



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

---

**CAMPUS CÓRDOBA**

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN AGROINDUSTRIA

*EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DEL  
ALMIDÓN DE SEMILLA DE HUAUZONTLE (Chenopodium berlandieri Moq.)*

**LOURDES RAQUEL GARCÍA PÉREZ**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN AGROINDUSTRIA**

CÓRDOBA, VERACRUZ  
2013

---

La presente tesis titulada “EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DEL ALMIDÓN DE SEMILLA DE HUAUZONTLE (*Chenopodium berlandieri* Moq.)”, realizada por la alumna LOURDES RAQUEL GARCÍA PÉREZ, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA AGROINDUSTRIA  
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
Dra. DORA ANGELICA AVALOS DE LA CRUZ

DIRECTOR:   
Dr. HECTOR ALEJANDRO JIMENEZ AVALOS

ASESOR:   
Dr. VICTORINO MORALES RAMOS

ASESOR:   
Dr. JUAN ANTONIO PEREZ SATO

ASESOR:   
Dr. JOSÉ ANDRÉS HERRERA CORREDOR

Córdoba, Veracruz, marzo 2013

# EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DEL ALMIDÓN DE SEMILLA DE HUAUZONTLE (*Chenopodium berlandieri* Moq.)

Lourdes Raquel García Pérez, MT.

Colegio de Postgraduados, 2013

El Huauzontle es un pseudocereal que se consume en México y puede ser una alternativa de producción de almidón. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el rendimiento de almidón del huauzontle y sus características fisicoquímicas y funcionales, para determinar su posible uso industrial. El rendimiento utilizando NaOH fue muy bajo, 0.8%, con H<sub>2</sub>O al 50% v/p fue de 50%, mientras que para papa fue de 68.81% y 67.58% en maíz. El contenido de humedad fue de 17.00 %, cenizas 1.90%, materia grasa 0.06%, proteína 9.95% y carbohidratos 71.09 %. La capacidad de retención de agua (CRA) disminuyó al aumentar la temperatura, a 50°C fue 4.38 y a 80°C de 1.93 g de agua/g de muestra; similar comportamiento mostró el factor de hinchamiento (FH), al incrementar la temperatura a 50°C fue de 3.93 y a 80°C de 1.93 g de gel/g de sólidos solubles; el porcentaje de solubilidad presentó un comportamiento contrario a los dos anteriores, a 50°C de 0.08 y a 80°C de 0.084 g de sólidos solubles/g de muestra; la claridad de suspensión mostró una absorbancia de 0.22; la viscosidad fue comparable a la reportada para el almidón de papa, al aumentar la velocidad de corte incrementó la viscosidad; respecto a la retrogradación, el grado de sinéresis aumentó conforme transcurrió el tiempo, fue de 91.86, 93.99 y 95.58%, en 24, 48 y 72 h, respectivamente. El Huauzontle es una opción potencial para la extracción comercial de almidón dada su facilidad de extracción, rendimiento considerable y posibilidades diversas de uso en alimentos y la industria. Se sugiere desarrollar procesos de modificación de este almidón para mejorar sus propiedades funcionales.

Palabras clave: *Chenopodium berlandieri*, fisicoquímica del almidón, propiedades funcionales del almidón

EXTRACTION AND PHYSICOCHEMICAL AND FUNCTIONAL  
CHARACTERIZATION OF STARCH SEED HUAUZONTLE  
(*Chenopodium berlandieri* Moq.)

Lourdes Raquel García Pérez, MT.

Colegio de Postgraduados, 2013

The pseudocereal huauzontle is consumed in Mexico and may be an alternative starch production. The aim of this investigation was to assess the performance of huauzontle starch and their physicochemical and functional characteristics for their possible industrial use. The yield was very low using NaOH, 0.8%, with H<sub>2</sub>O to 50% v/p was 50%, while for potatoes was 68.81% and 67.58% in maize. The moisture content was 17.00%, 1.9% ash, 0.06% fat, 9.95% protein and 71.09% carbohydrate. The water binding capacity (WBC) decreased with increasing temperature, to 50°C was 4.38 and to 80°C of 1.93 g water/g sample; showed similar behavior swelling power (SP), by increasing the temperature to 50°C was 3.93 and to 80°C of 1.93 g gel/g soluble solids; the percentage solubility presented behavior contrary to the previous two, to 50°C of 0.08 and to 80°C of 0.084 g soluble solids/g sample; the suspension clearly showed absorbance of 0.22; the viscosity was comparable to that reported for potato starch, increasing the cutting speed increased the viscosity; retrogradation regarding, the degree of syneresis increased as time went on, was 91.86, 93.99 and 95.58% at 24, 48 and 72 h, respectively. The huauzontle is a potential option for the commercial extraction of starch due to its ease of extraction, considerable performance and possibilities of use in various food and industry. It is suggested develop processes modification of this starch to improve their functional properties.

Keywords: *Chenopodium berlandieri*, starch physicochemical, functional properties of starch

## **DEDICO ESTA TESIS A:**

Dios quien ha estado conmigo en cada decisión que he tomado.

Mis padres, Moisés y Ramona quienes con su paciencia, tolerancia, amor y ejemplo, me han permitido realizar un sueño más.

Gracias por apoyarme.

Los amo.

Mis hermanos, Moisés Francisco, Evangelina, Luis Edmundo, Carlos Alberto, Dulce Iracema, de quienes de una forma u otra siempre he tenido presente su apoyo.

Gracias.

A mis hijos, G. Moisés, Lourdes Atalya y Luisa Fernanda quienes me regalaron tiempo de su mamá para dedicarme a cumplir con esta meta, son lo más importante y valioso que tengo en mi vida.

Los amo

A mi esposo Javier.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Programa de Becas de Posgrado de alta calidad del programa de Mejoramiento del profesorado (PROMEP) por haberme otorgado la beca de titulación No. ITESAT-001 para desarrollar la parte experimental de mi investigación de maestría.

A la Dra. Dora Angélica Avalos de la Cruz, por su apoyo, confianza y motivación.

Al Dr. Héctor A. Jiménez y Dr. Leandro Chaires, por permitirme compartir parte de su investigación.

Al Ing. Alejandro Villanueva director del ITSAT, por su apoyo y asignación de tiempo a esta investigación.

A mis compañeros de Generación: Jacqueline, Vero, Maru, Maited, Evelyn y Fernando.

A mis compañeras y amigas de Trabajo Ere, Alba y Jacqueline por brindarme su amistad y apoyo, Gracias.

A la Línea Prioritaria de Investigación del CP, Agronegocios, agroecoturismo y arquitectura de paisaje, por el apoyo brindado a este trabajo de investigación.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Generalidades del huauzontle ( <i>Chenopodium berlandieri</i> Moq.).....	3
2.1.1. Clasificación botánica.....	4
2.1.2. Morfología.....	4
2.1.3. Origen y distribución geográfica.....	5
2.1.4. Hábitat del huauzontle.....	5
2.1.5. Usos alimenticios del huauzontle.....	6
2.1.6. Producción nacional de huauzontle.....	6
2.2. Generalidades del almidón.....	8
2.2.1. Estructura química del almidón.....	9
2.2.1.1. Amilosa.....	10
2.2.1.2. Amilopectina.....	11
2.2.2. Composición química del almidón.....	12
2.2.3. Propiedades funcionales del almidón.....	12
2.2.4. Correlación entre la gelatinización y tamaño de los gránulos.....	14
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>18</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
4.1. Objetivo General.....	19
4.2. Objetivos específicos.....	19
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
5.1. Acondicionamiento de la materia prima.....	20
5.2. Extracción y caracterización fisicoquímica del almidón.....	21
5.2.1. Extracción de proteína.....	23

5.2.2. Composición química del almidón.....	24
5.2.2.1. Humedad.....	24
5.2.2.2. Cenizas.....	24
5.2.2.3. Lípidos.....	24
5.2.2.4. Proteínas.....	24
5.2.2.5. Carbohidratos.....	24
5.3. Propiedades funcionales de los almidones.....	24
5.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA).....	25
5.3.2. Porcentaje solubilidad (% SOL).....	25
5.3.3. Factor de hinchamiento (FH).....	25
5.3.4. Claridad de las suspensiones.....	25
5.3.5. Retrogradación.....	26
5.3.6. Comportamiento al flujo.....	26
5.4. Análisis estadístico.....	26
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
6.1. Rendimiento de almidón.....	27
6.2. Composición química proximal.....	27
6.3. Propiedades funcionales.....	29
6.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA).....	29
6.3.2. Porcentaje de solubilidad (% SOL).....	29
6.3.3. Factor de hinchamiento (FH).....	30
6.3.4. Claridad de suspensión.....	31
6.3.5. Retrogradación.....	31
6.3.6. Comportamiento al flujo.....	32
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>9. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>36</b>



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Planta de <i>Chenopodium berlandieri</i> . Moq.....	3
Figura 2. Inflorescencias maduras de la planta de huauzontle.....	4
Figura 3. Semilla de huauzontle vista en microscopio.....	5
Figura 4. Estructura química de la amilosa.....	10
Figura 5. Estructura química de la amilopectina.....	11
Figura 6. Variación de la viscosidad de los gránulos de almidón.....	14
Figura 7. Gránulos de almidón de papa.....	15
Figura 8. Acondicionamiento de la semilla de huauzontle.....	20
Figura 9. Semilla de huauzontle deshidratada y limpia.....	21
Figura 10. Proceso de extracción de almidón.....	21
Figura 11. Hidratación de 100 g de semilla de huauzontle.....	22
Figura 12. Mezcla refrigerada de semilla de huauzontle.....	22
Figura 13. Almidón secado en estufa a 40°C por 24 h.....	23
Figura 14. Proceso de extracción de proteína del almidón.....	23
Figura 15. Comportamiento de la viscosidad de mezcla de almidón 1%..	33
Figura 16. Comportamiento de la Viscosidad de mezcla de almidón 2%..	33

## LISTA DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Producción de huauzontle por entidad federativa.....	7
Cuadro 2. Producción de huauzontle por municipio estado de Puebla...	7
Cuadro 3. Composición química de almidones comerciales.....	12
Cuadro 4. Propiedades generales de algunos gránulos de almidón....	17
Cuadro 5. Comparación de rendimiento de almidón de varias fuentes...	27
Cuadro 6. Composición química proximal del almidón de huauzontle...	28
Cuadro 7. Capacidad de retención de agua del almidón de huauzontle..	29
Cuadro 8. Factor de hinchamiento del almidón de huauzontle.....	30
Cuadro 9. Porcentaje de solubilidad del almidón de huauzontle.....	30
Cuadro 10. Claridad de suspensión del almidón de huauzontle.....	31
Cuadro 11. Retrogradación a 24, 48 y 72 h del almidón de huauzontle...	31

## 1. INTRODUCCIÓN

El almidón se almacena como carbohidrato de reserva en diferentes órganos de plantas: hojas, semillas, tubérculos, raíces y frutas. Los almidones y sus derivados constituyen la mayor cantidad de carbohidratos ingeridos en la dieta humana (Manrique *et al.*, 2007); proporciona del 70 al 80% de las calorías consumidas habitualmente en todo el mundo (Hernández *et al.*, 2008). Del mismo modo, el almidón es utilizado en grandes cantidades para la preparación de productos alimenticios, sin considerar el utilizado en harinas de panadería en general.

