) y el control (SPT) fueron lisina, leucina y valina, (Cuadro 10), la lisina fue el aminoácido esencial más abundante y en comparación con la soya es casi el doble de su contenido (Chen et al., 2012). El total de aminoácidos esenciales para el guaje rojo fue de 19 g de aminoácido por 100 g de harina y la soya reporta 17 g de aminoácidos por 100 g de harina, el total de aminoácidos requeridos al día por persona es de 27.70 g de aminoácidos por 100 g de acuerdo con lo recomendado por la FAO; sin embargo, el consumo de soya se usa como un complemento en la dieta humana (Chen et al., 2012; FAO, 2020). El triptófano en el guaje rojo no fue identificado; y el total de aminoácidos esenciales y no esenciales es superior al de la soya. Para ambas leguminosas el aminoácido con mayor contenido es el ácido glutámico.

**Cuadro 10.** Contenido porcentual de aminoácidos hidrolizados de la *L. esculenta* (DC) Benth con diferentes tratamientos.

Aminoácido	Composición (g aminoácido/100 g harina)				Requerimientos diarios FAO/WHO/ONU (1985)
	SPT <sup>z</sup>	CPT <sup>y</sup>	PT <sup>x</sup>	Soya <sup>*</sup>	
<b>AA esenciales<sup>w</sup></b>					
Leucina	3.68	3.67	3.58	3.31	5.9
Isoleucina	2.02	2.05	2.01	1.97	3.0
Valina	2.64	2.67	2.66	2.03	3.9
Fenilalanina+tirosina	2.46	2.40	2.34	3.66	3.8
Metionina+cisteína	0.29	0.30	0.24	0.55+	2.2
Treonina	2.13	2.24	2.18	1.77	2.3
Lisina	4.04	4.29	4.28	2.71	4.5
Histidina	1.99	2.00	2.00	1.1	1.5
Triptófano	0.00	0.00	0.00	0.59	0.6
Total de AA esenciales	19.25	19.62	19.28	17.14	27.70
<b>AA no esenciales<sup>v</sup></b>					
Alanina	3.60	3.43	3.54	1.92	
Arginina	5.69	6.24	5.79	3.15	
Ácido aspártico	4.84	5.10	5.27	5.12	
Ácido glutámico	7.86	8.16	8.09	7.87	
Glicina	2.83	2.79	2.82	1.88	
Prolina	2.32	2.20	2.25	2.38	
Serina	3.74	3.80	3.77	2.36	
Total de AA no esenciales	30.88	31.70	31.54	24.68	

<sup>z</sup>SPT: Sin proceso termoalcalino; <sup>y</sup>CPT: Con proceso termoalcalino; <sup>x</sup>PT: Proceso térmico.

<sup>w</sup>AA: Aminoácidos esenciales

<sup>v</sup>Aminoácidos no esenciales

\*Fuente: (Chen et al., 2012)

La lisina es un aminoácido esencial importante para el desarrollo del cerebro, y para reparar y preservar los músculos al igual que la isoleucina y la valina (Børsheim et al., 2002; Isaias Barrial Lujan et al., 2020).

El ácido glutámico o glutamato es un aminoácido indispensable, constituye hasta el 8-10 % de la dieta humana (Brosnan et al., 2014); es considerado como el combustible más importante para el intestino, interviene en el metabolismo de las

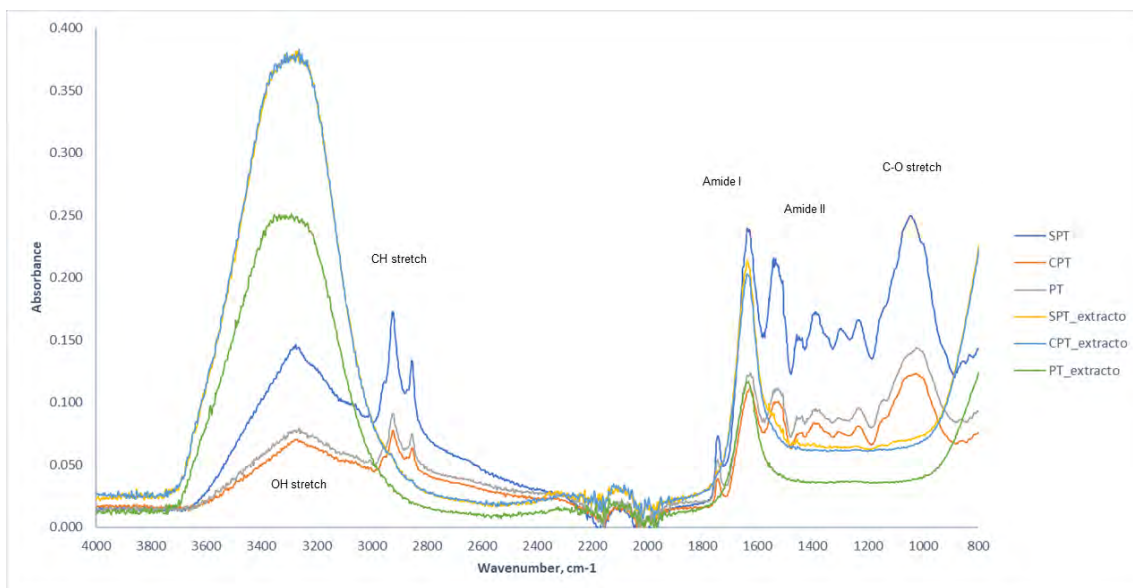
proteínas intestinales y es precursor de las moléculas producidas dentro de la mucosa intestinal (glutación, 2-oxoglutarato, L-alanina, ornitina, prolina, GABA, por ejemplo) (Hou & Wu, 2018; Tomé, 2018). El glutamato está presente en los niveles más altos en su forma libre en el hígado, el riñón y el músculo (2-5 mmol/L) (Brosnan, 2000; Loï & Cynober, 2022).

FAO recomienda el consumo de aminoácidos esenciales para el mejor desarrollo y crecimiento de los niños; para el caso de los adultos mayores el consumo de aminoácidos esenciales es primordial para preservar su salud y así mejorar sus condiciones de vida (Leser, 2013).

Con respecto a las condiciones de los procesos aplicados a los granos uno de los factores que se debe considerar es la temperatura mayor de 80 °C, se ha observado que puede dañar algunos aminoácidos como la lisina y los aminoácidos azufrados, sin embargo, esto podría variar de acuerdo con la especie (Abbas & Ahmad, 2018; Sarmiento, 2012). El valor biológico de una proteína vegetal no es constante, ya que depende de varios factores como, por ejemplo, la especie, la edad y el estado fisiológico (OPS, 1997).

#### **4.4.6 Grupos funcionales de la harina de *L. esculenta* (DC) Benth utilizando el infrarrojo cercano con transformación de Fourier**

En la Figura 10, se muestran los espectros de infrarrojo de la harina (SPT, CPT, PT) y los espectros de los extractos de la proteína (SPT\_extracto, CPT\_extracto y PT\_extracto). Se observó que sobresalen varios picos, sin embargo, los de la Amida I (1700 a 1600  $\text{cm}^{-1}$ ) y la Amida II (1600 a 1500  $\text{cm}^{-1}$ ) son los de mayor interés ya que corresponden a la proteína de la *Leucaena esculenta* (DC) Benth (Hong et al., 2005). Los espectros de las harinas de (SPT, CPT, PT) de la *Leucaena esculenta* (DC) Benth presentaron mayor absorbancia en comparación con los espectros de los extractos proteicos (SPT\_extracto, CPT\_extracto y PT\_extracto), existe una relación proporcional entre la absorción y la concentración (Delgado, 2022).



**Figura 8.** Espectros de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) de las harinas sin proceso térmico (SPT), con proceso térmico (CPT) y con proceso térmico (PT) y del extracto proteico (SPT\_extracto, CPT\_extracto y PT\_extracto), de *Leucaena esculenta* (DC) Benth.

#### 4.5 Conclusiones

Con respecto a la caracterización de los extractos proteicos, de los tratamientos (CPT y PT) y el control (SPT), de *Leucaena esculenta* (DC) Benth, el contenido de proteínas disminuyó con el proceso térmico. Las fracciones proteicas de los extractos proteicos en su mayoría fueron subunidades de leguminas, vicilinas y albuminas. El punto isoeléctrico de los extractos proteicos (SPT y CPT) fue de pH 5 y para (PT) fue de pH 3; con una solubilidad mínima de 62 % - 63 %. La digestibilidad *In Vitro* de los extractos proteicos fue proporcional al contenido inicial del contenido de proteína del extracto y las bandas identificadas en la electroforesis en su mayoría fueron las globulinas. Los aminoácidos esenciales mayoritarios identificados en la harina con tratamientos CPT y PT y el control SPT fueron la lisina, leucina y valina, el triptófano no fue identificado en ninguna muestra de harina; los grupos funcionales identificados fueron la amida I y la amida II. Las características fisicoquímicas de los extractos proteicos, SPT y CPT fueron estadísticamente iguales y diferente con el PT. Los extractos de proteína de la *Leucaena esculenta* (DC) Benth son una opción para usarlo en diferentes

productos alimenticios que pretendan garantizar la calidad proteica, además de salvaguardar el consumo alimentos tradicionales, dándoles un valor agregado como en el caso del extracto proteico de *L. esculenta* (DC) Benth.