Comercialmente los almidones se obtienen de las semillas de cereales como maíz, maíz céreo, maíz rico en amilosa, trigo, varios tipos de arroz y de algunas raíces y tubérculos como la papa, batata y tapioca. Tanto los almidones nativos como los modificados tienen un gran potencial de aplicaciones en los alimentos: adhesivo, ligante, enturbiante, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, texturizante y espesante (Hernández *et al.*, 2008). En México la producción de cereales tradicionales no es suficiente para consumo humano, alimentación animal y uso industrial, por lo que se importan millones de toneladas de estos granos. Ante dicha situación, es necesario buscar alternativas en productos no tradicionales de la familia de cereales ricos en almidón, que no han sido aprovechados como fuente de almidón y pueden ser materias primas con similares bondades.

Las características fisicoquímicas, estructurales y funcionales del almidón se han reportado en trigo, papa, maíz y arroz, gracias a su gran importancia comercial, y se ha limitado el estudio en fuentes no convencionales. La tendencia actual es la búsqueda de fuentes alternativas para obtener almidones que presenten diversidad en dichas características y que amplíen la gama de usos en la industria. En este sentido, surge el interés de evaluar materias primas alternativas dentro de la familia de los pseudocereales como el huauzontle.

El Huauzontle (*Chenopodium berlandieri* Moq.) es una planta dicotiledónea, integra el grupo de los pseudocereales, a diferencia de los verdaderos cereales como el maíz, trigo y arroz que pertenecen a las monocotiledóneas (producen semilla con alto contenido de harina apta para panificación). Es una especie que tuvo su lugar de origen y dispersión en Mesoamérica y junto con el maíz, frijol, chile, calabaza, aguacate, amaranto, cacao, entre otros, fueron especies que México aportó al mundo, domesticadas por las culturas prehispánicas. Produce miles de semillas en una flor única o inflorescencia, posee un valor nutritivo excepcional, por lo que se considera un cultivo con amplio potencial dada su rusticidad, tolerancia a sequías, heladas, salinidad, alcalinidad, etc. El cultivo tolera temperaturas inferiores a 0°C por periodos cortos, lo que permite cultivarlo en regiones semidesérticas en el ciclo otoño-invierno y contar con la producción en el periodo de la Semana Santa, cuando existe la mayor demanda por los platillos que se preparan con la inflorescencia.

Este alimento de origen prehispánico ha conservado su consumo dadas las tradiciones y cultura de los pueblos indígenas, quienes aprecian su alto valor nutritivo; esto es de gran importancia si se considera que en la actualidad la humanidad depende básicamente de tres cereales: el arroz, el trigo y el maíz, y un tubérculo: la papa.

El objetivo de este trabajo de investigación fue extraer el almidón de la semilla del Huauzontle por varios métodos y seleccionar el más apropiado según su rendimiento, estudiar sus características fisicoquímicas y funcionales al evaluar parámetros como la Capacidad de Retención de Agua (CRA), Porcentaje de Solubilidad (% SOL), Factor de Hinchamiento (FH), Claridad de las Suspensiones, Retrogradación; y finalmente, comparar sus propiedades con las del almidón de papa y maíz, con el fin de proponer un posible aprovechamiento industrial.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del huauzontle (*Chenopodium berlandieri* Moq.)

El huauzontle (del Náhuatl huautzontli, literalmente traducido: 'bledo como cabello', de huautli 'bledo' y tzontli 'cabello'.) significa buena vida o vida fuerte. Otros nombres comunes son huauhzonle, huanzonle y guausoncle. Es un grupo de plantas comestibles nativas de México y Norteamérica, conocido también como el quelite de manteca, se desarrolla en regiones templadas y se distribuye por buena parte del continente americano (Figura 1).



Figura 1. Planta de *Chenopodium berlandieri*. Moq. mostrando sus inflorescencias. Foto de Hugh Wilson, por cortesía de la Biblioteca Vacuar imagen Plant, de Texas A & M University.

En la época de Moctezuma el huauzontle era el cuarto cultivo en importancia junto con el amaranto, después del maíz, el frijol y la chíá. Diversos pueblos pagaban tributo al imperio azteca en forma de huauzontle. Después de la conquista española su cultivo y consumo quedó prohibido, sobreviviendo en zonas muy apartadas. El huauzontle como el amaranto, es muy tolerante al clima frío y seco, y crece en suelos pobres. Tiene un alto valor nutritivo, lo que puede ser una excelente alternativa de producción para regiones con limitantes en la siembra de otro tipo de cereales.

Normalmente se consumen las hojas, las ramas, las flores y las semillas del huauzontle. Aunque como platillo se consume en todo México, es más común en el centro del país, especialmente en los estados de Tlaxcala, Estado de México, el sur del Distrito Federal y Puebla.

### 2.1.1. Clasificación botánica

El Huauzontle pertenece al reino Plantae, clase Magnoliophyta, orden Caryophyllales, familia Amaranthaceae, género *Chenopodium*; la especie *berlandieri* incluye la subespecie *nuttalliae* y las variedades: *berlandieri*, *boscianum*, *bushmanum*, *macrocalycium*, *sinuatum*, *zschackii*.

Es una especie variable, taxonómicamente complicada, según varios autores existen más de una docena de entidades subespecíficas (Isaías *et al.*, 2008).

### 2.1.2. Morfología

La planta de huauzontle es anual, de rápido crecimiento, erecta, considerada como maleza, con una altura de 100 a 105 cm; hojas de forma variable, normalmente triangulares, alternas, astadas, onduladas, pecioladas, de 1.2 a 12 cm (raramente de 15 cm) de largo y 0.5 a 7 cm (raramente de 9 cm) de ancho (Figura 2).



Figura 2. Inflorescencias en madurez comercial de la planta de huauzontle.

La planta está cubierta por una especie de polvillo amarillento, tiene una raíz muy ramificada y tallo surcado;; las flores se reúnen en espigas terminales con cinco sépalos de color verdoso; el fruto comprimido contiene semillas reniformes con abundante albumen (Figura 3), y alcanza el medio metro de altura.

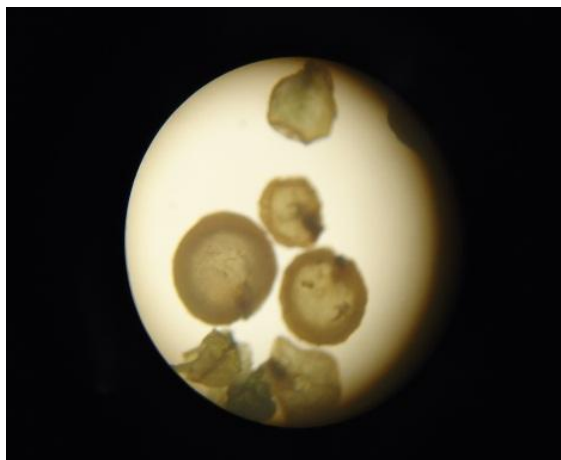


Figura 3. Semilla de huauzontle vista en microscopio, con objetivo 40X.

### **2.1.3. Origen y distribución geográfica**

El *Chenopodium* es una planta de origen Norteamericana, distribuida desde el sur de Canadá hasta Guatemala, en México es una planta nativa común en los estados de Baja California Norte, Campeche, Chihuahua, Distrito Federal, Durango, Nuevo León, Oaxaca, Sonora, Veracruz y Puebla (Villaseñor y Espinosa, 1998). El estado de Puebla es el principal productor de huauzontle.

### **2.1.4. Hábitat del huauzontle**

Soporta temperaturas bajo 0°C por periodos cortos, su temperatura mínima mensual de crecimiento es de 5°C. La adaptabilidad a las temperaturas bajas es de importancia económica, debido a que la mayor demanda como verdura coincide con el periodo de la Semana Santa.

Es una especie exigente en suelo, prefiere terrenos fértiles, ligeramente húmedos, profundos, de buena estructura física y de reacción química equilibrada, bien drenado, de consistencia media, ligeramente suelto, rico en materia orgánica y nitrógeno. En

suelos ácidos con pH inferior a 6.5 no desarrolla, con pH ligeramente alcalino se produce el enrojecimiento del peciolo y en pH elevado es muy susceptible a la clorosis (SIAP, 2012).

La recolección consiste en cortar las inflorescencias más desarrolladas, dando aproximadamente 5 ó 6 pasadas a un cultivo, cuando se comercializa la planta entera, se corta cada planta por debajo de la roseta de vainas a 10 cm sobre la tierra, en este caso se dará solo una pasada (SIAP, 2012).

Se ha reportado la siguiente composición para la semilla de huauzontle: 42.2% de carbohidratos totales, 1% de azúcares, 15% de cenizas, 4% de grasa y 5.6% de humedad (Fernández *et al.*, 2008). El almidón es uno de los componentes más importantes del huauzontle, por lo que se ha sugerido perfeccionar su extracción y proponerlo como fuente alternativa de producción de almidón, incentivando su cultivo y resaltando sus características nutricionales.

#### **2.1.5. Usos alimenticios del huauzontle**

A diferencia de otros cultivos, no existen referencias sobre el uso en productos alimenticios del huauzontle, considerando los limitados registros históricos y etnográficos.

El tipo salvaje de *Chenopodium berlandieri* es la mejor estudiada de las especies. El follaje es rico en calcio y vitamina A, comparable a las espinacas. No hay estudios nutricionales para semillas de tipo salvaje del huauzontle, pero estudios de quínoa indican que es comparable al trigo en energía y superior en proteína ya que contiene más lisina y una serie balanceada de aminoácidos. Carece de gluten, un alérgeno común que se encuentra en el trigo. También es superior en calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, cobre, manganeso y zinc a cualquiera de los cereales (arroz, trigo, cebada, avena o maíz).

#### **2.1.6. Producción nacional de huauzontle**

En nuestro país, la producción registrada de huauzontle es de 304.2 hectáreas sembradas (Cuadro 1), lo que representa un valor de la producción de \$7,376.49 miles



de pesos, de los cuales Puebla participa con 90%, resultado de 284.2 hectáreas sembradas, una producción de 3,379.8 toneladas y rendimiento de 12 t/ha, la producción restante es aportada por los estados de Guerrero y Tlaxcala.

Cuadro 1. Producción de huauzontle por entidad federativa.

<b>Estado</b>	<b>Superficie Cosechada (ha)</b>	<b>Producción (t)</b>	<b>Valor de la Producción (Miles de Pesos)</b>
Guerrero	5.00	9.00	76.50
Puebla	284.00	3,379.80	6,635.86
Tlaxcala	15.00	179.50	664.14
<b>Total</b>	<b>304.00</b>	<b>3,568.30</b>	<b>7,376.49</b>

(SIAP-SAGARPA, 2012).

Como se aprecia en el cuadro 2, la mayor producción del estado de Puebla se concentra en el municipio de Atlixco con 60% de la superficie sembrada.

Cuadro 2. Producción de huauzontle por municipio, estado de Puebla.