#### 4.6 Literatura citada

- Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018). Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: A review. In *Annals. Food Science and Technology* (Vol. 19, Issue 2). <https://www.researchgate.net/publication/352510016>
- Acquah, C., Zhang, Y., Dubé, M. A., & Udenigwe, C. C. (2020). Formation and characterization of protein-based films from yellow pea (*Pisum sativum*) protein isolate and concentrate for edible applications. *Current Research in Food Science*, 2, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.11.008>
- Avilés-Gaxiola, S., Chuck-Hernández, C., & Serna Saldívar, S. O. (2018). Inactivation methods of trypsin inhibitor in legumes: A review. In *Journal of Food Science* (Vol. 83, Issue 1, pp. 17–29). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13985>
- Bérot, S., Le Goff, E., Foucault, A., & Quillien, L. (2007). Centrifugal partition chromatography as a tool for preparative purification of pea albumin with enhanced yields ☆. *Journal of Chromatography B*, 845(2), 205 – 209. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2006.08.020>
- Børsheim, E., Tipton, K. D., Wolf, S. E., & Wolfe, R. R. (2002). Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 283(4), E648–E657. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00466.2001>
- Boukid, F., Rosell, C. M., & Castellari, M. (2021). Pea protein ingredients: A mainstream ingredient to (re)formulate innovative foods and beverages. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 729–742. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.040>
- Boukid, F., Zannini, E., Carini, E., & Vittadini, E. (2019). Pulses for bread fortification: A necessity or a choice? *Trends in Food Science & Technology*, 88, 416–428. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.007>

- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1–2), 248–254. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- Brosnan, J. T. (2000). Glutamate, at the interface between amino acid and carbohydrate metabolism. *The Journal of Nutrition*, 130(4), 988S-990S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.4.988S>
- Brosnan, J. T., Drewnowski, A., & Friedman, M. I. (2014). Is there a relationship between dietary MSG obesity in animals or humans? *Amino Acids*, 46(9), 2075–2087. <https://doi.org/10.1007/s00726-014-1771-6>
- Brueck, H., & Lammel, J. (2016). Impact of fertilizer n application on the grey water footprint of winter wheat in a nw-european temperate climate. *Water*, 8(8), 356. <https://doi.org/10.3390/w8080356>
- Brunelle, J. L., & Green, R. (2014). One-dimensional SDS-Polyacrylamide gel electrophoresis (1D SDS-PAGE) (pp. 151–159). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420119-4.00012-4>
- Cabello-Hurtado, F., Keller, J., Ley, J., Sanchez-Lucas, R., Jorrín-Novo, J. V., & Aïnouche, A. (2016). Proteomics for exploiting diversity of lupin seed storage proteins and their use as nutraceuticals for health and welfare. *Journal of Proteomics*, 143, 57–68. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2016.03.026>
- Chaidez-Laguna, L. D., Torres-Chavez, P., Ramírez-Wong, B., Marquez-Ríos, E., Islas-Rubio, A. R., & Carvajal-Millan, E. (2016). Corn proteins solubility changes during extrusion and traditional nixtamalization for tortilla processing: A study using size exclusion chromatography. *Journal*
- Chen, K.-I., Erh, M.-H., Su, N.-W., Liu, W.-H., Chou, C.-C., & Cheng, K.-C. (2012). Soyfoods and soybean products: from traditional use to modern applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96(1), 9–22. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4330-7>
- Djoullah, A., Husson, F., & Saurel, R. (2018). Gelation behaviors of denatured pea albumin and globulin fractions during transglutaminase treatment.

- Food Hydrocolloids, 77, 636–645.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.005>
- FAO. (2016). Legumbres, semillas nutritivas para un futuro sostenible.  
<https://www.fao.org/3/i5528s/i5528s.pdf>
- FAO, F. O. P. y U. (2020). Versión resumida del estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020.  
<https://doi.org/10.4060/ca9699es>
- Finatsiyatull Rosida, D., Hapsari, N., & Hidayah, T. (2016). Functional properties of *Leucaena leucocephala* protein concentrates resulted separation of ultrafiltration membrane. *Matec web of conferences*, 58(01012).
- García-Maceda, G., Guerra-Ramírez, D., Ybarra-Moncada, Ma. C., & Casañas-Pimentel, R. G. (2019). "Desarrollo de una harina de semilla de guaje *Leucaena esculenta* para uso alimenticio" [Maestría en Ciencias y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo].  
[https://chapingo.orex.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=209739&query\\_desc=an%3A%2246239%22](https://chapingo.orex.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=209739&query_desc=an%3A%2246239%22)
- García Maceda, J., Bustamante González, A., Vargas López, S., Guerrero Rodríguez, J., & Olvera Hernández, I. (2014). Organización territorial y distribución de la tierra en la comunidad de San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. *Nova Scientia*, 7(1), 267–285.
- Guzmán, A. Q., Jaramillo Flores, M. E., Feria, J. S., Méndez Montealvo, M. G., & Wang, Y. J. (2011). Rheological and thermal properties of masa as related to changes in corn protein during nixtamalization. *Journal of Cereal Science*, 53(1), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.11.005>
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M., & Tiwari, B. (2017). Future protein supply and demand: Strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *Foods*, 6(7), 1–21.  
<https://doi.org/10.3390/foods6070053>
- Hong, Q. H., Li, D. T., & Hao, C. Y. (2005). Identification of soybean varieties by direct determination of FTIR spectrum. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi/Spectroscopy and Spectral Analysis*, 25(8).

- Hou, Y., & Wu, G. (2018). L-Glutamate nutrition and metabolism in swine. *Amino Acids*, 50(11), 1497–1510. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2634-3>
- Isaias Barrial Lujan, A., Taipe Pardo, F., Luz Huamán Carrión, M., del Carmen Delgado Laime, M., Rodrigo Cabezas, Y., Nilo Rodriguez Paucar, G., & Choque Quispe, D. (2020). Easy chair preprint flour amino acids and protein isolate of quinoa (*Chenopodium Quinoa*) of the white and pink variety of junín.
- Jaimes-Morales, J., Marrugo-Ligardo, Y. A., & Acevedo-Correa, D. (2022). Analysis of Mesquite (*Prosopis juliflora*) Protein concentrate for possible use as supplementary protein. *International Journal of Food Science*, 2022, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2022/7621818>
- Johnston, S. P., Nickerson, M. T., & Low, N. H. (2015). The physicochemical properties of legume protein isolates and their ability to stabilize oil-in-water emulsions with and without genipin. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7). <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1523-3>
- Lam, A. C. Y., Can Karaca, A., Tyler, R. T., & Nickerson, M. T. (2018). Pea protein isolates: Structure, extraction, and functionality. *Food Reviews International*, 34(2), 126–147. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1242135>
- Leser, S. (2013). The 2013 FAO report on dietary protein quality evaluation in human nutrition: Recommendations and implications. *Nutrition Bulletin*, 38(4), 421–428. <https://doi.org/10.1111/nbu.12063>
- Loï, C., & Cynober, L. (2022). Glutamate: a safe nutrient, not just a simple additive. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 78(3), 133–146. <https://doi.org/10.1159/000522482>
- Melo Martínez, O. O., López Pérez, L. A., & Melo Martínez, S. E. (2020). Diseño de experimentos: métodos y aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. <https://doi.org/10.36385/FCBOG-4-0>
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U.,

- Maclerzanka, A., MacKie, A., ... Brodkorb, A. (2014). A standardised static *In Vitro* digestion method suitable for food-an international consensus. *Food and Function*, 5(6). <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2002). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería: Vol. 2a edición* (Limusa Wiley).
- Moradi, S., Gholami, H., Karami, C., Farhadian, N., Balaei, F., Ansari, M., & Shahlaei, M. (2020). A study on the protease activity and structure of pepsin in the presence of atenolol and diltiazem. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2855–2868. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.10.118>
- OPS. (1997). *Conocimientos actuales sobre nutrición* (Ekhard E. Z & Filer L. J, Eds.; 7a ed., Vol. 565). Copublicación organización panamericana de la salud e instituto internacional de ciencias de la vida. [https://books.google.com.mx/books?id=wfY82pBJmfsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=wfY82pBJmfsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Ovando-Martínez, M., Osorio-Díaz, P., Whitney, K., Bello-Pérez, L. A., & Simsek, S. (2011). Effect of the cooking on physicochemical and starch digestibility properties of two varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different water regimes. *Food Chemistry*, 129(2), 358–365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.084>
- Peralta-Juárez, I., Gómez-Campos, A., Romero-Castillo, P. A., & Reyes-Dorantes, A. (2017). Uso antropocéntrico del guaje *Leucaena esculenta* (Moc. y Sessé Ex. DC.) Benth, en dos comunidades de la mixteca baja oaxaqueña. *Polibotánica*, 0(43). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.15>
- Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., & Carciofi, B. A. M. (2020). Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 170–184. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.011>
- Sánchez-Hurtado, J. C. (2014). Caracterización bromatológica y determinación de factores tóxicos naturales de partes comestibles de guaje rojo

- (*Leucaena esculenta* subsp. *esculenta*) [Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/197568>
- Santiago-Ramos, D., Figueroa-Cárdenas, J. de D., Véles-Medina, J. J., & Salazar, R. (2018). Physicochemical properties of nixtamalized black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *Food Chemistry*, 240, 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.156>
- Santos, E. M., Quintanar-Guzman, A., Solorza-Feria, J., Sanchez-Ortega, I., Rodriguez, J. A., & Wang, Y.-J. (2014). Thermal and rheological properties of masa from nixtamalized corn subjected to a sequential protein extraction. *Journal of Cereal Science*, 60(3), 490–496. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.08.008>
- Santos-Hernández, M., Alfieri, F., Gallo, V., Miralles, B., Masi, P., Romano, A., Ferranti, P., & Recio, I. (2020). Compared digestibility of plant protein isolates by using the INFOGEST digestion protocol. *Food Research International*, 137, 109708. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109708>
- Sarmiento, T. R. (2012). Impacto del procesamiento sobre la pared celular y las propiedades hipoglucémicas y tecnofuncionales de leguminosas. 269.
- Sethi, P., & Kulkarni, P. R. (1994). Functional properties of protein isolate from *Leucaena leucocephala* seeds. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 45(1). <https://doi.org/10.3109/09637489409167015>
- Suárez López, M. M., Kizlansky, A., & López, L. B. (2006). Assessment of protein quality in foods by calculating the amino acids score corrected by digestibility. *Nutr Hosp*, 21(1), 47–51.
- Tomé, D. (2018). The roles of dietary glutamate in the intestine. *Annals of nutrition and metabolism*, 73(Suppl. 5), 15–20. <https://doi.org/10.1159/000494777>
- Trejo-González, A., Feria-Morales, A., & Wild-Altamirano, C. (1982). The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation (pp. 245–263). <https://doi.org/10.1021/ba-1982-0198.ch009>
- Vogelsang-O'Dwyer, M., Bez, J., Petersen, I. L., Joehnke, M. S., Detzel, A., Busch, M., Krueger, M., Ispiryan, L., O'Mahony, J. A., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2020). Techno-functional, nutritional and environmental

performance of protein isolates from blue lupin and white lupin. *Foods*, 9(2), 230. <https://doi.org/10.3390/foods9020230>

Wiesinger, J. A., Cichy, K. A., Hooper, S. D., Hart, J. J., & Glahn, R. P. (2020). Processing white or yellow dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) into a heat-treated flour enhances the iron bioavailability of bean-based pastas. *Journal of Functional Foods*, 71, 104018. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104018>

## 5 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN DE TRIGO ENRIQUECIDO CON HARINA DE GUAJE (*Leucaena esculenta*)

**Resumen:** El uso de harinas de leguminosas podría enriquecer productos de panadería y reducir la prevalencia de diabetes y obesidad. En la presente investigación se horneó pan de caja con 5 % de harina de guaje con proceso termo alcalino (HGCPT) y 95 % harina de trigo (HT). Además, fue horneado pan con 20 % de harina HGCPT y 80 % HT. Como control fue horneado pan con 100 % HT. Las variables evaluadas fueron: calidad panadera, valor nutricional y características sensoriales. Los resultados obtenidos con la proporción de 95 % HT y 5 % HGCPT, mostraron que el volumen y la textura del pan de caja fue bueno, además el color de la miga fue café. En la aceptabilidad global los consumidores prefirieron los panes adicionados con 95 % HT y 5 % HGCPT; 100 % HT, que estadísticamente se mostraron iguales. La harina de guaje mejoró la calidad nutrimental del pan, manteniendo la calidad panadera y aceptación sensorial.