<b>Municipio</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Producción (t)</b>	<b>Valor de la producción (Miles de pesos)</b>
Atlixco	172	2,278.22	4,642.18
Huaquechula	36	384.96	968
San Jerónimo			
Tecuanipan	6	120.12	432.43
San Martín			
Texmelucan	5	25.15	25.35
San Salvador			
El Verde	15	90.81	90.17
Santa Isabel			
Cholula	50	480.54	477.72

(SIAP-SAGARPA, 2012).

## **2.2. Generalidades del almidón**

El incremento acelerado de la población humana ha obligado a producir más y mejores alimentos para afrontar las demandas alimenticias y nutrimentales. Actualmente la búsqueda de alternativas a cultivos sobreexplotados, como son especies vegetales nativas con bajos requerimientos de insumos y poco deterioro ambiental, que brinden productos nutricionalmente más completos, son una opción para afrontar la demanda de alimentos, conservando el medio ambiente mediante prácticas de agricultura sustentable. En esta perspectiva, el empleo de especies subutilizadas con alto valor nutrimental, adaptadas a condiciones adversas de ambiente como los pseudocereales, es una alternativa que aporta soluciones viables principalmente en zonas marginadas.

El almidón es el carbohidrato más abundante, se encuentra en diversos órganos de la planta incluyendo las semillas, frutas, tubérculos y las raíces, donde se utiliza como fuente de energía durante períodos de inactividad y de crecimiento. Provee de importantes características nutricionales y funcionales a los productos elaborados con esta materia prima. En años recientes, el conocimiento de la estructura del almidón y de las enzimas que están implicadas en su biosíntesis ha aumentado, debido a que estas definen su estructura molecular, lo que repercute en sus características morfológicas, fisicoquímicas y propiedades funcionales (James *et al.*, 2003). Las fuentes industriales más importantes de almidón son el maíz, trigo, papa, tapioca y arroz (Bastioli, 2005).

Este polisacárido es versátil por su variedad de usos, también es uno de los ingredientes más importantes a nivel industrial. Su uso se remonta a la época de los egipcios donde fue utilizado para la elaboración de papiro y adhesivos, los romanos lo utilizaron para blanquear y dar firmeza a textiles (Dziedzic y Kearsley, 2003). En la industria alimentaria, el almidón se usa para impartir una amplia gama de propiedades funcionales y es probablemente el hidrocoloide más utilizado (Rudrapatnam y Tharanathan, 2005), puede ser espesante, encapsulador de sabor, agente de relleno, y sus usos en la industria no alimentaria incluye la textil, papel, cosméticos, plásticos, farmacéuticos; y en manufactura, utensilios de comida rápida ya que ha ido ganando

atención como empaque (Rahul *et al.*, 2005). El almidón es parte de los carbohidratos o polisacáridos que, junto con los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos, constituyen las cuatro clases principales de moléculas biológicamente activas (Bailey y Bailey, 1998).

La utilización de éste como componente alimenticio, se basa en sus propiedades de interacción con el agua, especialmente en la capacidad de formación de geles. También por la interacción con otros componentes de los alimentos, como proteínas, lípidos y otros carbohidratos. Abunda en los alimentos amiláceos (cereales, tubérculos) de los que se puede extraer fácilmente y es el componente biodegradable más económico con estas propiedades. Respecto a las propiedades funcionales de los almidones, la mayor parte de las empresas comerciales estudian las características de los almidones en aplicaciones específicas.

Cuando los almidones nativos no pueden satisfacer estas características, se tiene la opción de añadirles valor a través de la modificación de sus propiedades y ampliar la utilidad de este carbohidrato en innumerables aplicaciones industriales. Los procesos de modificación van encaminados a cambiar las características e integridad del gránulo de almidón, con la finalidad de modificar sus propiedades de gelatinización, cocimiento, retrogradación y/o gelificación (Manrique *et al.*, 2007).

La diversidad de propiedades funcionales específicas de los almidones necesarios para la industria alimenticia es casi ilimitada. Ningún otro ingrediente proporciona textura a gran variedad de alimentos como el almidón. En sopas, salsas, relleno para pays o flanes, entre muchos otros, el almidón otorga al producto consistencia y estabilidad durante el almacenamiento, lo que exige el consumidor.

### **2.2.1. Estructura química del almidón**

El almidón es un polisacárido de reserva, producto final de la fijación fotosintética del CO<sub>2</sub> atmosférico, formado por residuos de D-glucosa unidos mediante enlaces glucosídicos. Es un glucano organizado en forma de gránulos insolubles, donde las cadenas de glucosa presentan un empaquetamiento denso y altamente ordenado. Este

tipo de empaquetamiento hace que el almidón presente una presión osmótica prácticamente despreciable lo que permite a las plantas almacenar grandes reservas de glucosa en forma de gránulos insolubles, sin perturbar las relaciones hídricas en la célula (Sivack y Preiss, 1998).

Químicamente el almidón es un polisacárido homogéneo formado por una mezcla de dos polisacáridos (dos polímeros de unidades de glucosa) estructuralmente diferentes: amilosa, de carácter esencialmente lineal, y la amilopectina, altamente ramificada y de mayor peso molecular (Van Soest y Vliegthart, 1997).

Dichos polímeros del almidón representan de 98-99% del peso seco del material de origen. La relación amilosa/amilopectina varía de acuerdo al origen botánico del almidón, el clima y tipo de suelo, y las cantidades relativas de estos dos polímeros y su organización física dentro de la estructura granular le confiere propiedades fisicoquímicas y funcionales particulares a cada almidón (Bello, 1995; Singh *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2007). La estructura de la mayoría de los almidones está conformada por 20% de amilosa y 80% de amilopectina (Peñaranda *et al.*, 2008).

### 2.2.1.1 Amilosa

La amilosa es un polisacárido constituido por largas cadenas de residuos de glucosa dispuestas en forma helicoidal, es producto de la condensación de D-glucopiranosas en las que 99% de las moléculas se unen por enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1,4), establecen cadenas lineales con 200 a 2500 unidades. Es una  $\alpha$ -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una formación tridimensional helicoidal (Badui, 2006) (Figura 4).

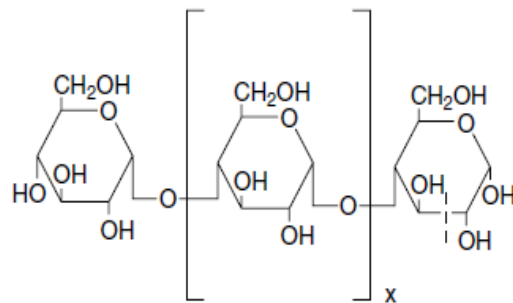


Figura 4. Estructura química de la amilosa (Bemiller y Whistler, 2009).

Es la responsable de la formación de complejos amilosa-yodo de un característico color azul intenso (Whistler y Daniel, 1984; Stick, 2001; Singh *et al.*, 2003).

El almidón céreo contiene menos del 15% de amilosa, el almidón normal contiene de 20-35% amilosa y el amilo almidón posee más del 40% (Tester, 2004).

### 2.2.1.2. Amilopectina

La amilopectina (Figura 5) es un polisacárido formado por unidades de glucosa y presenta una estructura ramificada (Badui, 2006). El grado de polimerización de estas ramificaciones varía de 10 a 60 residuos de glucosa unidos por enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1,4). Las ramificaciones se localizan a una distancia de 10 a 15 residuos de glucosa en la cadena principal de la molécula, a la cual se unen mediante enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1,6).

La amilopectina está asociada con las regiones cristalinas del gránulo de almidón, conocidas como regiones A, B y C; que difieren en el empaquetamiento de la doble hélice de la estructura (Singh *et al.*, 2003). El tipo A es característico en almidones de cereales, el B se presenta en almidones de tubérculos y de alta amilosa y el C (mezcla de A y B), se presenta en almidones de tubérculos y legumbres (Jayakody y Hoover, 2008).

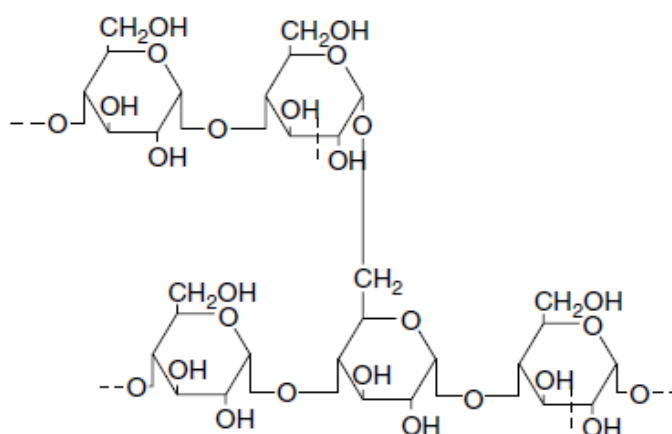


Figura 5. Estructura química de la amilopectina (Bemiller y Whistler, 2009).

### 2.2.2. Composición química del almidón

La composición química de los almidones comerciales depende de la fuente botánica, del proceso de obtención y purificación, y de las condiciones de almacenamiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición química promedio de almidones comerciales.

Fuente	Humedad <sup>1</sup>	Lípidos	Proteínas <sup>2</sup>	Cenizas
Maíz	13	0.60	0.35	0.10
Papa	19	0.05	0.06	0.40
Trigo	14	0.80	0.40	0.15
Tapioca	13	0.10	0.10	0.20
Maíz céreo	13	0.20	0.25	0.07
Arroz	--	0.80	0.45	0.50

1.- Determinado a una humedad relativa del 65%.

2.- Estimado de acuerdo al % de nitrógeno x 6.25 (Beynum y Roels, 1985).

El agua normal de hidratación de los almidones se localiza en el carbono 6 de los residuos de glucosa y su contenido depende de la fuente y procedimiento de obtención, del proceso de secado y de la humedad relativa del medio. El contenido de humedad en los gránulos de almidón de cereales es de 10 a 12% y de 14 a 19% en almidones de tubérculos y raíces. Un contenido superior de humedad puede ocasionar daño microbiano y por tanto el deterioro en la calidad del polímero. Los almidones también contienen pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, fósforo y trazas de materiales inorgánicos (Beynum y Roels, 1985; Moorthy, 2002).

### 2.2.3. Propiedades funcionales del almidón

Las propiedades funcionales dependen de las características físicas y químicas (estructura granular y molecular) como el tamaño del gránulo, la distribución de éste, proporción de amilosa/amilopectina y el contenido de minerales (Singh *et al.*, 2007).

El almidón proveniente de una misma fuente botánica es una mezcla integrada por gránulos de distinto tamaño, los cuales difieren tanto en su composición química como en sus propiedades endotérmicas que finalmente repercuten en las características particulares de cada tipo de almidón. Los gránulos pequeños presentan un mayor contenido de amilosa en comparación con los gránulos de mayor tamaño (Pomeranz, 1991).

Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales son las funcionales: solubilidad, hinchamiento, absorción de agua, sinéresis y comportamiento reológico de sus pastas y geles (Wang y White, 1994).

Las propiedades funcionales en almidones nativos son deseables para ciertas aplicaciones. La gelatinización en presencia de agua, pasa de un estado ordenado (estructura cristalina) a un estado desordenado mediante la absorción de calor; es la transformación de los gránulos insolubles del almidón en una solución de moléculas individuales (amilosa/amilopectina) (Figura 6).

Al incrementar la temperatura se retiene más agua y el gránulo se hincha y aumenta de volumen (Badui, 2006), que junto con su morfología juegan un papel importante en el comportamiento reológico de las dispersiones del almidón (Sandhu y Singh, 2007).

La gelatinización es la disrupción del ordenamiento de las moléculas en los gránulos. La pérdida de orden puede estar dada por el hinchamiento irreversible del gránulo, la pérdida de la birrefringencia y la pérdida de la cristalinidad (Belitz y Grosch, 1997; Fennema, 2000). Según estos autores, en el proceso de gelatinización primero se produce una difusión de agua al grano, seguida de una fusión en la zona cristalina favorecida por hidratación y finalmente, una disolución conforme aumenta el hinchamiento debido a que continúa la difusión de agua, se rompen principalmente puentes de hidrógeno entre las cadenas de glucosa de los cristales y en parte de la zona amorfa.

La temperatura de gelatinización es la que permite alcanzar el máximo de viscosidad y se pierden la birrefringencia y el patrón de rayos X; generalmente es un intervalo dado que los gránulos aunque provengan de la misma fuente botánica, tienen diferente composición y grado de cristalinidad, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros (Badui, 2006).

El almidón es poco soluble en agua fría debido a que la amilosa y la amilopectina están unidas mediante puentes de hidrógeno, formando una estructura compleja a través de la participación de segmentos de otras moléculas individuales, su solubilidad depende de la cantidad disponible de éstos polímeros en el medio (Banks y Greenwood 1986).

#### 2.2.4. Correlación entre la gelatinización y el tamaño de los gránulos

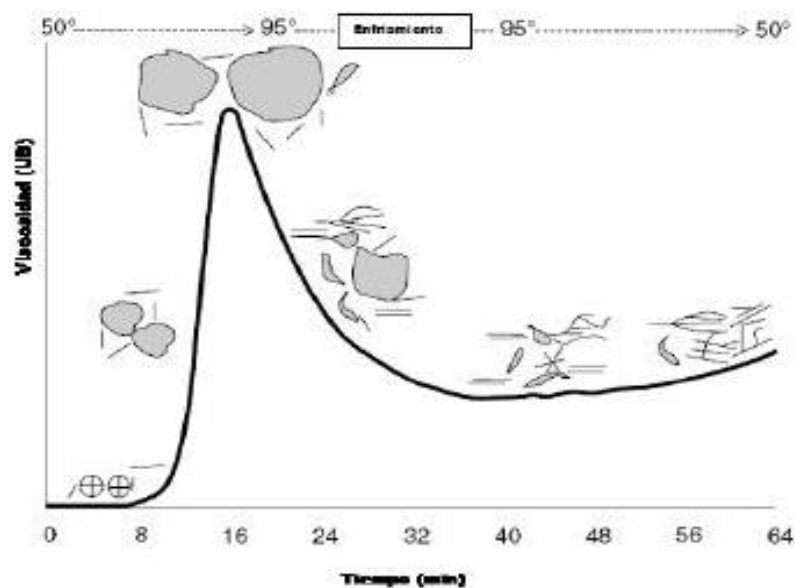


Figura 6. Variación de la viscosidad de los gránulos de almidón a diferentes temperaturas (Bernal y Martínez, 2006; Atwell, 1994).

El almidón absorbe agua hasta alcanzar el equilibrio con el medio circundante y el proceso es reversible cuando el agua es fría, la absorción de agua fría hace que el gránulo presente un hinchamiento incrementando el tamaño de su diámetro hasta un 10% (Seib y Stearns, 1972). La absorción de agua caliente está determinada por la fuerza de unión de la estructura del gránulo de almidón, que depende del grado de



asociación molecular entre la amilosa y la amilopectina (Leach, 1965). Esta estructura presenta un límite en su elasticidad y por ello los gránulos poseen una limitada capacidad para absorber agua caliente con un hinchamiento reversible. Este proceso llega a ser irreversible cuando son rotos los puentes de hidrógeno que unen las moléculas de la estructura, ya sea por calor, agentes químicos, mecánicos o por combinación de ambos, en presencia de una cantidad suficiente de agua (Rasper, 1980).

La birrefringencia es un indicador del grado de orden en los gránulos de almidón (Thomas y Atwell, 1999), indica la capacidad que tienen los gránulos para refractar la luz en dos direcciones (dos índices de refracción), por lo que cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta” (Figura 7), presentando en el centro un hilio que indica un alto grado de orden molecular dentro del granulo, sin hacer referencia a ninguna forma cristalina ( Wistler y Daniels, 1984).

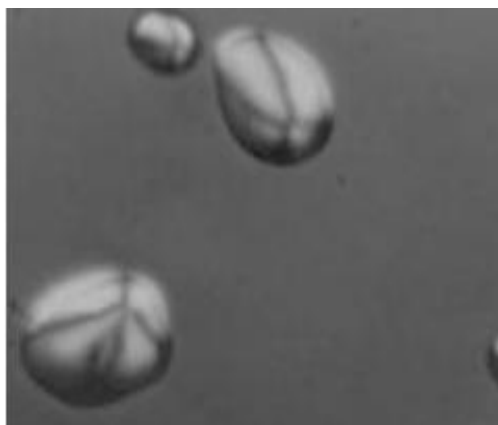


Figura 7. Gránulos de almidón de papa mostrando la “cruz de malta” (Jiménez, 2006).

La Gelación es la propiedad que adquiere el almidón después de la gelatinización, donde las moléculas de amilosa y amilopectina pueden considerarse "disueltas". Durante el enfriamiento, la dispersión de almidón gelatinizado adquiere dependiendo de la concentración, una consistencia de pasta suave o gel (Doublier y Choplin, 1989).

Cuando la pasta o gel de almidón es almacenada por largos períodos de tiempo, las moléculas de amilosa presentan cierta tendencia fuerte a reasociarse a través de la formación de enlaces de hidrógeno con moléculas de amilosa adyacentes.

El grado de hinchamiento y desintegración del gránulo, al igual que la exudación de la amilosa, depende del tipo y concentración del almidón, temperatura, presencia de otros solutos y el corte o agitación aplicada durante el calentamiento (Lineback y Rasper, 1988).

La Retrogradación se define como la insolubilización y la precipitación espontánea principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente y accionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos. Se puede efectuar por diferentes rutas que dependen de la concentración y de la temperatura del sistema. Si se calienta una solución concentrada de amilosa y se enfría rápidamente hasta alcanzar la temperatura ambiente se forma un gel rígido y reversible, pero si las soluciones son diluidas, se vuelven opacas y precipitan cuando se dejan reposar y enfriar lentamente. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación que está relacionada con su contenido de amilosa (Badui, 2006).

De acuerdo a Linden y Lorient (1996), dicha propiedad corresponde a la formación de ligaduras entre las cadenas de las moléculas alineadas. De ello resulta el fenómeno de sinéresis, con eventual exudación de líquido y caída de la viscosidad. La retrogradación es más rápida cuando más elevada es la proporción de amilosa lineal.

La tendencia a la retrogradación se favorece con temperaturas bajas, en torno a los 0°C, pH neutro, concentraciones altas y con la presencia de sustancias tensioactivas; depende del peso molecular y del tipo de almidón, y aumenta en la serie papa < maíz < trigo (Belitz y Grosch, 1997). En los siguientes datos (Cuadro 4), se muestran algunas propiedades del almidón de maíz y de papa.

Cuadro 4: Propiedades generales del almidón de maíz, maíz céreo y papa.

	<b>Almidón de maíz común</b>	<b>Almidón de maíz céreo</b>	<b>Almidón de papa</b>
Tamaño de gránulo (eje mayor, $\mu\text{m}$ )	2 - 30	2 - 30	5 - 100
Amilosa (%)	28	< 2	21
Temperatura de gelatinización ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>a</sup>	62 - 80	63 - 72	58 - 65
Tendencia a gelificar/retrogradar	Alta	Muy baja	Media a baja

<sup>a</sup> Desde la temperatura inicial de gelatinización hasta completar la formación de pasta (Fennema, 2000).

El maíz tiene gran valor nutritivo como fuente de energía por su alto contenido de carbohidratos, donde la fibra y el almidón son los más abundantes. El grano maduro de maíz presenta en promedio de 72% de almidón, ubicado principalmente en las células del endospermo. El contenido de fibra dietética varía de 8 a 14%, en su gran mayoría fibra insoluble (95%). Los azúcares libres constituyen sólo el 2% del grano en base seca. Los monosacáridos son principalmente D-fructosa y D-glucosa; y los disacáridos y trisacáridos se componen de sacarosa y rafinosa, respectivamente (Inglett, 1970).

El almidón de algunas fuentes no convencionales ha sido estudiado en estado nativo: avena, frijol, chícharo, lenteja, tubérculo de chayote, jícama, sorgo, yam chino, tero, sago (Kim *et al.*, 1997; Pérez *at al.*, 1997; Hoover *et al.*, 2003; Srichuwong *et al.*, 2005; Jiménez *et al.*, 2007; Stevenson *et al.*, 2007; Sandhu y Lim, 2008). Investigaciones recientes han reportado resultados importantes en la utilización de pseudocereales, los cuales tienen semillas con alto contenido de harina apta para panificación.

Las industrias requieren de almidones específicos para la fabricación de sus productos. En la actualidad el maíz es el más utilizado, siendo necesaria la búsqueda de fuentes alternativas dada la demanda de otras industrias y el incremento del precio de este producto.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El almidón más utilizado en la industria es el extraído a partir de cereales. El huauzontle es una fuente de carbohidratos con gran potencial para la obtención comercial de almidón, dadas sus características y la facilidad de su extracción.

La diversidad de usos del huauzontle en las regiones productoras permitiría la expansión del cultivo si se tiene una alternativa adicional de consumo, considerando su rusticidad y adaptación a condiciones extremas de clima. Es necesaria la búsqueda de fuentes alternativas de extracción de almidón dada la demanda mundial actualmente insatisfecha de 48.5 millones de toneladas.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

Determinar propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón extraído de la semilla de huauzontle.

### **4.2 Objetivos específicos:**

Seleccionar y aplicar el método de extracción de almidón de la semilla de huauzontle.

Evaluar el rendimiento de almidón en la semilla de huauzontle.

Determinar las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de la semilla del huauzontle.

## 5. METODOLOGÍA

La planta de huauzontle se adquirió en el municipio de Cholula, Puebla. El almidón de maíz se adquirió en tienda de autoservicio del municipio de Cerro Azul, Veracruz, y el almidón de papa se obtuvo por el método de Ganga y Corke (1999). Este trabajo de investigación se dividió en tres etapas, con el fin de desarrollar de manera organizada la metodología, que fueron: acondicionamiento de la materia prima, extracción y caracterización, y propiedades funcionales del almidón.

### 5.1. Acondicionamiento de la materia prima

La planta de huauzontle fue separada en hojas, tallos y flor o semilla; ésta última fue colocada en charolas y secada en estufa de vacío Genlab Termal Control, a 35°C por 24 h (Figura 8). Posteriormente se pasó por un tamiz de 1.40 mm (Montinox, México) para separar la semilla (Figura 9).