**Palabras claves:** guaje rojo, leguminosas, pan de caja, JAR, termoalcalino.

---

Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: M.C. Guadalupe García Maceda.

Director de tesis: Arturo Hernández Montes, Ph.D.

## QUALITY EVALUATION OF WHEAT BREAD ENRICHED WITH *Leucaena esculenta* FLOUR

**Abstract:** The use of legume flour can enrich bakery products and diminish the prevalence of diabetes and obesity. In this research box bread was bake with 5 % of flour of guaje with thermoalkaline process (HGCPT) and wheat flour with 95 % wheat flour (HT). Also, it was baked bread with 20 % HGCPT flour and 80 % HT. As a control was baked bread with 100 % HT. The variables evaluated were baking quality, nutritional value, and sensory characteristics. The results obtained with the proportion of 95 % HT and 5 % HGCPT showed that the volume and texture of the box loaf was good, and the color of the crumb was brown. In the overall acceptability, consumers preferred the bread added with 95 % HT and 5 % HGCPT compared with 100 % HT, which were statistically equal. The guaje flour improved the nutritional quality of bread maintaining the baking quality and sensory acceptability.

**Key words:** red guaje, legumes, box bread, JAR, thermoalkaline.

---

Doctoral Thesis Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: M.C. Guadalupe García Maceda.

Advisor: Arturo Hernández Montes, Ph.D.

## 5.1 Introducción

Después del maíz, el trigo es el segundo cereal más producido a nivel mundial, su producción creció, en los últimos cinco ciclos comerciales 2016/2017 – 2020/2021, a una tasa promedio anual del 0.6 %; los principales países productores de trigo son China, Unión Europea, India, y Rusia; México se ubica en la posición 23 de la producción mundial (USDA, 2022). Por otro lado, el consumo humano e industrial del trigo a nivel global, para los ciclos 2016/2017 y 2020/2021, creció a una tasa promedio anual de 1.3 % (FIRA, 2021). Del total de la producción mundial de trigo, el 25 % se destina a la fabricación de productos de panadería, tales como panes, pasteles, galletas, pizza, bollería y otros (Bijlwan et al., 2019). El consumo de pan es común y de gran importancia dentro de la nutrición humana; sus principales ingredientes incluyen harina de trigo, agua, sal y levadura; y en la elaboración de este alimento se involucran diversos procesos, que van desde la mezcla y amasado de los ingredientes, hasta la fermentación, moldeado y horneado (Padalino et al., 2017). Este alimento, debido a sus contenidos excesivos en grasas trans, azúcares y harina refinada, está asociado con problemas de salud como la diabetes, la obesidad y el estreñimiento (Bijlwan et al., 2019; Calvo Carrillo et al., 2020).

La harina refinada, usada en la panificación, es pobre en vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes, además de que el proceso de cocción reduce y desnaturaliza los compuestos bioactivos, lo que provoca que el pan pueda ser pobre en nutrientes (Kaim & Goluch, 2023). Por tal motivo, la industria panadera ha aumentado el valor nutricional de sus productos, enriqueciéndolos o fortificándolos con vitaminas, minerales y extractos vegetales de fibra (Sajdakowska et al., 2020). Adicionalmente, Bijlwan et al. (2019) ha señalado la importancia de enriquecer los productos de panadería con diversas harinas, tal como las de leguminosas, que aportan antioxidantes, proteínas, fibra y otros nutrientes esenciales. Se han reportado panes de trigo enriquecidos con harinas de quinoa (Vásquez et al., 2016), amaranto (Espitia-Rangel et al., 2022), sorgo (Iwamura et al., 2022; Vásquez Lara et al., 2018), soya (Sharifi-Zahabi et al., 2015; Silva-Huilcapi et al., 2018), maíz (Vásquez Lara et al., 2017), avena

(Vásquez Lara, 2021) y lentejas (Koubaier et al., 2015). Los panes enriquecidos aumentan su valor nutricional lo que beneficia la salud de los consumidores, sin embargo, por sus características físicas los productos fortificados están en desventaja en comparación con los panes elaborados únicamente con trigo, por lo cual es importante evaluar las características de la harina y la masa utilizando instrumentos como el alveógrafo (Lacko-Bartošová et al., 2019). El alveógrafo de Chopin es un equipo mecánico no convencional adaptado al monitoreo de esfuerzos biaxiales de las propiedades viscoelásticas de las harinas (Perego et al., 2002).

El guaje rojo (*Leucaena* spp.) pertenece a la familia de las leguminosas y es nativa de México, se considera un alimento tradicional y es un recurso fitogenético de gran valor para las comunidades indígenas (García-Maceda et al., 2023). Esta leguminosa presenta niveles elevados de proteína y fibra cruda, además de magnesio, manganeso, fósforo, zinc, lípidos, compuestos fenólicos, antocianinas y flavonoides (Chung et al., 2017; Román-Cortés et al., 2014a). Actualmente, la harina de las leguminosas, como los frijoles, garbanzos, lentejas, cacahuates y soya (Sánchez-Chino et al., 2015) presentan mayor demanda en la industria alimentaria; es un ingrediente ideal para el enriquecimiento de diversos productos de panificación y botanas, ya que permiten mejorar sus características nutricionales y sensoriales debido a sus contenidos nutrimentales como la proteína y fibra (Avilés-Gaxiola et al., 2018; Koubaier et al., 2015). La principal limitante que ha impedido aumentar el consumo de las leguminosas, por ejemplo, las lentejas y los garbanzos, son los factores antinutricionales (FAN) que ocasionan malestares digestivos, por lo que se vuelve necesario procesarlas antes de consumirlas, con el fin de inhibir o reducir los FAN (Ramakrishna et al., 2006). Los diferentes métodos de procesamiento aplicados a las leguminosas para inhibir o reducir los factores antinutricionales (taninos, inhibidores de la tripsina, ácido fítico y hemaglutininas, entre otros) son físicos, químicos y biológicos (Abbas & Ahmad, 2018; Avilés-Gaxiola et al., 2018). El tratamiento termoalcalino, mejor conocido como nixtamalización, permite ablandar el pericarpio y el endospermo de los granos de maíz, facilitando su molienda; se

lleva a cabo a través de la cocción de granos de maíz con agua y cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ); este tratamiento se ha aplicado a otros cereales y leguminosas, como el trigo, la avena, la cebada, el frijol y la chía (Santiago-Ramos et al., 2018). Durante el proceso termoalcalino ocurren cambios en la solubilidad de las proteínas, que es considerada una propiedad funcional importante (Chaidez-Laguna et al., 2016); estos cambios en la estructura de la proteína se deben a la formación de enlaces entre los aminoácidos a través de puentes de calcio, que reducen la desnaturalización de los péptidos (Guzmán et al., 2011; Santos et al., 2014). García-Maceda et al. (2019) han reportado la obtención de harina de guaje con proceso termoalcalino (HGCPT). El consumo de leguminosas con cereales ha sido recomendado para mejorar la absorción del hierro y la calidad de la proteína en la dieta, aumentando los aminoácidos esenciales (Fidler et al., 2004; Olmedilla Alonso et al., 2010).

La evaluación sensorial de los alimentos es relevante para identificar la percepción y aceptación que el consumidor expresa al seleccionar diversos productos, tomando en cuenta su bienestar; el éxito comercial de los alimentos y bebidas dependerá de dicha elección (Narayanan et al., 2014). El análisis de penalidad o análisis de caída de medias (JAR por sus siglas en inglés) es un método usado actualmente en la industria de los alimentos para redireccionar el desarrollo y la optimización de nuevos productos (Paries et al., 2022); el análisis JAR es de gran utilidad para identificar por los consumidores si los atributos, como el sabor, color, olor, textura u otros presentes en un alimento son adecuados, o si requieren subir o bajar su concentración (Fernández Segovia et al., 2018). La harina del guaje rojo pudiera tener diferentes usos en la panificación, por lo que el objetivo de este trabajo fue elaborar un pan de caja de trigo enriquecido con harina de granos de guaje rojo, con proceso termoalcalino, para darle un uso a la harina y así evaluar su calidad panadera, nutricional y sensorial.

La hipótesis establecida en esta investigación fue: La calidad panadera, nutricional y sensorial del pan de caja de trigo enriquecido con harina de granos

de guaje rojo con proceso termoalcalino presentará mayor volumen, color y mejor estructura de la miga, con mayores contenidos de proteína y cenizas; lo que permitirá a segmentos de consumidores otorgarles una adecuada aceptabilidad global.

## **5.2 Materiales y métodos**

### **5.2.1 Obtención de las harinas y tratamientos**

Se utilizó la harina refinada de trigo (HT) de la variedad Valles F2015, proporcionada por el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX-INIFAP). La variedad Valles F2015 es considerada como adecuada para la producción de pan de caja y para usarse como mejorador de harinas de trigos de gluten suave y tenaz en diferentes mezclas (Villaseñor Mir et al., 2018).

Se obtuvieron 3 kg de granos secos de guaje rojo (*Leucaena esculenta* (DC) Benth.), los árboles se seleccionaron al azar del ciclo agrícola otoño-invierno 2022 en la comunidad de San Felipe Otlaltepec, Tepexi de Rodríguez Puebla (coordenadas: 18° 24' 02.85" latitud Norte, 97° 45' 28.70" longitud Oeste) (García Maceda et al., 2014). Primero los granos secos de guaje fueron tratados con un proceso termoalcalino (CPT), los granos se mezclaron con 1.3 g de hidróxido de calcio, empleando una relación de 3 kg de granos por 18 L de agua, se llevaron a ebullición se adiciono la cal y posteriormente se adicionaron 3 kg de granos, se dejó cocer por 42 minutos y reposar por 8 horas en la disolución de cal (García-Maceda et al., 2019). Los granos CPT se secaron en una estufa de laboratorio, BLUE M (Electric Company Blue Island, Illions. EE. UU), a 50 ° C durante 24 h, después se molieron en un molino tipo martillo con ciclón LABORATORY MILL 3100 (Falling number AB, Suecia) utilizando una malla de 0.5 mm para obtener la harina de guaje (HGCPT). El resto de la materia prima como la leche en polvo, manteca vegetal, levadura y sal se compraron en el mercado local.