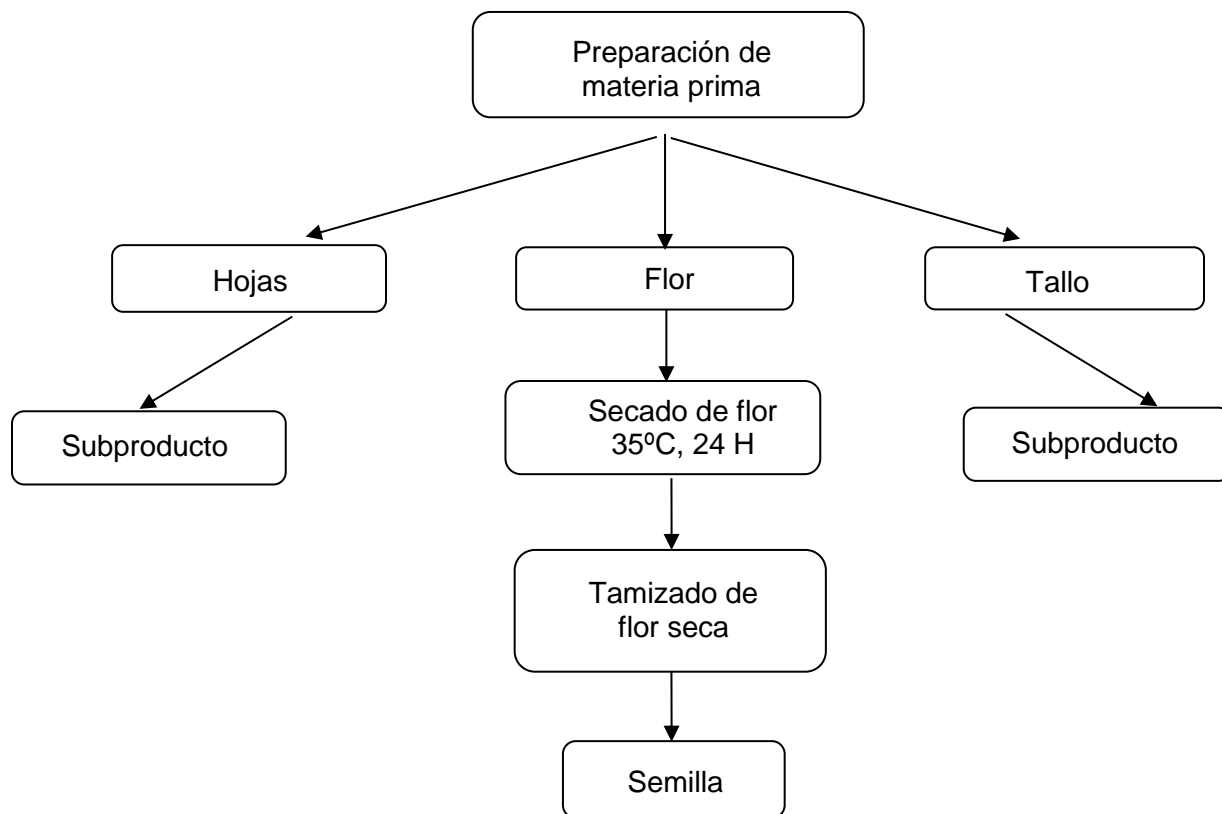


Figura 8. Fases de acondicionamiento de la semilla de huauzontle para obtención de almidón.



Figura 9. Semilla de huauzontle deshidratada y limpia, lista para la extracción de almidón.

## 5.2. Extracción del almidón

Para la extracción del almidón se utilizaron tres métodos: alcalino, hidratación con NaOH y con agua. Se seleccionó el método modificado de Atwell *et al.* (1982), con el que se obtuvo mayor rendimiento (Figura 10).

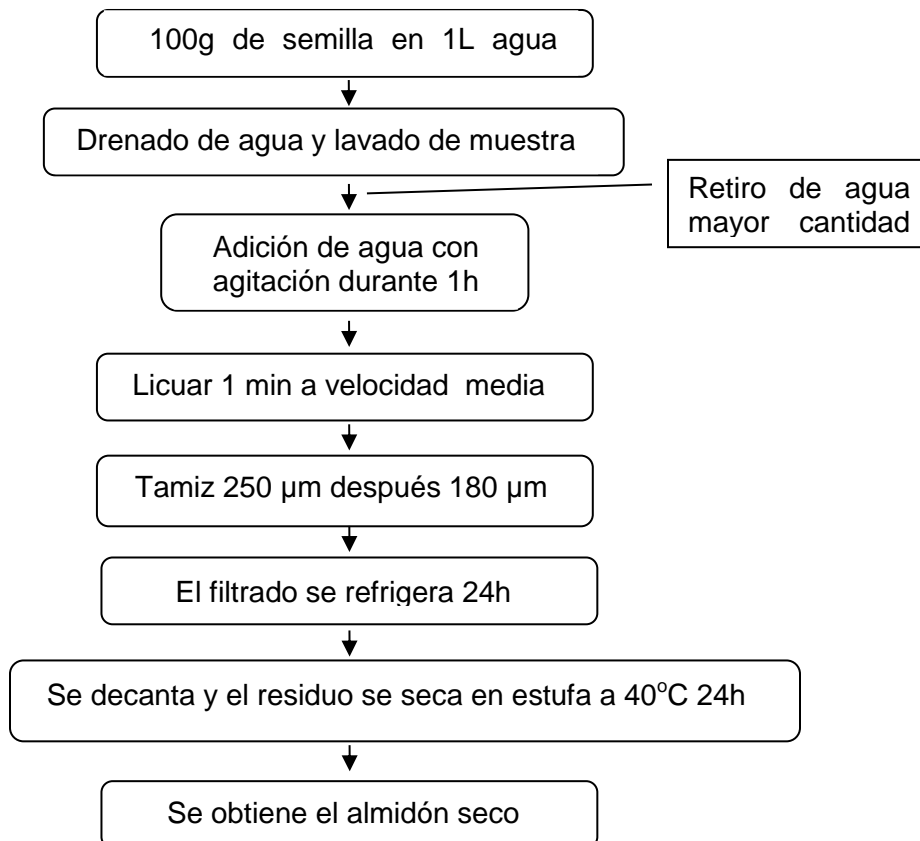


Figura 10. Obtención de almidón a partir de la semilla deshidratada de huauzontle.



Figura 11. Hidratación de 100 g de semilla de huauzontle.

Se hidrató una muestra de 100 g de semilla de huauzontle en 1 L de agua destilada por 24 horas (Figura 11). Enseguida se eliminó el agua y se enjuagó la muestra con agua destilada hasta obtener agua clara para permitir la separación de proteína. Posteriormente se agregaron 500 mL de agua destilada y se agitó por 1 h; la mezcla se licuó en una licuadora Osterizer (mod. 853-10) durante 1 min a velocidad media. La mezcla se filtró en tamiz de 250  $\mu\text{m}$  (Montinox, México) y enseguida el filtrado se pasó por el tamiz de 180  $\mu\text{m}$ . El filtrado se refrigeró a 4°C por 24 h para sedimentar el almidón (Figura 12). El sobrenadante se eliminó y el precipitado se secó a 40°C por 24 en estufa de vacío Genlab Termal Control, (Figura 13). El almidón se molió usando un molino analítico de cuchillas (IKA, Alemania). Finalmente, se realizó la extracción de proteínas para obtener un almidón de alta pureza y evitar tener interferencia en los análisis.



Figura 12. Mezcla refrigerada de semilla de huauzontle molida con agua para sedimentar el almidón.





Figura 13. Almidón secando en estufa a 40°C por 24 h.

### 5.2.1. Extracción de proteína

La separación de proteína de la muestra deshidratada de almidón (Figura 14) se realizó siguiendo el proceso siguiente:

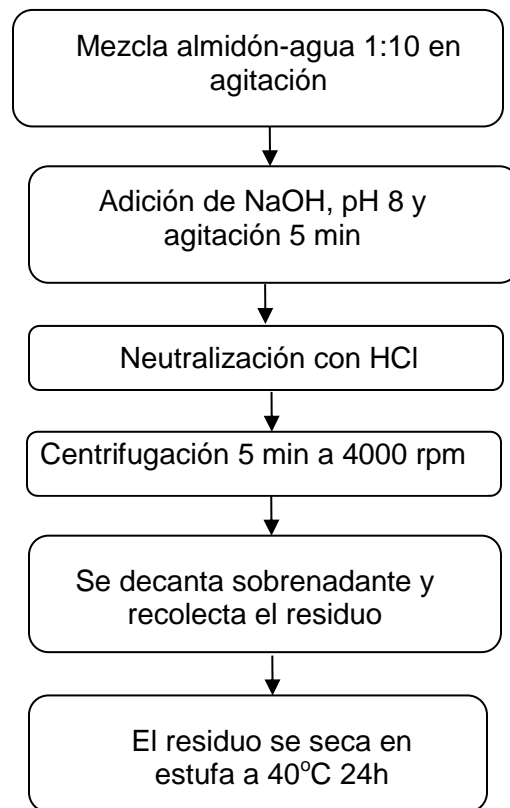


Figura14. Extracción de proteína para obtención de almidón puro.

Se disuelven 10g de almidón en 100 mL de agua, se adicionó NaOH 1M, hasta pH 8, manteniendo la agitación 5 min, enseguida se lleva a pH 5 con HCl 1N, se centrifugó a 4000 rpm 5 min, el sobrenadante se decantó y el residuo se recolectó y se secó en estufa de vacío Genlab Termal Control a 40°C por 24 h. El almidón desproteínizado se almacenó a temperatura ambiente en frascos de vidrio con tapa hermética.

### **5.2.2. Caracterización fisicoquímica del almidón**

Se determinó humedad, cenizas, lípidos, proteína y carbohidratos.

#### **5.2.2.1. Humedad**

El porcentaje de humedad se determinó por pérdida de peso en estufa de vacío Genlab Termal, 2 g de muestra a 100°C por 5 h (AOAC, 14.003).

#### **5.2.2.2. Cenizas**

Se determinó por incineración de 2 g de muestra en una mufla Vecstar Furnaces a 600°C por 3 h (AOAC, 14.006).

#### **5.2.2.3. Lípidos**

Se determinó por el método Soxhlet, se recircula éter de petróleo a 2g de muestra por 6 a 8 h (AOAC, 7.062).

#### **5.2.2.4. Proteínas**

La determinación de nitrógeno total se realizó por el método Kjeldahl (AOAC, 42.014).

#### **5.2.2.5. Carbohidratos**

Los carbohidratos se calcularon por diferencia de proporciones.

### **5.3. Propiedades funcionales de los almidones**

Las propiedades funcionales evaluadas en el almidón de huauzontle fueron: capacidad de retención de agua (CRA); porcentaje de solubilidad (% Sol); factor de hinchamiento (FH); claridad de la suspensión; retrogradación y comportamiento al flujo.

### 5.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

Se determinó considerando la metodología propuesta por Bryant *et al.* (1997) y Niba *et al.* (2001). 8 mL de suspensión de almidón al 1% (p/p) se agitan y colocan en Baño María (BM) a 50 y 80°C por 15 min con agitación cada 5 min. Enseguida se centrifugan a 3000 rpm 15 min. El sobrenadante se decantó y los tubos se dejan en reposo 10 min, se drenan y pesan. La ganancia en peso refleja la capacidad de retención de agua

$$CRA = \frac{\text{peso del gel } g - \text{peso de la muestra } (g)}{\text{peso de la muestra } (g)}$$

### 5.3.2. Porcentaje solubilidad (% SOL)

Una suspensión de almidón al 1% bien agitada se mantiene en BM a 50 y 90°C por 30 min con agitación cada 5 min; enseguida se centrifuga 15 min a 4000 rpm. El sobrenadante se decantó y pesó. Los cálculos se realizaron usando la fórmula siguiente:

$$\% SOL = \frac{\text{peso sólidos solubles}}{\text{peso de la muestra}} \cdot 100$$

### 5.3.3. Factor de hinchamiento (FH)

El sobrenadante de la fase anterior fue secado en un horno a 120 °C durante 4 horas. Los cálculos se realizaron mediante la fórmula:

$$FH = \frac{\text{peso del gel } (g)}{\text{peso de la muestra } g - \text{peso de sólidos solubles } g} \cdot 100$$

### 5.3.4. Claridad de las suspensiones

Una suspensión de almidón al 1 % es llevada a ebullición en BM por 30 min con agitación cada 5 min, se enfrió a temperatura ambiente y se determinó la absorbancia

en Espectrofotómetro marca WPA modelo S2000UV/Vis a 650 nm, empleando como blanco agua destilada (Crosbie, 1991).

### **5.3.5. Retrogradación**

Suspensiones de almidón al 2% (p/p) son llevadas a 85°C por 30 min. Enseguida se enfrían rápidamente en baño de agua con hielo y almacenadas 24, 48 y 72 h a 4°C. La tasa de sinéresis se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Retrogradación} = \frac{\text{peso de agua de sinéresis}}{\text{peso del gel (g)}} 100$$

### **5.3.6. Comportamiento al flujo**

Suspensiones de almidón al 1 y 2% (p/p) fueron calentadas a ebullición 5 min, enseguida enfriadas a temperatura ambiente (25°C) y analizadas con un viscosímetro polyvisc con los husillos R2 y R3 para ambas dispersiones.

### **5.4. Análisis estadístico**

Se realizó un ANOVA y las pruebas de Tukey y de Duncan ( $p < 0.05$ ) utilizando el software SPSS v.17.0.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Rendimiento de almidón

El rendimiento de almidón del huauzontle (Cuadro 5) fue menor que el de papa y de maíz amarillo dentado obtenido por molienda húmeda, que es una fuente comercial de almidón (Aguilar y Eckhoff, 2007). De una muestra de 200 g de semilla de huauzontle se obtuvieron 100 g de almidón, un rendimiento satisfactorio que podría incrementarse considerando diversas alternativas como el mejoramiento genético de la especie.

Cuadro 5: Comparación de rendimiento de almidón de huauzontle, papa y maíz.

Fuente	Rendimiento % en BS
Huauzontle	50.00
Papa	67.81
Maíz	67.58

### 6.2. Composición química proximal

La composición química del almidón procedente de tubérculos se ve afectada por varios factores como el origen, clima, tipo de fertilizante, periodo de madurez, entre otros (Huang *et al.*, 2007).

La humedad de la semilla de huauzontle fue de 17%. Se reportan para la papa 8.52% y 11.71% para maíz.

El estándar de humedad de almidones comerciales es de 10%, en algunos se permite hasta 20% (Wolfgang *et al.*, 1999). Lo anterior depende de la materia prima, el método de extracción, la etapa de cosecha, la fertilidad del suelo y régimen de agua (Huang *et al.*, 2007).

El porcentaje de ceniza del almidón de huauzontle fue de 1.9%, superior al reportado para papa de 0.12% y para maíz de 0.08%. Algunos autores reportan contenidos

superiores para el caso del maíz, 0.5% (Hernández *et al.*, 2004) y 0.6% (Méndez *et al.*, 2007).

Las cenizas están compuestas principalmente de calcio, magnesio, potasio, hierro y fósforo (Badui, 2006), las cuales son de poca importancia en la funcionalidad del almidón, a excepción del fósforo que tiene influencia significativa en dichas propiedades (Tester, 2004).

El contenido de proteínas en el almidón de huauzontle fue de 9.95%, superior al reportado por Jiménez *et al.* (2006) para almidón de papa de 0.20%. Joblin (2004), registró de 0.35 a 0.50% para almidón de maíz. Hoover *et al.* (2003), reportaron 0.25% para almidón de avena. Beynum y Roels (1985) indicaron que las proteínas son las responsables del olor característico del almidón y de su capacidad espumante en la mayoría de los casos (Cuadro 6).

Las proteínas y lípidos son componentes que están presentes en cantidades mínimas en el almidón aún después del proceso de extracción, debido a que forman complejos con los compuestos moleculares de los gránulos de almidón nativo (BeMiller, 1993). Estas diferencias posiblemente son debidas a las condiciones de suelo, clima y desarrollo del cultivo, así como al método de extracción. En general los almidones provenientes de cereales presentan mayores contenidos de proteínas y lípidos (Badui, 2006)

Cuadro 6. Composición química del almidón de huauzontle, en comparación con maíz y papa.

<b>Componentes</b>	<b>Huauzontle</b>	<b>Papa</b>	<b>Maíz</b>
Humedad	17.72 ± 0.03	9.59 ± 0.22	9.90 ± 14.3
Cenizas	1.99 ± 0.07	0.12 ± 0.03	0.08 ± 0.01
Grasas	0.06 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.68 ± 2.7
Proteína	9.95 ± 0.25	0.77 ± 0.02	0.02 ± 0.01
Carbohidratos	70.28	89.34	89.32

### 6.3. Propiedades funcionales

#### 6.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua (CRA) es un parámetro importante en almidones que se emplean en formulación de pastas y desarrollo de películas comestibles. La CRA obtenida para el almidón de huauzontle fue 4.38, la cual fue estadísticamente diferente a la de papa y maíz a 50°C (Cuadro 7), al aumentar la temperatura a 80°C la CRA de la papa y del maíz no fue diferente estadísticamente, pero si con el huauzontle que presentó una disminución. Esto indica la capacidad del polímero para interactuar con el agua de solvatación y es una medida indirecta de las características físicas (consistencia) de la dispersión formada (Crosbie, 1991).

Cuadro 7. Capacidad de retención de agua del almidón de huauzontle, papa y maíz a 50 y 80°C.

Temperaturas	Huauzontle	Papa	Maíz
50°C	4.381 ± 0.670 <sup>a</sup>	10.405 ± 0.550 <sup>b</sup>	20.960 ± 2.963 <sup>c</sup>
80°C	1.932 ± 0.681 <sup>a</sup>	12.205 ± 0.072 <sup>b</sup>	12.235 ± 0.846 <sup>b</sup>

Valores con diferente letra en una fila son estadísticamente diferentes (Tukey y Duncan,  $\alpha=0.05$ ).

#### 6.3.2. Porcentaje de solubilidad (% SOL)

Esta propiedad indica el peso de sólidos solubles en agua presentes en el almidón y el peso del material que puede formar un gel. La estructura cristalina molecular del almidón se rompe y las moléculas de agua se unen a los grupos hidroxilo libres de amilosa y de amilopectina por enlaces de hidrógeno, que podría causar un incremento en la capacidad de absorción y solubilidad (Singhet *et al.*, 2003).

El almidón del huauzontle mostró valores más bajos de solubilidad que el de papa y maíz, (Cuadro 8) con diferencias significativas en las dos temperaturas. Los valores de solubilidad reportados aumentan al incrementar la temperatura, esto debido a que los gránulos hinchados de almidón permiten la exudación de amilosa (Gujska *et al.*, 1994).

Este factor evalúa la calidad de los almidones en cuanto a la pérdida de sólidos en el agua y su capacidad de adsorción.

Cuadro 8. Porcentaje de solubilidad del almidón de huauzontle, papa y maíz a 50° y 90°C.

<b>% SOL</b>	<b>Huauzontle</b>	<b>Papa</b>	<b>Maíz</b>
50°C	0.080 ± 0.010 <sup>a</sup>	0.124 ± 0.017 <sup>b</sup>	0.136 ± 0.022 <sup>b</sup>
90°C	0.084 ± 0.027 <sup>a</sup>	0.136 ± 0.009 <sup>b</sup>	0.226 ± 0.090 <sup>b</sup>

Valores corresponden a media de tres repeticiones ± desviación estándar.

Valores con diferente letra en una fila son estadísticamente diferentes (Tukey y Duncan).

### 6.3.3. Factor de hinchamiento (FH)

La capacidad de hinchamiento (FH) es inversamente proporcional a la temperatura de gelatinización (Tscheuschner, 2001), dicho comportamiento se refleja en el FH del almidón de huauzontle a 50 y 90°C (Cuadro 9), en la papa y maíz. Hubo diferencias significativas en el FH del almidón de huauzontle respecto al de papa y maíz en las dos temperaturas, el primero muestra los menores valores. Lo anterior posiblemente debido al mayor contenido de lípidos o al tamaño del granulo, lo que impiden las interacciones con las moléculas de agua, y por tanto disminuye su capacidad de hinchamiento y solubilidad (Jayakody *et al.*, 2007).

Cuadro 9. Factor de hinchamiento del almidón de huauzontle, papa y maíz a 50° y 80°C.

<b>FH</b>	<b>Huauzontle</b>	<b>Papa</b>	<b>Maíz</b>
50°C	3.933 ± 0.459 <sup>a</sup>	19.182 ± 3.199 <sup>b</sup>	22.270 ± 0.992 <sup>b</sup>
90°C	1.932 ± 0.681 <sup>a</sup>	12.205 ± 0.072 <sup>b</sup>	12.235 ± 0.846 <sup>b</sup>

Valores corresponden a media de tres repeticiones ± Desviación estándar

Valores con diferente letra en una fila son estadísticamente diferentes (Tukey y Duncan)

El FH de los almidones refleja su contenido de amilopectina, la amilosa es un diluyente e inhibidor del hinchamiento (Cheng *et al.*, 1996).



### 6.3.4. Claridad de suspensión

La claridad de suspensión del almidón de huauzontle fue superior a la de la papa y el maíz, como lo muestra el cuadro 10. Existen diferencias significativas entre las tres muestras.

Cuadro 10. Claridad de suspensión del almidón de huauzontle, papa y maíz.

	Huauzontle	Papa	Maíz
Absorbancia	0.219 ± 0.010 <sup>a</sup>	0.098 ± .000 <sup>b</sup>	0.1733 ± .002 <sup>c</sup>

Valores corresponden a media de tres repeticiones ± Desviación estándar

Valores con diferente letra en una fila son estadísticamente diferentes (Tukey y Duncan)

### 6.3.5. Retrogradación

El uso de los almidones nativos en el procesamiento de los alimentos está limitado principalmente por su tendencia a retrogradar y presentar sinéresis, o bien por la inestabilidad de su viscosidad durante el procesamiento (Light, 1990; Rosalina y Bhattacharya, 2002; Aparicio *et al.*, 2003).