Se realizó un diseño factorial 2x3x2, los factores de estudio fueron harina de trigo HT y harina de guaje con proceso termoalcalino HGCPT; los niveles del factor HT fueron 80 %, 95 % y 100 %; para HGCPT de 5 % y 20 %. La unidad experimental fue cada pan enriquecido con HT y HGCPT (Montgomery & Runger,

2002). El volumen final de los panes fue la variable respuesta del diseño para identificar el mejor tratamiento. Los panes fueron elaborados en el laboratorio de calidad de trigo del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX-INIFAP).

### **5.2.2 Alveogramas de las masas**

Los alveogramas, miden las propiedades viscoelásticas de las harinas (Gregory D. Wheeler, 2014), fueron evaluados en las masas de las formulaciones que se emplearon en la evaluación sensorial de los panes elaborados con las siguientes proporciones: 100 % HT; 95 % HT + 5 % HGCPT; y 80 % HT + 20 % HGCPT. Se utilizó el Alveógrafo de Chopin (Tripette & Renaud, Francia), el cuál imita el proceso de panificación para predecir la calidad de la harina (Gregory D. Wheeler, 2014), en muestras por triplicado de 60 g de cada una de las proporciones de harinas de trigo y de guaje; de acuerdo con el método-54-30 AACC (2005). Las variables alveográficas determinadas en la masa fueron: W = Fuerza (Joule), P = tenacidad (mm), L = extensibilidad (mm) y la relación de tenacidad-extensibilidad (PL). La clasificación de las masas fue con base a su W y PL: Masas con una W mayor de  $300 \times 10^{-4}$  J se agruparon en masas fuertes, masas con una W de  $200 \times 10^{-4}$  a  $300 \times 10^{-4}$  J se consideran medias fuertes y masas menores de  $200 \times 10^{-4}$  J se clasificaron como débiles; PL iguales a 1.1 se consideran masas balanceadas, PL menores a 1 se clasifican como masas extensibles y PL mayores a 1.2 se denominan masas tenaces (Martínez Cruz et al., 2017; Perego et al., 2002).

### **5.2.3 Calidad panadera**

La calidad panadera fue evaluada a partir del volumen del pan (mL), mediante el método de masa directa (método 10-09, AACC, 2005), en las formulaciones utilizadas para la evaluación sensorial de los panes elaborados con las siguientes proporciones: 100 % HT; 95 % HT + 5 % HGCPT; y 80 % HT + 20 % HGCPT. Las formulaciones de los panes se prepararon como se mencionan en el Cuadro 11.

Primeramente, se mezcló la harina, leche, manteca vegetal y 25 mL de la suspensión de levadura en una batidora HOBART (Dayton Mexicana, S.A. de

C.V, México) y se amasó durante 7 min, 25 mL de la solución dos (agua, azúcar y sal) fueron agregados y se volvió amasar por 3 min. Posteriormente, para la primera desgasificación la masa se colocó en un tazón y se introdujo a un fermentador (sin marca), a 28 °C y 98 % humedad, durante 80 min, después de ese tiempo se retiró la masa del fermentador y se desgasificó. Para la segunda desgasificación nuevamente se colocó la masa en un tazón y se metió al fermentador durante 45 min, bajó las mismas condiciones anteriores de temperatura y humedad. Posteriormente, la masa se retiró del fermentador, se moldeó durante 25 min, se vació en un tazón engrasado y se metió al fermentador durante 55 min. La masa se retiró del fermentador y se introdujo al horno Despatch Oven (Despatch Oven Co. EE. UU.) a 190 °C por 25 min.

**Cuadro 11.** Composición del pan de caja enriquecido con harina de guaje rojo con proceso termoalcalino y el testigo (100 % harina de trigo).

Tratamientos	Harina de trigo (HT) <sup>z</sup> %	Harina de guaje (HGCPT) <sup>y</sup> %	Levadura (mL)	Solución agua, azúcar y sal (mL)	Leche en polvo (g)	Manteca vegetal (g)	Agua (mL)
A	100	0	25	25	4	3	33
B	95	5	25	25	4	3	24
C	80	20	25	25	4	3	27

<sup>z</sup>HT: Harina de trigo

<sup>y</sup>HGCPT: Harina de guaje con proceso termoalcalino

Fuente: Elaboración propia

El volumen de pan se determinó mediante un volutómetro (mL) por desplazamiento de semillas de colza y visualmente se evaluó el color y la estructura de la miga, de acuerdo con el método 10.05 AACC (1995); el pan se pesó con una balanza portable OHAUS Scout® Pro (OHAUS Latinoamérica) (Martínez Cruz et al., 2017).

#### **5.2.4 Composición química parcial del pan de caja**

#### **5.2.5 Análisis proximal**

Se determinó el contenido de proteína cruda por el método macro Kjeldahl, 990.03 AOAC, se usó el factor de conversión de nitrógeno a proteína cruda de 6.25, recomendado por la FAO/OMS para cualquier material de origen vegetal (Egan et al., 2006); extracto etéreo por el método de Goldfish, 920.85 AOAC; porcentaje de materia seca por el método 977.11 de la AOAC y cenizas por el método 942.05 AOAC (AOAC, 1997, 2010; Espitia-Pérez et al., 2013).

#### **5.2.6 Evaluación sensorial del pan de caja**

Se formó un grupo focal integrado por 10 individuos en una sesión de tres horas, en el cual generaron siete atributos (luminosidad, apariencia homogénea, esponjosidad, adhesividad, suavidad, sabor residual amargo y aroma a salvado) por consenso que permitían diferenciar a los panes enriquecidos con HT y HGCP; con los atributos generados por el grupo focal se realizó una prueba de aceptabilidad global con una escala hedónica de nueve puntos (1 corresponde a me disgusta extremadamente y nueve me gusta extremadamente) y posteriormente se aplicó una prueba de la penalidad de medias empleando escalas JAR, para los atributos generados. Ambas pruebas se realizaron por el mismo grupo de consumidores de pan de caja, que no tenían conocimiento de la sustitución parcial de este pan con guaje (n = 100 personas), mayores de 18 años, en tiempos diferentes, usando formatos diferentes para evaluar la prueba de aceptabilidad global y otros formatos para la prueba de penalidad de medias (JAR). Los tratamientos de pan de caja (testigo y dos enriquecidos), codificados con números aleatorios de tres dígitos, se colocaron en platos de unicel. La prueba se realizó en el laboratorio de evaluación sensorial de la Universidad Autónoma Chapingo.

### **5.3 Análisis estadístico**

#### **5.3.1 Evaluación del alveograma y la calidad panadera**

El análisis del alveograma se hizo a las masas con que se elaboraron las formulaciones de las tres muestras de pan A (100 % HT), B (95 % HT + 5 %

HGCPT) y C (80 % HT + 20 % HGCPT), que se usaron en la evaluación sensorial, a estas muestras de pan A, B y C se les determinó su calidad panadera, todas las evaluaciones, de la masa y del pan se hicieron por triplicado, se empleó un diseño completamente al azar (DCA), se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se empleó la comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Las variables respuesta alveográficas fueron: Fuerza (W), tenacidad (P), extensibilidad (L) y la relación de tenacidad-extensibilidad (PL); y para la calidad panadera fue el volumen; los datos se analizaron con el programa Minitab® 17 Statistical Software (EE. UU).

### **5.3.2 Análisis proximal parcial del pan de caja**

La evaluación del análisis proximal se realizó para los tres tratamientos de pan, A (100 % HT), B (95 % HT + 5 % HGCPT) y C (80 % HT + 20 % H GCPT), que se usaron en la evaluación sensorial. Los parámetros evaluados para el análisis proximal fueron porcentaje de materia seca, proteína cruda, cenizas y extracto etéreo. Cada determinación se hizo por triplicado, se tomaron muestras de las tres piezas de pan de caja de cada tratamiento que se hicieron para la evaluación sensorial, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), se realizó análisis de varianza (ANOVA) y comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), usando el programa Minitab® 17 Statistical Software (EE. UU).

### **5.3.3 Evaluación sensorial**

#### **Aceptabilidad global**

En el análisis de la aceptabilidad global de las tres muestras de pan se empleó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) (Melo Martínez et al., 2020), los datos obtenidos fueron analizados con el programa SAS versión 9.0 (SAS, Institute Inc. EE. UU). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se empleó la comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

#### **Análisis de conglomerados**

El análisis de conglomerados jerárquicos inicia con el cálculo de la matriz de las distancias entre las variables y con ello se seleccionan los dos elementos más próximos o similares que se agrupan en un conglomerado individual, hasta crear un conglomerado formado por todos los elementos de la muestra (García &

Segovia, 2014). Con la aplicación del método del análisis de conglomerados se identificaron agrupaciones de consumidores con evaluaciones similares para los tratamientos. Para cada uno de los dos conglomerados o grupos de consumidores obtenidos, se empleó un diseño completamente al azar (DCA) centrado las medias y se realizaron sus respectivos análisis de varianza. Posteriormente se realizaron análisis de varianza por tratamiento, para los dos grupos formados. Se realizó una comparación de medias empleando Media LS (Medias de mínimos cuadrados) ( $\alpha = 0.05$ ), los datos fueron analizados con el programa XLSTAT versión 2023 (Lumivero. EE. UU).

### **Análisis de caída de medias y penalidad**

En la caída de medias, empleando escalas de punto ideal o JAR (por sus siglas en inglés Just-About-Right), se tomó en cuenta la diferencia de las medias de los datos de aceptabilidad global JAR, con las categorías no JAR, (insuficiente y demasiado) evaluadas para cada uno de los 7 atributos (luminosidad, apariencia homogénea, esponjosidad, adhesividad, suavidad, sabor residual amargo, y aroma a salvado) en el pan enriquecido de guaje (Fernández Segovia et al., 2018); en la penalidad se identificaron los atributos más importantes que impactaron a las categorías no JAR (insuficiente y demasiado) en la preferencia del consumidor (Paries et al., 2022). Las categorías que no fueron JAR, y que recibieron al menos un 20 % de respuestas para un atributo en particular fueron consideradas en el análisis de penalidad (Narayanan et al., 2014), previo a este análisis se consideró la matriz de correlación de Spearman y el escalamiento multidimensional (MDS) (Luc et al., 2022). Los datos obtenidos se analizaron con el programa XLSTAT versión 2023 (Lumivero. EE. UU).

## **5.4 Resultados y discusión**

### **5.4.1 Alveogramas y calidad panadera del pan de caja fortificado**

El mayor volumen obtenido para el pan fortificado de 650 mL, y correspondió a una mezcla de 95 % HT + 5 % HGCPT. El volumen del pan de harina de trigo es una de las variables más importantes de la calidad panadera; el trigo contiene proteínas (gluteninas y gliadinas) que, al hidratarse con agua, mezclarse y

amasarse forman el gluten responsable de la fuerza y extensibilidad de la masa; la fuerza de la masa con un buen cociente de tenacidad/extensibilidad ( $PL < 1$ ) favorece a tener volúmenes mayores del pan (Martínez Cruz et al., 2017). Se ha observado que los panes de caja elaborados con harina de trigo, y enriquecidos con otras harinas, reducen su volumen debido a que sus proteínas obstruyen a la red del gluten; sin embargo, los panes presentan un incremento en sus propiedades nutricionales, por ejemplo, de proteínas y fibra (Miranda-Ramos et al., 2019; Coțovanu & Mironeasa, 2021; Espitia-Rangel et al., 2022).

Para las variables alveográficas P y L se encontraron diferencias significativas en los tratamientos y en el testigo (Cuadro 12). El valor de PL de las masas de los tratamientos B y C se clasificaron como tenaces, diferentes a la masa testigo que es considerada como extensible. Sin embargo, el mayor valor de PL lo presentó la combinación con los porcentajes 80 % HT + 20 % HGCPT, esto se debió al aumento de su tenacidad (P) y disminución de su extensibilidad (L). En la fuerza de masa (W) entre los tratamientos A (100 % HT) y B (95 % HT + 5 % HGCPT) no se encontró diferencia; ambas masas son consideradas medias fuertes, en comparación con el tratamiento y C (80 % HT + 20 % H GCPT), que se clasificó como una masa débil; la fuerza de la masa se redujo con la presencia de mayor porcentaje de HGCPT en la mezcla con harina de trigo, esto es similar a lo reportado en otros productos de trigo fortificados con harina de quinoa, amaranto, sorgo y avena, debido a que la absorción del agua es mayor al usar harinas diferentes a la harina de trigo (Vásquez et al., 2016; Vásquez Lara et al., 2018; Vásquez Lara et al., 2021; Espitia-Rangel et al., 2022). En el Cuadro 13 se muestran las estadísticas de bondad de ajuste.

**Cuadro 12.** Propiedades alveográficas de la masa de harina de trigo adicionada con harina de guaje con proceso termoalcalino.

Tratamientos	W ( $10^{-4}$ J)	PL ( $0.1^{-7}$ )	P (mm)	L (mm)
A= 100 % HT	237.5a <sup>z</sup>	0.58a	67c	115a
B= 95 % HT + 5 % HGCPT	233a	5.895c	175b	30b
C= 80 % HT + 20 % HGCPT	144b	14.8b	222a	15c

HT: harina de trigo; HGCPT Harina de guaje con proceso termoalcalino. W: fuerza de la masa; PL: relación tenacidad-extensibilidad; P: tenacidad de la masa; L: extensibilidad.

<sup>z</sup> a, b, c: Letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas (Tukey) ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 13.** Estadísticas de bondad de ajuste

P-valué <sup>z</sup>	0.000
<sup>z</sup> R <sup>2</sup> Coeficiente de determinación	75.39
S Desviación estándar	49.17
$\alpha$ Valor de significancia	0.05
Error estándar de la media	17.4

Los tratamientos enriquecidos con HGCPT (B y C) mostraron que la tenacidad de la masa aumentó y la extensibilidad de la masa disminuyó, lo contrario con el testigo A (Cuadro 12), además, se encontraron diferencias significativas en el volumen del pan (Cuadro 14 y Cuadro 15), para los tratamientos B y C el volumen disminuyó (Figura 9 y Figura 10); muy probablemente por el mayor porcentaje de HGCPT, cuyo contenido de proteínas y fibra impiden la formación de la red de gluten, por lo que el volumen y peso del pan se ven afectados (Coțovanu & Mironeasa, 2021).

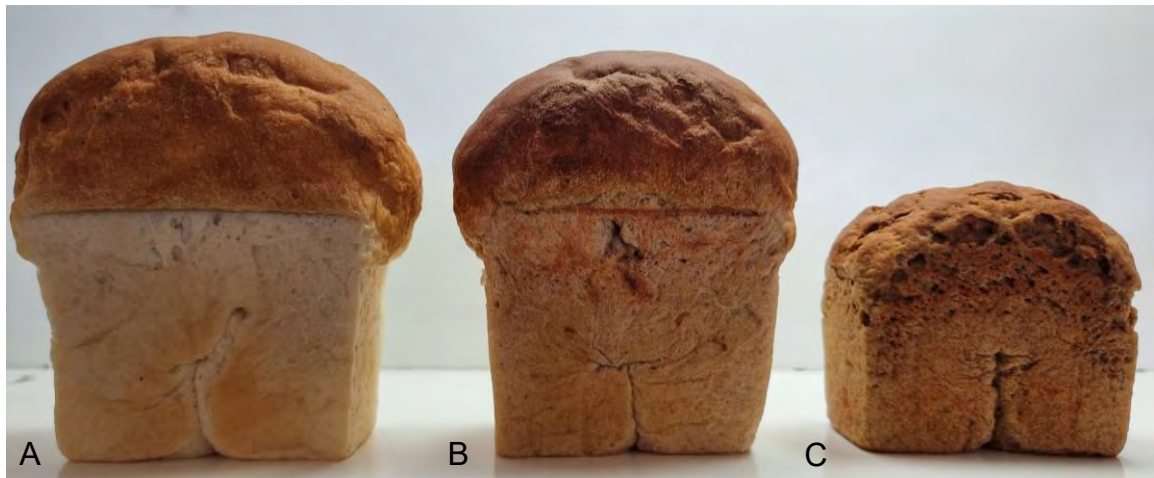
**Cuadro 14.** Calidad panadera de mezclas, de cada tratamiento, de harina de trigo y harina de guaje con proceso termoalcalino.

Tratamientos	V (mL)	Pp (g)	Cm	Em
A= 100 % HT	735a <sup>z</sup>	181.2ab	9a	9a
B= 95 % HT + 5 % HGCPT	655b	176.3b	7b	7b
C= 80 % HT + 20 % HGCPT	405c	186.1a	6c	5c

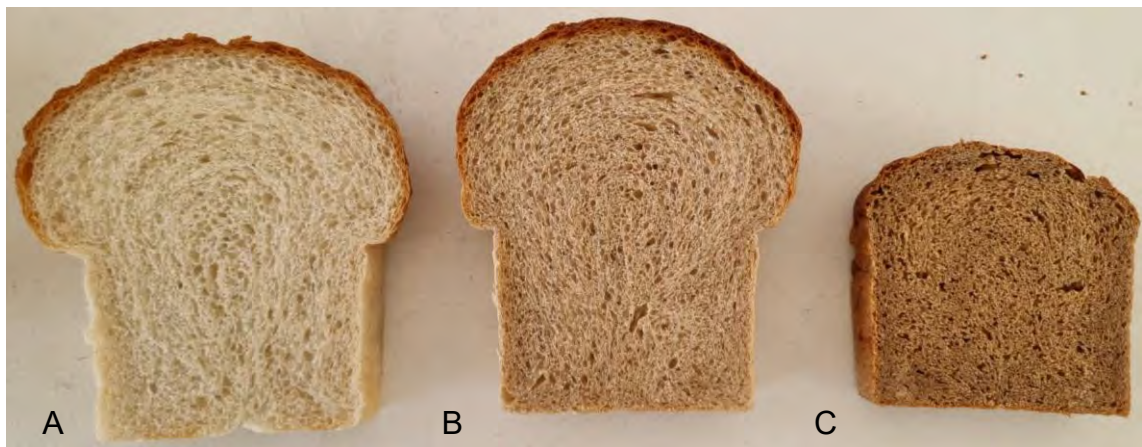
HT: harina de trigo; HGCPT: Harina de guaje con proceso termoalcalino. V: volumen del pan; Pp: peso del pan; Cm: Color de la miga (9= amarillo-crema, 7= café y 6 oscuro); Em: estructura de la miga (9= muy buena, 7= regular y 5= muy pobre). <sup>z</sup> a, b, c: letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas (Tukey) ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 15.** Estadísticas de bondad de ajuste

P-valué <sup>z</sup>	0.000
<sup>z</sup> R <sup>2</sup> Coeficiente de determinación	92.15
S Desviación estándar	77.20
$\alpha$ Valor de significancia	0.05
Error estándar de la media	27.3



**Figura 10.** Volumen del pan enriquecido con harina de guaje. A: 100 % harina de trigo (HT); B: 95 % HT + 5 % harina de guaje (HGCPT); C: 80 % HT + 20 % HGCPT.



**Figura 9.** Color y estructura de la miga del pan enriquecido con harina de guaje. A: (100 % HT) = color amarillo-crema, muy buena; B: (95 % HT+ 5 % HGCPT) = color café, regular; C: (80 % HT + 20 % HGCPT) = color oscuro, muy pobre.

### **Análisis proximal parcial del pan de caja**

El pan de caja enriquecido con harina con 80 % HT + 20 % HGCPT presentó diferencias significativas con respecto a los panes B y C, tuvo el mayor porcentaje de proteína y de cenizas (Cuadro 16), esto fue debido a la máxima sustitución de HT. El contenido de materia seca de los panes B y C no presentó diferencias significativas; y con respecto al porcentaje del extracto etéreo todos los tratamientos no presentaron diferencias significativas, las estadísticas de bondad de ajuste se muestran en el Cuadro 17; el uso de la HGCPT aumentó el valor nutricional del pan (Sajdakowska et al., 2020).

**Cuadro 16.** Análisis proximal del pan de caja enriquecido con harina de guaje rojo.

Tratamiento	Materia seca (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Extracto etéreo (%)
A = 100 % HT	92.87±0.03a <sup>z</sup>	10.39±0.52b	13.80±0.c	3.64±0.07a
B = 95 % HT + 5 % HGCP	92.66±0.02b	11.35±0.52b	15.08±0.b	3.44±0.01a
C = 80 % HT + 20 % HGCP	92.65±0.02b	13.37±0.45a	17.74±0.a	2.56±0.02a

HT: harina de trigo; HGCP: Harina de guaje con proceso termoalcalino.

<sup>z</sup>a, b, c: medias con diferentes letras son estadísticamente diferentes Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 17.** Estadísticas de bondad de ajuste

P-valúe <sup>z</sup>	0.000
<sup>z</sup> R <sup>2</sup> Coeficiente de determinación	99.81
S Desviación estándar	1.67
$\alpha$ Valor de significancia	0.05
Error estándar de la media	0.485

#### 5.4.2 Aceptabilidad global

Los resultados del análisis de la aceptabilidad global, empleando un diseño en bloques completos al azar, mostraron diferencias significativas (Cuadro 18) y las estadísticas de bondad de ajuste se muestran en el Cuadro 19. Existió diferencia significativa en la aceptabilidad ( $p < 0.0001$ ) entre el pan elaborado solamente con harina de trigo y el enriquecido con harina de guaje (80 % HT + 20 % HGCP); el pan A (100 % HT) y el pan B (95 % HT + 5 % HGCP) fueron estadísticamente iguales y presentaron mayor aceptabilidad que el pan C (80 % HT + 20 % HGCP).

**Cuadro 18.** Comparación de medias de la aceptabilidad global de los tratamientos de los panes de trigo enriquecidos con harina de guaje con proceso termoalcalino (n = 100).

Tratamiento	Medias
A = 100 % HT	6.59a <sup>z</sup>
B = 95 % HT + 5 % HGCP	6.38a
C = 80 % HT + 20 % HGCP	5.22b

HT: harina de trigo; HGCP: Harina de guaje con proceso termoalcalino.

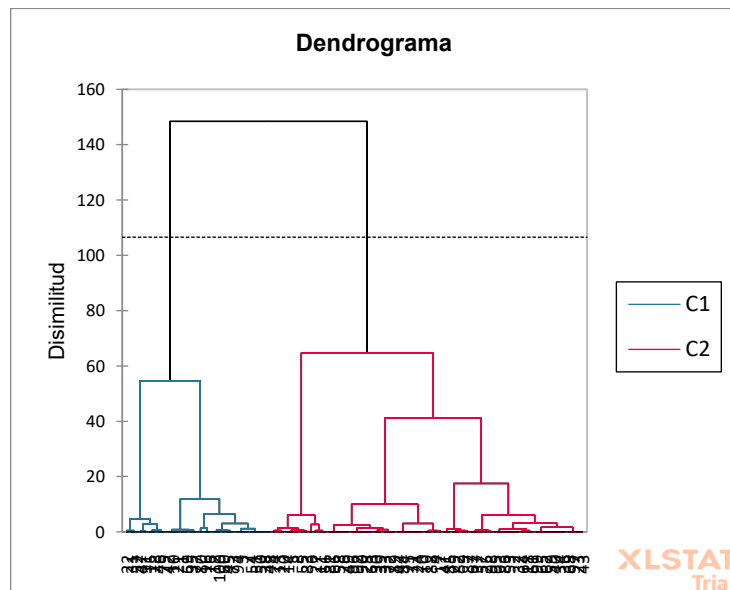
<sup>z</sup>a, b, c: medias con diferentes letras son estadísticamente diferentes Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 19.** Estadísticas de bondad de ajuste

P-valué <sup>z</sup>	0.000
<sup>z</sup> R <sup>2</sup> Coeficiente de determinación	10.66
S Desviación estándar	1.75
α Valor de significancia	0.05
Error estándar de la media	6.06

**Agrupación**

En la agrupación aglomerativa jerárquica se obtuvo un dendrograma, en el que se formaron dos grupos, el C1 y el C2 (Figura 11), integrados por 32 y 68 consumidores, respectivamente.



**Figura 11.** Dendrograma de los grupos de preferencias formados.

Se observó que el 32 % de los consumidores de pan de caja, que formaron al grupo C1, prefirieron al pan C enriquecido con el 80 % HT + 20 % de HGCPT; y el 68 % de los consumidores totales, que conformaron al grupo C2, prefirieron al pan A con 100 % HT y al pan B con 95 % HT + 5 % HGCPT. El pan C elaborado con 80 % HT + 20 % de HGCPT fue el menos preferido (Cuadro 20).

**Cuadro 20.** Diferencias de medias centralizadas por cada grupo formado.

Grupo	Categoría	Media LS <sup>y</sup> (%)
C1	C = 80 % HT + 20 % HGCPT	0.604a <sup>z</sup>

(n = 32)	A = 100 % HT	-0.271b
	B = 95 % HT + 5 % HGCPT	-0.333b
C2 (n = 68)	A = 100 % HT	0.902a
	B = 95 % HT + 5 % HGCPT	0.623a
	C = 80 % HT + 20 % HGCPT	-1.525b

HT: Harina de trigo; HGCPT: Harina de guaje con proceso termoalcalino.

<sup>z</sup> a, b, c: medias con diferentes letras son estadísticamente diferentes.

<sup>y</sup> Media LS Medias ajustadas por mínimos cuadrados (%).

La comparación de medias por tratamiento para cada grupo (C1 y C2) se presentan en el Cuadro 21, todos los productos presentaron diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) entre los dos grupos; el pan A (100 % HT) y el pan B (95 % HT + 5 % HGCPT) fueron preferidos por el grupo C2; y el pan C (80 % HT + 20 % HGCPT) fue preferido para el grupo C1.

**Cuadro 21.** Diferencias de medias centralizadas en la preferencia de los panes: A, B y C.

Grupo	Pan enriquecido	Media LS <sup>y</sup> (%)
C2 (n = 68)	A = 100 % HT	0.902a
C1 (n = 32)		-0.271b
C2 (n = 68)	B = 95 % HT + 5 % HGCPT	0.623a
C1 (n = 32)		-0.333b
C1 (n = 32)	C = 80 % HT + 20 % HGCPT	0.604a
C2 (n = 68)		-1.525b

HT: Harina de trigo; HGCPT: Harina de guaje con proceso termoalcalino.

C1 grupo 1; C2 grupo 2.

<sup>z</sup> a, b, c: medias con diferentes letras son estadísticamente diferentes.

<sup>y</sup> Media LS Medias ajustadas por mínimos cuadrados (%).

### 5.4.3 Penalidad de medias de la aceptabilidad global empleando escalas JAR

En los Cuadros 22, 23 y 24 se presentan los análisis de penalidad para los siete atributos evaluados, para cada uno de los panes elaborados con las diferentes mezclas: A (100 % HT), B (95 % HT + 5 % HGCPT) y C (80 % HT + 20 % HGCPT). Para el caso del pan A no hubo caídas de medias de la aceptabilidad de ningún atributo, por lo que no existió ninguna penalidad (Cuadro 22). En los panes B y C (Cuadro 23 y 24) el sabor residual amargo penalizó la aceptabilidad, por percibirse con demasiada intensidad, las caídas de las medias de la aceptabilidad para los panes B y C fueron significativas; de 0.8 y 1.27, respectivamente. Las leguminosas como el guaje (*Leucaena* spp.) contienen factores antinutricionales (FAN), son metabolitos secundarios considerados como mecanismo de defensa de las plantas bajo condiciones de estrés, entre los FAN identificados en el guaje se encuentran principalmente aminoácidos aromáticos (mimosina), taninos y alcaloides, estos FAN se relacionan con el sabor amargo presentes en varios alimentos (Ospina Daza et al., 2017; Vázquez-Ovando et al., 2016). Los componentes del sabor amargo incluyen alcaloides, sales inorgánicas, aminoácidos, fenoles, taninos, terpenos, entre otros (Xu et al., 2022); sin embargo, los componentes amargos de la harina de *L. esculenta*. no se han estudiado. La apariencia homogénea redujo 1.18 a la media global de la aceptabilidad del pan C, al percibirse como insuficiente (Cuadro 24), y la penalidad significativa fue de 1.24, lo cual se relaciona con la estructura de la miga que en la panificación se considera como pobre para los panes integrales, debido a la presencia de cascarilla que sustituye a la harina de trigo (Espitia-Rangel et al., 2022).

**Cuadro 22.** Caídas de las medias de la aceptabilidad en los atributos del pan A (100 % HT).

Atributos (%)	Nivel	%	Efectos sobre la media <sup>z</sup>	Valor-p
Luminosidad	Insuficiente	10.00	1.012	0.846
	Demasiado	31.00	0.067	
	Insuficiente	16.000	0.255	

Apariencia homogénea	Demasiado	11.000	-0.006	
Esponjosidad (%)	Insuficiente	24.000	0.561	0.305
	Demasiado	23.000	0.377	0.592
Adhesividad	Insuficiente	9.000	0.196	
	Demasiado	27.000	0.122	0.734
Suavidad (N)	Insuficiente	15.000	1.173	
	Demasiado	17.000	-0.353	
Sabor residual amargo (%)	Insuficiente	22.000	0.085	0.828
	Demasiado	13.000	0.169	
Aroma a salvado (%)	Insuficiente	28.000	-0.186	0.591
	Demasiado	12.000	0.517	

Resultados obtenidos del programa XLSTAT versión 2023 (Lumivero. EE. UU).

<sup>z</sup>MDS: escalamiento multidimensional,  $\alpha = 0.05$ .

Los valores negativos de los efectos sobre las medias se deben a que la media global de JAR es menor a la media global de no JAR (insuficiente o demasiado), por lo que solamente se ha penalizado a la aceptabilidad global (Fernández Segovia et al., 2018).

**Cuadro 23.** Caídas de las medias de la aceptabilidad en los atributos del pan B (95 % HT + 5 % HGCPT).

Atributos	Nivel	%	Efectos sobre la media <sup>z</sup>	Valor-p
Luminosidad	Insuficiente	24.000	0.268	0.473
	Demasiado	7.000	-0.137	
Apariencia homogénea	Insuficiente	16.000	0.588	
	Demasiado	9.000	-0.822	
Esponjosidad	Insuficiente	26.000	0.811	0.024
	Demasiado	12.000	-0.086	
Adhesividad	Insuficiente	11.000	0.539	0.920
	Demasiado	22.000	0.039	

Suavidad	Insuficiente	26.000	0.242	0.496
	Demasiado	5.000	-0.165	
Sabor residual amargo	Insuficiente	24.000	0.440	0.452
	Demasiado	20.000	1.232	
Aroma a salvado	Insuficiente	22.000	0.240	0.507
	Demasiado	14.000	-0.078	

Resultados obtenidos del programa XLSTAT versión 2023 (Lumivero. EE. UU).

<sup>z</sup>MDS: escalamiento multidimensional,  $\alpha = 0.05$ .

**Cuadro 24.** Caídas de las medias de la aceptabilidad en los atributos del pan C (80 % HT + 20 % HGCPT).

Atributos	Nivel	%	Efectos sobre la media <sup>z</sup>	Valor-p
Luminosidad	Insuficiente	33.000	0.190	0.922
	Demasiado	26.000	0.226	
Apariencia homogénea	Insuficiente	25.000	1.185	0.015
	Demasiado	14.000	1.348	
Esponjosidad	Insuficiente	63.000	0.725	0.122
	Demasiado	10.000	0.641	
Adhesividad	Insuficiente	11.000	-0.433	0.482
	Demasiado	38.000	0.320	
Suavidad	Insuficiente	44.000	0.434	0.327
	Demasiado	8.000	0.854	
Sabor residual amargo	Insuficiente	6.000	0.315	0.004
	Demasiado	67.000	1.357	
Aroma a salvado	Insuficiente	15.000	-0.837	0.423
	Demasiado	37.000	0.364	

Resultados obtenidos del programa XLSTAT versión 2023 (Lumivero. EE. UU).

<sup>z</sup>MDS: escalamiento multidimensional,  $\alpha = 0.05$ .

## 5.5 Conclusión

La calidad panadera del pan de caja de trigo con harina de granos de guaje rojo con proceso termoalcalino presentó menor volumen, el color de la miga fue más oscuro y la estructura de la miga se percibía más heterogénea. Con respecto al valor nutricional se observó que a medida que aumentaba la concentración de sustitución de la HGCPT se incrementó el contenido de proteínas y de cenizas.

La muestra total de consumidores mostró mayor aceptabilidad global para los panes elaborados con el 100 % HT y para el enriquecido con el 95 % HT + 5 % HGCPT, sin embargo, el grupo C1, obtenido del análisis de conglomerados, que incluyó el 32 % de los individuos, prefirió el pan elaborado con 80 % HT + 20 % HGCPT. Las penalizaciones por parte de los consumidores para los panes B (95 % HT + 5 % HGCPT) y C (80 % HT + 20 % HGCPT) fue para el sabor residual amargo (percibido como demasiado) e insuficiente apariencia homogénea para el pan C (80 % HT + 20 % HGCPT).

La harina de guaje con proceso termoalcalino en la elaboración de pan enriquecido es una opción de valor agregado, para salvaguardar esta leguminosa e incorporarla a la dieta nacional.

## **5.6 Literatura citada**

- Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018). Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: A review. In *Annals. Food Science and Technology* (Vol. 19, Issue 2). <https://www.researchgate.net/publication/352510016>
- AACC. (2005). American Association of Cereal Chemists. *Approved Methods of the AACC*. 9th (Ed.). American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- AACC. (1995). American Association of Cereal Chemists. *Approved Methods of the AACC*, 9th ed. AACC, St. Paul, MN. USA. 1268 pp.
- AOAC. (1990). Association of Official Analytical Chemist. *Official Methods of Analysis*. 15th Ed. Washington DC.
- AOAC. (2000). Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis*, 17th. Ed. Gaithersburg, MD, USA.
- Avilés-Gaxiola, S., Chuck-Hernández, C., & Serna Saldívar, S. O. (2018). Inactivation methods of trypsin inhibitor in legumes: A review. In *Journal of Food Science* (Vol. 83, Issue 1, pp. 17–29). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13985>

- Bijlwan, M., Naik, B., Sharma, D., Singh, A., & Kumar, V. (2019). Recent developments in dough-based bakery products: A mini review. ~ 654 ~ The Pharma Innovation Journal, 8(5). <https://www.thepharmajournal.com/archives/?year=2019&vol=8&issue=5&ArticleId=3488>
- Calvo Carrillo, M. de la C., López Méndez, O. X., Carranco Jáuregui, M. E., & Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum* L.). *Biotecnia*, 22(3), 116–124. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1227>
- Chaidez-Laguna, L. D., Torres-Chavez, P., Ramírez-Wong, B., Marquez-Ríos, E., Islas-Rubio, A. R., & Carvajal-Millan, E. (2016). Corn proteins solubility changes during extrusion and traditional nixtamalization for tortilla processing: A study using size exclusion chromatography. *Journal of Cereal Science*, 69, 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.04.004>
- Chung, H. H., Chen, M. K., Chang, Y. C., Yang, S. F., Lin, C. C., & Lin, C. W. (2017). Inhibitory effects of *Leucaena leucocephala* on the metastasis and invasion of human oral cancer cells. *Environmental Toxicology*, 32(6), 1765–1774. <https://doi.org/10.1002/tox.22399>
- Coțovanu, I., & Mironeasa, S. (2021). Impact of different amaranth particle sizes addition level on wheat flour dough rheology and bread features. *Foods*, 10(7), 1539. <https://doi.org/10.3390/foods10071539>
- Egan H., Kirk R. S., Sawyer R. (2006). *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. Ed. CECSA. 777 p.
- Espitia-Rangel, E., Martínez-Cruz, E., Lozano-Grande, A., Hortelano, R., Rosa, S., Valverde-Ramos, M., & Sesma-Hernández, F. (2022). Calidad panadera y galletera de mezclas de harina integral de amaranto y refinada de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(8).
- Fernández Segovia, I., García Martínez, E. M., & Fuentes López, A. (2018). Aplicación de las escalas de punto ideal o Just-About-Right (JAR) en

análisis sensorial de alimentos.  
<https://riunet.upv.es:443/handle/10251/104054>

- Fidler, M. C., Davidsson, L., Zeder, C., & Hurrell, R. F. (2004). Erythorbic acid is a potent enhancer of nonheme-iron absorption 1-3.
- FIRA. (2021). Panorama Agroalimentario. Trigo 2021. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Panorama%20Agroalimentario%20Trigo%202021.pdf>
- García Juan, & Segovia, C. (2014). Análisis de conglomerados (II): El procedimiento conglomerado jerárquicos. In Guía SPSS (Issue II).
- García-Maceda, G., Guerra-Ramírez, D., Ybarra-Moncada, M. C., & Casañas-Pimentel, R. G. (2019). "Desarrollo de una harina de semilla de guaje *Leucaena esculenta* para uso alimenticio" [Maestría en Ciencias y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo]. [https://chapingo.orex.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=209739&query\\_desc=an%3A%2246239%22](https://chapingo.orex.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=209739&query_desc=an%3A%2246239%22)
- García-Maceda, G., Hernández-Montes, A., Ybarra-Moncada, M. C., & Casañas-Pimentel, R. G. (2023). Percepción y significados del guaje rojo *Leucaena esculenta* (DC.) Benth. en la cultura ngiwa de Puebla, México. *Polibotánica*, 0(56). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.56.15>
- Gregory D. Wheeler. (2014). Alveografo de Chopin. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, L.
- Guzmán, A. Q., Jaramillo Flores, M. E., Feria, J. S., Méndez Montealvo, M. G., & Wang, Y. J. (2011). Rheological and thermal properties of masa as related to changes in corn protein during nixtamalization. *Journal of Cereal Science*, 53(1), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.11.005>
- Henneberg, W.; Stohmann, F. (1867). Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Widerkauer. Vol 1. Braunschweig, Germany [In German].
- Iwamura, L. S., Tridapalli, L. P., Cardoso, F. A. R., Droval, A. A., Marques, L. L. M., & Fuchs, R. H. B. (2022). Sensory description of gluten-free bread using rapid sensory methodologies. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(7), 4277-4285. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15752>

- Kaim, U., & Goluch, Z. S. (2023). Health benefits of bread fortification: a systematic review of clinical trials according to the PRISMA statement. *Nutrients*, 15(20), 4459. <https://doi.org/10.3390/nu15204459>
- Koubaier, H., Snoussi, A., Essaidi, Chabir, M., & Bouzouita, N. (2015). Cake quality evaluation made of wheat–lentil flour blends. *Journal of New Sciences*, 17, 937–942. [www.jnsciences.org](http://www.jnsciences.org)
- Lacko-Bartošová, M., Konvalina, P., & Lacko-Bartošová, L. (2019). Baking quality prediction of spelt wheat based on rheological and mixolab parameters. *Acta Alimentaria*, 48(2), 213–220. <https://doi.org/10.1556/066.2019.0002>
- Luc, A., Lê, S., Philippe, M., Qannari, E. M., & Vigneau, E. (2022). Free JAR experiment: Data analysis and comparison with JAR task. *Food Quality and Preference*, 98, 104453. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104453>
- Martínez Cruz, E., Espitia Rangel, E., Eduardo Villaseñor Mir, H., Hortelano Santa Rosa, R., Muñiz Reyes, E., & Zamudio Colunga, A. (2017). Calidad industrial del trigo harinero en función del número de riegos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1497–1508. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n7/2007-0934-remexca-8-07-1497.pdf>
- Melo-Martínez, O. O., López Pérez, L. A., & Melo Martínez, S. E. (2020). Diseño de experimentos: métodos y aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. <https://doi.org/10.36385/FCBOG-4-0>
- Miranda-Ramos, K. C., Sanz-Ponce, N., & Haros, C. M. (2019). Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. *LWT*, 114, 108418. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108418>
- Narayanan, P., Chinnasamy, B., Jin, L., & Clark, S. (2014). Use of just-about-right scales and penalty analysis to determine appropriate concentrations of stevia sweeteners for vanilla yogurt. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3262–3272. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7365>

- Olmedilla Alonso, B., Farré Rovir, R., Asensio Vegas, C., & Martín Pedrosa, M. (2010). Papel de las leguminosas en la alimentación actual. *Actividad Dietética*, 14(2), 72–76. [https://doi.org/10.1016/S1138-0322\(10\)70014-6](https://doi.org/10.1016/S1138-0322(10)70014-6)
- Ortega, D. C., Bustamante Rúa, M. O., Gutiérrez-Rôa, D. F., & Correa-Espinal, A. A. (2015). Mixture experiments in industrial formulations. *DYNA*, 82(189), 149–156. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.42785>
- Ospina Daza, L. A., Buitrago Guillen, M. E., & Vargas Sánchez, J. E. (2017). Identificación y degradación de minosina, un compuesto tóxico en *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Pastos y Forrajes*, 40(4), 257–264.
- Padalino, L., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2017). Bread fortification: Health and nutritional benefits. In *Fermented Foods: Part II: Technological Interventions*. <https://doi.org/10.1201/9781315205359>
- Paries, M., Bougeard, S., & Vigneau, E. (2022). Multivariate analysis of just-about-right data with optimal scaling approach. *Food Quality and Preference*, 102, 104681. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104681>
- Perego, P., Sordi, A., Grivon, D., Converti, A., & Dovì, V. (2002). Rheological study in the pasta industry by alveographic analysis estudio reológico en la industria de pastas por análisis alveográfico estudio reológico na industria da pasta por análise alveográfico. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3(4), 202–206. <https://doi.org/10.1080/11358120209487728>
- Ramakrishna, V., Jhansi Rani, P., & Ramakrishna Rao, P. (2006). Anti - nutritional factors during germination in Indian bean (*Dolichos lablab* L.) Seeds. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 1(1).
- Román-Cortés, N., Del Rosario García-Mateos, M., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, A. (2014). Componentes nutricionales y antioxidantes de dos especies de guaje (*Leucaena* spp.): Un recurso ancestral subutilizado. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 20(2), 157–170. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.07.023>
- Sajdakowska, M., Gębski, J., Jeżewska-Zychowicz, M., & Królak, M. (2020). Consumer Choices in the Bread Market: The Importance of Fiber in

Consumer Decisions. *Nutrients*, 13(1), 132.  
<https://doi.org/10.3390/nu13010132>

- Sánchez-Chino, X., Jiménez-Martínez, C., Dávila-Ortiz, G., Álvarez-González, I., & Madrigal-Bujaidar, E. (2015). Nutrient and nonnutrient components of legumes, and its chemopreventive activity: A review. *Nutrition and Cancer*, 67(3), 401–410. <https://doi.org/10.1080/01635581.2015.1004729>
- Santiago-Ramos, D., Figueroa-Cárdenas, J. de D., Véles-Medina, J. J., & Salazar, R. (2018). Physicochemical properties of nixtamalized black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *Food Chemistry*, 240, 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.156>
- Santos, E. M., Quintanar-Guzman, A., Solorza-Feria, J., Sanchez-Ortega, I., Rodriguez, J. A., & Wang, Y.-J. (2014). Thermal and rheological properties of masa from nixtamalized corn subjected to a sequential protein extraction. *Journal of Cereal Science*, 60(3), 490–496. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.08.008>
- Sharifi-Zahabi, E., Entezari, M. H., & Maracy, M. R. (2015). Effects of soy flour fortified bread consumption on cardiovascular risk factors according to apoe genotypes in overweight and obese adult women: A Cross-over Randomized Controlled Clinical Trial. *Clinical Nutrition Research*, 4(4), 225. <https://doi.org/10.7762/cnr.2015.4.4.225>
- Silva-Huilcapi, C. J., Alvarado-Alvarado, H. M., Cortez-Suarez, L. A., Mariscal-Santi, W. E., & Luna-Estrella, Z. B. (2018). Elaboración de pan con harina de trigo, enriquecido con harina de soya y fibra soluble para mejorar su valor nutritivo. *Polo Del Conocimiento*, 3(5), 18. <https://doi.org/10.23857/pc.v3i5.476>
- USDA. (2022). Food and Nutrition. <https://www.usda.gov/topics/food-and-nutrition>
- Vásquez, F., Verdú, S., Islas, A. R., Barat, J. M., & Grau, R. (2016). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Revista*

- Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 17(2), 307–317.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81349041018>
- Vásquez Lara, F. (2021). Efecto del tratamiento térmico en harina de avena utilizada en la sustitución de harina de trigo para la elaboración de pan. *Biocencia*, 23(2), 55–64. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v23i2.1388>
- Vásquez Lara, F., Soto Padilla, D., & Laura Cordero Fernández, D. (2018). Utilización de harina de sorgo tratada térmicamente como una alternativa en la sustitución de harina de trigo en panificación. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2), 267–280.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541013>
- Vásquez Lara, F., Verdú Amat, S., Islas Rubio, A., Barat Baviera, J. M., Grau Meló, R., & Casillas Peñuelas, R. (2017). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan. *Investigación y Ciencia*, 25(71), 19–26. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67452917003>
- Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina, I., Adriano-Anaya, L., Betancur-Ancona, D., & Salvador-Figueroa, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma (Vol. 66).
- Villaseñor Mir, H. E., Huerta Espino, J., Santa Rosa, R. H., Martínez Cruz, E., Espitia Rangel, E., Solís Moya, E., Osorio Alcalá, L., & Rodríguez García, M. F. (2018). Valles F2015: nueva variedad de trigo para siembras de temporal en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(6), 1315–1321. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.1592>
- Xu, Y., Sun, Q., Chen, W., Han, Y., Gao, Y., Ye, J., Wang, H., Gao, L., Liu, Y., & Yang, Y. (2022). The taste-masking mechanism of chitosan at the molecular level on bitter drugs of alkaloids and flavonoid glycosides from traditional chinese medicine. *Molecules*, 27(21), 7455. <https://doi.org/10.3390/molecules27217455>

## 6 CONCLUSIONES GENERALES

Los consumidores de guaje rojo de San Felipe Otlaltepec, identificaron a la influencia de los valores humanos sobre la frecuencia de consumo de tipo indirecta, congruente con el predominante significado psicológico utilitario; a su vez las mayores comunalidades de significados utilitarios correspondieron a gastronomía y economía, y la menos destacada a la conservación del recurso fitogenético.

La caracterización del extracto de proteína con proceso termoalcalino del guaje rojo, *Leucaena esculenta* (DC.) Benth, permitió identificar parcialmente su cantidad (49.82 %), su solubilidad (63 %) y la biodisponibilidad (40 %), con ello se podría considerar como una buena alternativa proteica.

La harina de guaje con proceso termoalcalino, es rica en aminoácidos esenciales como lisina (4.29 g/100 g harina) y leucina (3.67 g/100 g harina), puede tener diversos usos para darle un valor agregado, por ejemplo, en un pan de caja que se elaboró con harina de trigo y harina de guaje con diferentes proporciones. Los consumidores prefirieron en la aceptación global el pan A y el pan B, pero para el caso del análisis de penalización de las medias se obtuvo que el 32 % de los panelistas prefirió el pan B; y el otro 68 % prefirieron el pan A y C.

El potencial que tiene esta especie nativa de México, *Leucaena esculenta* (DC.) Benth, nos permite considerarla como una fuente importante de proteína y ser contemplada como parte de la sustentabilidad alimentaria, principalmente en las comunidades indígenas. Será necesario continuar con la investigación del uso del extracto proteico y otros usos de la harina, así como el estudio integral de esta especie con el fin de lograr su conservación y valorización como un recurso fitogenético que han protegido los pueblos originarios, a quienes les debemos este conocimiento.

## 7 ANEXOS

### Anexo 1: Artículo publicado.

**POLIBOTÁNICA** Núm. 56: 287-309 Julio 2023 ISSN electrónico: 2395-9525

**Percepción y significados del guaje rojo *Leucaena esculenta* (DC.) Benth. en la cultura Ngiwa de Puebla, México**

**Perception and meanings of the red guaje *Leucaena esculenta* (DC.) Benth. in the Ngiwa culture from Puebla, México**

García-Maceda, Guadalupe;  
Arturo Hernández-Montes;  
Ma. Carmen Ybarra-Moncada  
y Rocío Casañas-Pinental

**PERCEPCIÓN Y SIGNIFICADOS DEL GUAJE ROJO *Leucaena esculenta* (DC.) Benth. EN LA CULTURA NGIWA DE PUEBLA, MÉXICO**

**PERCEPTION AND MEANINGS OF THE RED GUAJE *Leucaena esculenta* (DC.) Benth. IN THE NGIWA CULTURE FROM PUEBLA, MÉXICO**

**POLIBOTÁNICA**  
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 56: 287-309, Julio 2023

DOI:  
10.18337/polibotanica.56.15

Guadalupe García-Maceda / [guadalupe.0311@gmail.com](mailto:guadalupe.0311@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-9069-6579>  
Arturo Hernández-Montes / [ahernandezmo@chapingo.mx](mailto:ahernandezmo@chapingo.mx)  
<https://orcid.org/0000-0003-1502-3101>  
Ma. Carmen Ybarra-Moncada / [mybarram@chapingo.mx](mailto:mybarram@chapingo.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-9634-008X>  
Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo,  
Carretera México-Tezcoco km. 38.5, Chapingo, 56230, Tezcoco de Mora, México.

Rocío Guadalupe Casañas-Pinental / [rg15cp@yahoo.com.mx](mailto:rg15cp@yahoo.com.mx)  
<https://orcid.org/0000-0003-3184-9675>  
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada,  
Instituto Politécnico Nacional,  
Calzada Legaria 694, Col. Irrigación, Miguel Hidalgo,  
Ciudad de México. C.P. 11500.

**RESUMEN:** El guaje rojo (*Leucaena esculenta* (DC.) Benth.) es una planta comestible distribuida ampliamente en México, particularmente en la región Ngiwa de Puebla. Con la percepción los usuarios obtienen conceptualizaciones funcionales, emocionales y abstractas de diversos productos en su entorno cultural. Los objetivos fueron: a) aplicar de la psicología social un método de la mercadotecnia para identificar las rutas de influencia de los valores humanos en el consumo del guaje rojo; y b) determinar los significados que consumidores nativos le otorgan a la planta. Se aplicó una encuesta a 200 consumidores preguntando la importancia de algunos atributos tangibles del guaje y de un conjunto de 40 valores humanos; se mostró una imagen del guaje y se solicitó mencionar tres palabras relacionadas con ella. Mediante análisis factorial se generaron factores usados en la construcción de modelos de regresión lineal múltiple. Tres modelos fueron ajustados para estimar los coeficientes de correlación múltiple  $R_{Modelo1}$ ,  $R_{Modelo2}$  y  $R_{Modelo3}$ . Tales modelos fueron conformados por: consumo en función de factores de atributos tangibles; consumo en función de factores de valores humanos más residuales de atributos tangibles; y consumo en función de factores de valores humanos. Una prueba de k-proporciones y el procedimiento de Marascuilo se aplicaron a frecuencias de palabras agrupadas por afinidad. La ruta directa se obtuvo de la diferencia  $R_{Modelo2} - R_{Modelo1}$  ( $\Delta R$ ); y la indirecta de  $R_{Modelo3} - (\Delta R)$ . La influencia directa no resultó significativa, indicando que los valores humanos fluyeron a través de la importancia de los atributos tangibles. El guaje rojo presentó mayor comunalidad de significados utilitarios (70.7%), dentro de estos, las mayores comunalidades fueron gastronomía (29.45%) y economía (22.75%); la menor comunalidad fue conservación de semillas (1.15%). Dentro de los significados psicológicos simbólicos, las mayores comunalidades fueron hedonismo (11.47%) e identidad (9.18%).  
**Palabras clave:** Recurso fitogenético, popoloca, cultura, alimento tradicional, comunalidades.

**ABSTRACT:** Red guaje (*Leucaena esculenta* (DC.) Benth.) is an edible plant widely distributed in Mexico, particularly in the Ngiwa region of Puebla. Users obtain functional, emotional, and abstract conceptualizations of various products in their