La retrogradación del almidón de huauzontle fue mucho más alta en los tres periodos analizados, que el de papa y maíz (Cuadro 11). La retrogradación muestra el contenido de amilosa (Beynum *et al.*, 1985; Badui, 2006), lo que indica que el almidón de huauzontle contiene un porcentaje mayor de ésta, lo cual no es un factor favorable.

Cuadro 11. Retrogradación a 24, 48 y 72h del almidón de huauzontle, papa y maíz.

Retrogradación	Huauzontle	Papa	Maíz
24 HRS	91.86 ± 0.19 <sup>a</sup>	75.06 ± 1.16 <sup>b</sup>	68.81 ± 1.53 <sup>c</sup>
48 HRS	93.99 ± 0.91 <sup>a</sup>	87.48 ± 1.38 <sup>b</sup>	82.35 ± 0.35 <sup>b</sup>
72 HRS	95.58 ± 0.71 <sup>a</sup>	80.63 ± 2.38 <sup>b</sup>	76.40 ± 2.64 <sup>b</sup>

Valores corresponden a media de tres repeticiones ± Desviación estándar

Valores con diferente letra en una fila son estadísticamente diferentes (Tukey y Duncan)

Los almidones con alto contenido en amilosa como la papa (20-31%), maíz (22-33%), el taro (29-30%) y yuca (19-24%), tienden a influir en la gelatinización y propiedades en retroceso, y se reportan con alta sinéresis, debido a la gran cantidad de agua expulsada durante el proceso de retrogradación (Gunaratne y Hoover, 2002; Singh *et al.*, 2003).

### **6.3.6. Comportamiento al flujo**

La concentración de 1% de almidón de huauzontle y maíz, al aumentar la velocidad de corte se incrementa la viscosidad (Figura 15), lo contrario se observó en el de papa. Al calentar una suspensión de almidón sus gránulos inician el proceso de hinchamiento, aumenta el volumen y se incrementa la viscosidad, a este comportamiento se le conoce como flujo no Newtoniano de tipo reoespesante (Barbosa *et al.*, 1993). En la concentración de 2% de almidón (Figura 16) de huauzontle y de papa, la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte, lo que se denomina comportamiento no Newtoniano de tipo reofluidificante, lo contrario mostró el de maíz.

La baja consistencia aumenta la estabilidad en procesos de pasta mecánica y reduce la tendencia a la retrogradación durante el enfriamiento, siendo este el caso de los almidones con alto poder de hinchamiento y por consiguiente alta viscosidad, tales como la patata, mandioca y almidones cerosos (Osundahunsi *et al.*, 2003).

Los gránulos de estos almidones se hinchan notablemente cuando se cocinan en agua y activan las fuerzas frágiles debido a la agitación mecánica, dando lugar a la inestabilidad durante la cocción. Los almidones ricos en gránulos de amilosa muestran una hinchazón limitada debido a la rigidez interna asociada a las moléculas lineales, lo que no permite formar pastas viscosas cuando se cocina en agua en condiciones normales (Sandhu y Singh, 2007).

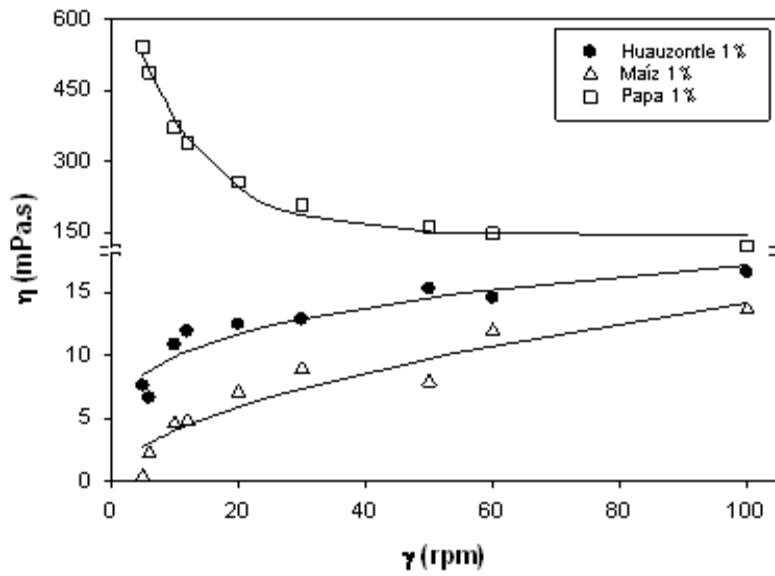


Figura 15. Comportamiento de la Viscosidad del almidón de huauzontle, papa y maíz al 1% al aumentar la velocidad de corte con husillos R2.

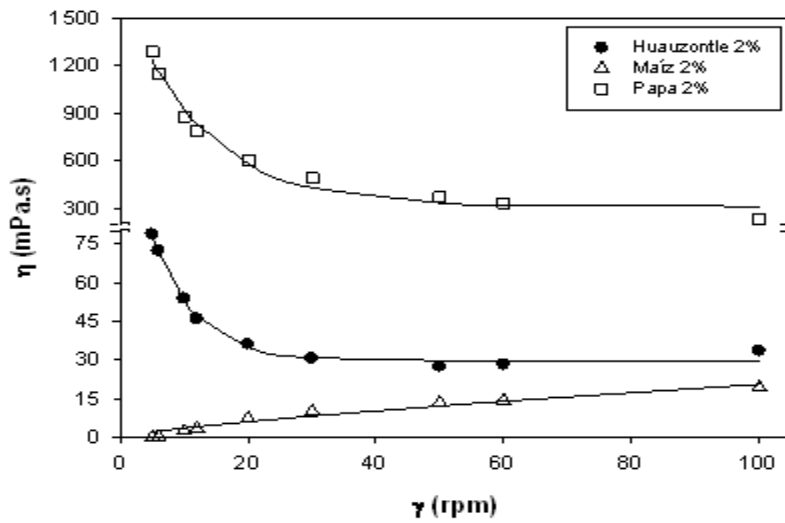


Figura 16 Comportamiento de la Viscosidad del almidón de huauzontle, papa y maíz al 2% al aumentar la velocidad de corte con husillos R2.

## 7. CONCLUSIONES

El Huauzontle es una fuente potencial para la obtención comercial de almidón, dada la facilidad de extracción y la eficiencia de la técnica implementada, obteniendo 50% de rendimiento.

La composición química proximal y las propiedades funcionales del almidón de huauzontle permiten considerarlo factible para su uso en alimentos y aplicaciones industriales. El porcentaje de humedad 17.72% estuvo en los estándares comerciales de calidad, reportándose para cereales de 10 a 12%, lo que lo protege de daños microbianos y deterioro de la calidad.

La capacidad de retención de agua (CRA) en el almidón de huauzontle no se incrementó como se esperaba, por lo que no es recomendable en formulación de pastas ni en películas comestibles.

La capacidad de hinchamiento (FH) del almidón de huauzontle disminuyó al aumentar la temperatura, lo que refleja una mayor concentración de lípidos y una temperatura de gelatinización alta, similar al almidón de papa y maíz, por lo que puede ser un sustituto de estos almidones en alimentos. La mayor concentración de lípidos impide las interacciones con las moléculas de agua, lo que disminuye su capacidad de hinchamiento y el porcentaje de solubilidad, lo que muestra la correlación directa con la temperatura.

La claridad de suspensión del almidón de huauzontle muestra alta sinéresis, lo que permite expulsar gran cantidad de agua durante el proceso de retrogradación dado el alto contenido de amilosa, propiedades que lo hacen factible para bebidas como atoles, ensaladas, aderezos y pasteles; como agente encapsulante de sabor, esencias y colorantes. La viscosidad del almidón de huauzontle aumentó al incrementar la velocidad de corte, similar comportamiento al del maíz, lo contrario mostró el de papa. Comportamiento al flujo no newtoniano de tipo reoespesante en el primer caso y en el de papa de tipo reofluidificante.

## 8. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación muestran las características del almidón de huauzontle, y es importante confirmarlos, dado que en trabajos similares se reporta una pureza de 74.02% del almidón de quínoa y 73.09% para el almidón de amaranto, pseudocereales de la misma familia botánica, lo que supone una calidad nutritiva similar y excelente complemento nutricional de la dieta humana y animal.

Este trabajo se enriquecería al obtener con precisión las concentraciones de amilosa y amilopectina.

El rendimiento de semilla de amaranto se reporta de 4 t/ha y el de huauzontle de 11 t/ha, por lo que representa una alternativa de fuente de almidón con gran potencial en nuestro país.

Los gránulos de almidón del huauzontle son más pequeños (1mm) que los de cereales como maíz (5 a 20 mm) y arroz (3 a 8 mm). Ello sugiere una diversidad de posibles aplicaciones, respaldando esto una microfotografía en microscopio de barrido electrónico.

El uso de almidones nativos en el procesamiento de alimentos está limitado principalmente por su tendencia a retrogradar y presentar sinéresis, o por la inestabilidad de su viscosidad durante el procesamiento. Se sugiere el desarrollo de procesos de modificación física y química de este almidón, lo que contribuiría en la mejora de las propiedades funcionales, el desarrollo de nuevos productos, nuevas aplicaciones y cumplir con requerimientos en el procesamiento de alimentos.

## 9. LITERATURA CITADA

- Aguilar, Z.E., & Eckhoff, S.R. (2007). Proceso de molienda húmeda a nivel laboratorio de 100 g de maíz amarillo dentado. *Revista Ciencia y Tecnología*, 13, 80-81.
- Atwell, T. Starch 1994 Starch analysis methods. Chapter 2. New York: Mc Graw-Hill p. 19-21.
- Bernal, L., Martínez, E. 2006. Una nueva visión de la degradación del almidón. *RCI*. 25:77-90.
- Horwitz, N. (1984). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14<sup>th</sup> edición Publicado por the association of official analytical chemists. Washington D.C.
- BeMiller, S. y Whittler, R., (2009), Starch chemistry and Technology. Third Edition, USA 151 p
- Ganga, Z.N. y Corke, H. (1999) Physical properties of starch of Asian-adapted potato varieties. *Journal of Science food Agriculture*, 79:1642-1646.
- Aparicio, M.A., Waliszewski, K., Monroy-Rivera, J. A., 2003. Caracterización fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), camote (*Ipomeae batata (L) Lam*) y plátano valery (*Musa cavendish*). Tesis de Doctorado. Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Badui, S.D. (2006). Química de los alimentos. Ed. Pearson Educación. México D. F. pp. 94-104.
- Banks, N, and Greenwood, C. T: 1986. Starch and its components. Halsted Press, Wiley and Sons. New York. In Robles de T. R. R.
- Barbosa – Cánovas, G.V., Ibarz, A. y Peleg, M. (1993). Propiedades reológicas de alimentos fluidos. Revisión. *Alimentaria* 2:39-89.
- Bastioli, C. 2005. Starch-Based technology. In: Handbook of biodegradable polymers. Novamont SpA, Italy pp. 258-283.
- Belitz, H. y Grosch, W. 1997. Química de los alimentos. Acribia Zaragoza. España. 1087 p.
- Bello-Pérez, L.A. 1995. Amilopectina Caracterización molecular y funcional. Tesis de Doctorado. Centro de investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Irapuato, México.

- BeMiller, J.N. (1993). Starch-based gums. En R.L. Whistler y J.N. BeMiller (Eds.), *Industrial Gums* (pp. 579–600). USA: Academic Press.
- Beynum, G. M. A. y Roels, J. A. (1985). *Starch conversion technology*. Ed. Marcel-Dekker. Nueva York, Estados Unidos. 360.
- Bryant, C. M. y Hamaker, B. R. (1997). Effect of lime on gelatinization of corn flour and starch. *Cereal Chemistry*, 74(2): 171-175.
- Cheng et al., 1996; CHENG, Y.; TSAI, M.; TSENG, K. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. *Cereal Chemistry*, v. 73, n. 4, p. 415-420, 1996.
- Crosbie, G. B. (1991). The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 13: 145-150.
- Doublier, L.-J. and Choplin, L. : 1989. A rheological description of amylose gelation. *Carbohydrate Research*, 193, 215-226.
- Dziedzic, S. Z. and Kearsley, M. W. 2003. The technology of starch production. In: *Handbook of starch hydrolysis and their derivatives*, Kearsley, M. W. y Dziedzic, S. Z. Eds. Blackie academic and profesional capítulo 1. Pp: 6-17.
- FENNEMA, O. 2000. *Química de los alimentos*. Acribia Zaragoza. España. 1250 p.
- G. Van Soest and F.G. 1997. Vliegenthart. “Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties”. *Trends in biotechnology*, No. 15, 1997, pp. 208-213.
- Gujaska, E.D.-Reinhard, W. and Khan, K. (1994) Physico-chemical properties of field pea, pinto and navy bean starches. *Journal of Food Science* 59, 634-651.
- Gunaratne, A., & Hoover, R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, 49, 425–437.
- Hernandez-Lauzardo, A.N., Méndez-Montealvo, G., Velazquez del Valle, M., Solorza-Feria, J. and Bello-Pérez, L.A. 2004. Isolation and partial characterization of mexican *Oxalis tuberosa* starch. *Starch/Särke*, 56:357-363.
- Hoover R.J., Smith, C., Zhou, Y., y Ratnayake, R.M.W.S. (2003). Physicochemical properties of Canadian oat starches, 52:253-261.

- Huang, C.C., Chiang, P.Y., Chen, Y. Y y Wang, C.R. (2007) Chemical compositions and enzyme activity changes occurring in yam (*Dioscorea alata*) tubers during growth. *Food Science and Technology*, 40:1498-1506).
- Inglett, E. 1970. Kernel structure, composition and quality. In: *Corn; culture, processing, products*. Inglett, E.G. (ed). The Avi publishing Co., Inc., Estados Unidos, pp. 123-134.
- Isaías F.M., Hernández A. N., De la Cruz H.Y., Jiménez, H.A. and Chaires, M.L., 3rd International Congress, 14-17 October, (2008), Querétaro Chemical composition of seeds from Huauzontle "*Chenopodium Berlandieri ssp. nuttalliae*" and their use in the food industry
- James, M.G., Denyer, K. and Myers, A.M. 2003. Starch synthesis in the cereal endosperm. *Current Opinion in Plant Biology*, 6: 215-222.
- Jayakody, L., Hoover, R. (2008). Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins – A review. *Carbohydrate Polymers*.
- Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q y Donner, E. (2007). Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea sp.*) starches grown in Sri Lanka, *Carbohydrate Polymers*.
- Jiménez, H. J., Salazar, M. J.A y Ramos, R. E.G. (2006). Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison. *Carbohydrate Polymers*. 07-035.
- Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J.A., & Ramos- Ramírez, E.G. (2007). Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydrate Polymers*, 68, 679–686.
- Jobling, S. (2004). Improving starch for food and applications. *Plant Biotechnology*. 7:210-218.
- Kim, Y.S., Wiessenborn, D.P., and Grant, L.A. (1997). Pasting and thermal properties of potato and bean starches. *starch/stärke*. 49:97-102
- Leach, H.W: 1965. Gelatinisation of starch. In R.L. Whistler & E.F. Paschall, eds. *Starch: chemistry and technology*. Vol. 1, Fundamental aspects p. 289. New York, Academic Press.



- Light, J. M. 1990. Modified food starches : Why, What, Where, and How. *Cereal Foods World* 35: 1081- 1092.
- Lineback, D.R. and Rasper, V.F: 1988 Wheat Carbohydrates. In *Wheat: Chemistry and Technology*, Vol. I, ed Y. Pomeranz. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota, pp. 277-372.
- Mendez-Montevalvo, G., trejo-Espino, J.L., Paredes-López, O. and bello-Pérez, L.A. 2007, Physicochemical and morphological characteristics of nixtamalized maize starch. *Starch/Särke*, 59:277-283.
- Moorthy, S.N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch*, 54:559-592.
- Niba, L., Bokanga, M. M., Jackson, F. L., Schlimme, D. S. y Li, B. W. (2001). Physicochemical properties y starch granular characteristics of flour from various *Manihot esculenta* (Cassava) genotypes. *Journal of Food Science*, 67(5): 1701-1705.
- Osundahunsi, F. O., Fagbemi, N. T., Kesselman, E., & Simón, E. (2003). Comparison of the physicochemical properties and pasting characteristics of flour and starch from red and white sweet potato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2232–2236.
- P. Bailey y C.A. Bailey. 1998. *Química orgánica: conceptos y aplicaciones*. Naucalpan de Juárez, México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Peñaranda, C.O.I., Perilla, P. J. E. y Algecira E. N. A., (2008) Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos, *Revista Ingeniería e Investigación*, 28- 47-52.
- Pérez, E.E., Lares. M., and Gonzalez, Z.M. (1997) Characterization of starch isolated from white and dark seerghum. *starch/stärke*. 49:103-106.
- Pomeranz, Y. (1991) *Functional properties of food components*. 2<sup>a</sup> ed. Academic Press. Estados Unidos. pp. 24-78.
- Rahul V. Manek, Olobayo O. Kunle, Martins O. Emeje, Philip Builders, Goparaju V. Rama Rao, Gabriel P. Lopez, William M. Kolling. 2005. Physical, Thermal and Sorption Profile of Starch. Obtained from *Tacca Leontopetaloides*. *Starch/Starke* 57: 55-61.
- Rasper, V: 1980. Theoretical aspects of amylographology. In: Shuey W. C. and K.H
- Referencias

- Rasper, V: 1980. Theoretical aspects of amylographology. In: Shuey W.C. and K.H. Triples (de) "The amylograph Handbook", A.C.C. St Paul Minn.
- Rosalina y Bhattacharya, M. 2002. Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels. *Carbohydr. Polym.* 48: 191-202.
- Rudrapatnam, N. and Tharanathan. 2005. Starch. Value Addition by Modificación. *Critical Reviews in food Science and nutrition.* 45:371-384.
- Sandhu, K.S. and Lim, S.T. (2008) Digestibility of legume starches as influenced by their physical and structural properties. *Carbohydrate Polymers.* 71:245-252.
- Sandhu, S.K., & Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II. Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, 101, 1499–1507.
- Seib, P. A., and Stearns, M: 1972. Extrusion processing of wheat starch. (Abstr.) *Cereal Sci. Today.* (17(9):102)
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N.S., & Gill, B.S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 129–231.
- Singh, S. Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N.S. y Gill, B.S. (2007). Morphological, themal and rheological properties of starchs from different botanical sources-A review. *Food Chemistry*, 81: 219-231.
- Sivak, M. and Preiss, J. 1998. Starch: Basic Science to Biotechnology. In: *Advances in Food and Nutrition Research.* New York, Academic Press. pp. 41.
- Srichowong, S., Sunarti, T.C., mishima, T., Isono, N., and Hisamatsu, M. (2005). Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. *Carbohydrate polymers.* 60:529-538.
- Stevenson, D.G., Jane, J., and Inglett, G.E. (2007). Characterisation of Jicama (Mexican potato) (*pachyrhizos erosus* L. urban) starch from taproots grown in USA and México. *starch/stärke.* 59:132-140.
- Stick, R.V. (2001). *Carbohydrates. The swep molecules of life.* Ed. R. V. Stick. Australia. pp 217-218.
- Tester, F.R. (2004) Starch: The polysaccharide fraction. in frazier, P.J., Donald, A.M., Richmond, P., (eds).

- Thomas David J. and Atwell William A: 1999. Starches. Eagan Press Handbook Series. Eagan Press St. Paul, Minnesota, USA. By The American Association of Cereal Chemists, Inc. 1-29.
- Tscheuschner, H.D. Fundamentos de tecnología de los alimentos. Zaragoza, España: Acribia, 2001. 746 p.
- Van Soest, J.J. G. and Vliegenthart, J.F.G. 1997. Crystallinity in starch plastics: Consequences For material properties. Trends in Biotechnology. 15(6):208-213.
- Wang, L.Z., White, P.J. (1994) Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content. Cereal Chemistry, v. 71, n. 5, p. 443-450.
- Wang, S., Jinglin. Y., Jiugao Y., Haixia, C., Jiping. P., Hongyan. L. (2007). Partial characterization of starch from Dioscorea opposita. Journal of Food Engineering, 11: 01-07.
- Whistler, R.L. y Daniel J.R. (1984). Molecular structure of starch. Chemistry and Technology. Eds. Whistler, R.L., J.N. Bemiller and E.F. Paschall. New York. pp 154-180.
- Whistler, R.L. y Daniel J.R. (1990). Function of polysaccharides. in: Food additives, Edited Marcel dekker, New York. pp 399-406.
- Wolfgang, B., Willi, W. y Hans, P, G. (1999). Potato starch technology. Starch, 51: 235-242.

## DIRECCIONES ELECTRONICAS

[ElHuauzontle,untesoro olvidadodegranvaloralimenticio](#)

<http://cocinatematica.suite101.net/article.cfm/el-huazontle-un-tesoro-olvidado-de-gran-valor-alimenticio>

<http://cocinatematica.suite101.net/article.cfm/elhuazontleuntesoro olvidado-de-gran-valor-alimenticio#ixzz0Iz6dWl4C>

<http://w4.siap.gob.mx/AppEstado/Monografias/agricola.html>

[http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=1&taxon\\_id=242415441](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=242415441)

<http://www.jornada.unam.mx/2006/01/08/index.php?section=opinion&article=004o1po>

<http://www.pasqualinonet.com>

<http://www.suite101.net/content/un-alimento-ceremonial-y-sagrado-el-huauzontle-a14110#ixzz1Ex9oOaOx>

<http://www.texasbeyondhistory.net/st-plains/nature/images/chenopod.html>

[http://www.wikilingua.net/ca/articles/c/h/e/Chenopodium\\_berlandieri.htm](http://www.wikilingua.net/ca/articles/c/h/e/Chenopodium_berlandieri.htm)  
[Un alimento ceremonial y sagrado, el huauzontle](#)

[www.siap.gob.mx/aagricola\\_siap/icultivo/index.jsp](http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp).