



# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

---

---

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**Caracterización de harinas y almidones de Oca (*Oxalis tuberosa*)  
y Chayotextle (*Sechium edule*) para su posible aplicación en la  
industria alimentaria.**

## **T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**ING. EDGAR FERNANDO MONTIEL GURIÉRREZ**

**Director:**

**Dr. Juan Pablo Hernández Uribe**

**Co-Director:**

**Dr. Rafael Germán Campos Montiel**

*Tulancingo de Bravo, Hidalgo, Noviembre de 2016*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos  
**Apertura:**

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: “**Caracterización de harinas y almidones de Oca (*Oxalis tuberosa*) y Chayotextle (*Sechium edule*) para su posible aplicación en la industria alimentaria**”, que desarrolla el estudiante I.A. Edgar Fernando Montiel Gutiérrez.

**Asistentes:**

Dra. Norma Güemes Vera

Dr. Apolonio Vargas Torres

Dr. Rafael Germán Campos Montiel

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

**A. Revisión de Trabajo de Tesis**

**Observaciones:**

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por el estudiante, comunicando al I.A Edgar Fernando Montiel Gutiérrez, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

**B. Acuerdos:**

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que el estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE

“AMOR, ORDEN Y PROGRESO”

Tulancingo de Bravo, a 11 de Noviembre de 2016

Dra. Norma Güemes Vera

Dr. Apolonio Vargas Torres

Dr. Rafael Germán Campos Montiel

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

## **AGRADECIMIENTOS ESPECIALES**

### **AL ICAp:**

Este trabajo fue realizado en los laboratorios del Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, bajo la dirección del Dr. Juan Pablo Hernández Uribe y la co-dirección del Dr. Rafael Germán Campos Montiel.

El presente trabajo de investigación fue realizado gracias al apoyo otorgado al proyecto CONACYT CB-2013-01-221902, y al apoyo económico otorgado por la beca CONACYT 621395.

### **AL CEPROBI-IPN:**

Al Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional en Yautepec, Morelos. Y en especial al Dr. Luis Arturo Bello Pérez por las facilidades otorgadas para la realización de las pruebas de viscosidad y análisis reológico de las muestras.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios,

Por permitirme realizar este proyecto, ya que todos mis trabajos son para su gusto y agrado.

Agradezco de forma muy especial y con mucho cariño a mi maestro y director de tesis, al **Dr. Juan Pablo Hernández Uribe** por todo el apoyo, paciencia e instrucción; ya que gracias a su planeación y dirección se logró mantener y concluir de manera exitosa este proyecto de investigación.

A **mi comité tutorial** por sus consejos y su participación en la revisión de esta tesis:

- Dra. Norma Güemes Vera
- Dr. Rafael Germán Campos Montiel
- Dr. Apolonio Vargas Torres

Y en general a todas aquellas personas involucradas de manera directa e indirecta en el desarrollo de mi proyecto, así también a mis amigos y compañeros por el apoyo incondicional y la valiosa amistad, a todos los profesores por el apoyo académico brindado y por los conocimientos para cumplir con el objetivo.

A mi institución por abrirme las puertas y darme la oportunidad de superación personal.

## Dedicatoria:

A mi amada esposa Liz, le dedico este trabajo con todo mi amor y cariño por ser una maravillosa compañera de vida y mi mayor inspiración.

A mis padres que son mis mejores maestros y claro ejemplo de esfuerzo, constancia y dedicación, gracias por su apoyo, cariño y amor.

# ÍNDICE GENERAL

## Contenido

ÍNDICE GENERAL .....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	ix
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 MARCO TEÓRICO .....	3
2.1 Tubérculos .....	3
2.1.1 Tubérculo de camote dulce.....	4
2.1.2 Tubérculo de papa .....	5
2.1.3 Tubérculo de Oca.....	6
2.2 Importancia de los principales tubérculos en México .....	7
2.3 Obtención de harinas y almidones a partir de tubérculos .....	10
2.4 Constituyentes principales de los tubérculos .....	11
2.4.1 Fibra.....	11
2.4.2 Almidón .....	13
2.4.3 Minerales .....	16
2.5 Propiedades de las harinas y almidones.....	17
2.5.1 Propiedades funcionales de las fibras.....	18
2.5.2 Propiedades térmicas y funcionales de los almidones.....	19
2.6 Uso de los almidones y las fibras.....	21
2.6.1 En la industria alimentaria.....	21
2.6.2 En la salud .....	22
3 JUSTIFICACIÓN.....	24
4 OBJETIVOS.....	25
4.1 General.....	25
4.2 Específicos .....	25
5 MATERIALES Y MÉTODOS .....	26

5.1.1	Materia prima .....	26
5.1.2	Obtención de las harinas.....	26
5.1.3	Propiedades fisicoquímicas .....	27
5.1.4	Propiedades Funcionales .....	33
5.1.5	Análisis Estadístico .....	38
6	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	39
6.1	Propiedades Fisicoquímicas.....	39
6.1.1	Análisis químico proximal.....	39
6.1.2	Determinación de Color.....	44
6.1.3	Densidad aparente.....	47
6.1.4	Microscopía Electrónica de Barrido .....	49
6.1.5	Distribución de Tamaño de Partícula .....	53
6.1.6	Difracción de rayos X y porcentaje de cristalinidad.....	57
6.2	Propiedades Funcionales.....	64
6.2.1	Capacidad antioxidante.....	64
6.2.2	Capacidad de Absorción de Agua .....	68
6.2.3	Capacidad de Absorción de Aceite.....	73
6.2.4	Índice de Solubilidad.....	78
6.2.5	Propiedades Térmicas (Calorimetría Diferencial de Barrido).....	81
7	CONCLUSIONES .....	90
8	BIBLIOGRAFÍA.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cosecha de chayotextle en el municipio de Acaxochitlán. ....	9
Figura 2. Clasificación de la fibra en función de la solubilidad. ....	12
Figura 3. Estructura química de la amilosa y amilopectina. ....	15
Figura 4. Fotografías de harinas y almidones de papa, <i>Oxalis</i> tuberosa y chayotextle. ....	46
Figura 5. Micrografías de Harinas de Papa Blanca (a, b, c), <i>Oxalis</i> tuberosa (d, e, f) y Chayotextle (g, h, i). (a, d, g = 100x; b, e, h =300x; c, f, i =1000x).....	49
Figura 6. Micrografías de Almidones de Papa Blanca (j, k, l), <i>Oxalis</i> tuberosa (m, n, o) y Chayotextle (p, q, r). (j, m, p = 100x; k, n, q =300x; l, o, r =1000x). ....	51
Figura 7. Distribución de tamaño de partícula de Harinas de Papa blanca (H PA), <i>Oxalis</i> tuberosa (H OX) y Chayotextle (H CH).....	53
Figura 8. Distribución de tamaño de partícula de Almidones nativos de Papa blanca (A PA), <i>Oxalis</i> tuberosa (A OX) y Chayotextle (A CH).....	55
Figura 9. Difracción de rayos X de harinas de Papa blanca, <i>Oxalis</i> tuberosa y Chayotextle. ....	57
Figura 10. Difracción de rayos X de almidones de Papa blanca, <i>Oxalis</i> tuberosa y Chayotextle.....	61
Figura 11. Gráfico de la capacidad de absorción de agua en Harinas de Papa blanca, <i>Oxalis</i> tuberosa, y Chayotextle. ....	68
Figura 12. Gráfico de la capacidad de absorción de agua en Almidones de Papa blanca, <i>Oxalis tuberosa</i> , y Chayotextle. ....	70
Figura 13. Capacidad de absorción de agua de almidones de chayotextle a diferentes temperaturas.....	71
Figura 14. Gráfico de la capacidad de absorción de aceite de harina de papa blanca a temperatura ambiente, 50 y 80 °C. ....	73
Figura 15. Gráfico de la capacidad de absorción de aceite para harinas de Papa blanca, <i>Oxalis</i> tuberosa y Chayotextle a temperatura ambiente. ....	74
Figura 16. Gráfico de la capacidad de absorción de aceite para almidón de papa blanca a temperatura ambiente, 50 y 80 °C. ....	75



Figura 17. Gráfico de la capacidad de absorción de aceite para Almidones de Papa blanca, Oxalis tuberosa y Chayotextle a temperatura ambiente. ....	76
Figura 18. Gráfico del índice de solubilidad en harinas de papa, Oxalis tuberosa y chayotextle.....	78
Figura 19. Gráfico del Índice de solubilidad en Almidones de Papa blanca, Oxalis tuberosa, y Chayotextle.....	79
Figura 20. Termogramas (DSC) de Harinas de Papa, Oxalis tuberosa, y Chayotextle. ....	81
Figura 21. Gráfico de las propiedades térmicas de Almidones de Papa blancas, Oxalis tuberosa, y Chayotextle. ....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros proximales de harinas de Papa Blanca, Oxalis tuberosa y Chayotextle. ....	39
Tabla 2. Parámetros proximales de almidones de Papa Blanca, Oxalis tuberosa y Chayotextle. ....	39
Tabla 3. Parámetros de las coordenadas L, a y b en Harinas y Almidones de Papa Blanca, Oxalis tuberosa y Chayotextle. ....	44
Tabla 4. Valores de densidad aparente en Harinas y Almidones de Papa Blanca, Oxalis tuberosa y Chayotextle. ....	47
Tabla 5. Porcentaje de cristalinidad de harinas de Papa blanca, Oxalis tuberosa y Chayotextle. ....	59
Tabla 6. Porcentaje de cristalinidad de almidones de Papa blanca, Oxalis tuberosa y Chayotextle. ....	63
Tabla 7. Valores de actividad quelante, ácido ascórbico y fenoles totales de Harinas de Papa Blanca, Oxalis tuberosa y Chayotextle. ....	64
Tabla 8. Valores de actividad antioxidante del radical DPPH y ABTS, de Harinas de Papa Blanca, Oxalis tuberosa y Chayotextle. ....	64
Tabla 9. Valores de Temperatura pico y Entalpías de Harinas de Papa blanca, Oxalis tuberosa, y Chayotextle. ....	84
Tabla 10. Valores de Temperatura pico (T pico) y Entalpías ( $\Delta H$ ) de almidones de Papa blanca, Oxalis tuberosa, y Chayotextle. ....	88

## RESUMEN

Garantizar la seguridad alimentaria y la entrega de alimentos que proporcionen beneficios a la salud son los principales desafíos globales. El aumento en la demanda de la proteína animal, el crecimiento continuo de la población; el incremento mundial de las enfermedades relacionadas con la dieta así como la disponibilidad de tierras cultivables y de agua para cultivos alternativos como los biocombustibles, son las presiones que están impulsando la necesidad de aumentar la eficiencia y calidad en la producción de los alimentos; y el aprovechamiento para el mejor uso de las materias primas será fundamental para el logro de estos objetivos. A escala mundial, aproximadamente el 45% de la producción de raíces y tubérculos se consume como alimento, el resto se utiliza para consumo animal o para procesamiento industrial, como producción de almidón, licores, destilados y una gama de productos de menor importancia. Por lo que estudiar las propiedades fisicoquímicas y funcionales, así como evaluar la digestibilidad del almidón de harinas y almidones de tubérculos no convencionales como lo son el Chayotextle y la *Oxalis tuberosa*, resulta muy atractivo para poder así precisar su potencial alimentario.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar fisicoquímica y funcionalmente harinas y almidones de tubérculos no convencionales como el Chayotextle (*Sechium edule Sw*) y la *Oxalis tuberosa*, así como evaluar la digestibilidad de los almidones.

Los tubérculos fueron adquiridos en los tianguis comerciales de los municipios de Tulancingo de Bravo y Acaxochitlán, en el Estado de Hidalgo. En el contenido de humedad, se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) tanto en harinas (10.1-18.6%), como en almidones (9.1-17.4%), el valor más alto en las harinas los mostró *Oxalis tuberosa* (18.6%) mientras que de los almidones fue chayotextle (17.4%). En lo referente a color podemos afirmar que la harina de *Oxalis tuberosa* fue opaca y con tendencia a los tonos rojizos esto debido al contenido de pigmentos de color rojo que contiene el mismo tubérculo, mientras que las harinas de papa y chayotextle presentaron tonalidades amarillentas, debido también a los pigmentos presentes en cada uno de los tubérculos, para los almidones su tendencia fue hacia el característico color blanco, lo que puede ser un indicativo favorable para corroborar

que fueron aislados correctamente y no hay presencia de pigmentos ni restos de proteínas o fibras. Respecto de las características morfológicas a través de microscopía electrónica de barrido, en las harinas se observaron partículas con formas semiesféricas e irregulares principalmente, así como diversos tamaños por lo que todas las muestras de harina consistieron en poblaciones mixtas de partículas grandes, medianas y pequeñas, mientras los almidones variaron en cuanto a forma y tamaño, presentando formas alargadas, poligonales y esféricas de tamaños diferentes. Por su parte la difracción de rayos x indica que los picos de intensidad corresponden a un patrón de cristalinidad característico del tipo B tanto en harinas como en almidones. Así también en cuanto a la capacidad de absorción de agua, la muestra que resultó con el valor más alto tanto en harinas como en almidones fue chayotextle con 21.6 g/g para el caso de las harinas, y 94.8 g/g para almidones (90 °C). Los resultados del índice de solubilidad de las harinas (90 °C) demuestran que chayotextle fue la más estable presentando la menor solubilización (20%), mientras que por el contrario la *Oxalis tuberosa* presentó claramente tener la mayor capacidad de solubilización (40.2%), para el caso de los almidones las muestras de papa y *Oxalis tuberosa* fueron los que más componentes solubilizaron no presentando diferencias significativas entre sí ( $p \geq 0.05$ ), con valores de 12.08 y 13.5% respectivamente, por lo que chayotextle nuevamente mostró la menor solubilización (8.92%). Finalmente en cuanto a las propiedades térmicas, las harinas exhibieron una sola transición endotérmica de gelatinización entre los 50-80 °C, para el caso de las harinas, la *Oxalis tuberosa* resultó la más sensible al calor ya que presentó la temperatura inicial más baja (58.2 °C), mientras que chayotextle presentó la entalpía más alta (11.54 J/g), por su parte los almidones presentaron la transición endotérmica entre los 45-65 °C, donde de igual manera la *Oxalis tuberosa* presentó la temperatura inicial más baja (54.7 °C), luego papa (58.5 °C) y por último el chayotextle fue más estable térmicamente presentando la temperatura inicial y entalpía más alta (61.3 °C y 15.61 J/g).

Los resultados confirman la viabilidad de las harinas y de los almidones como ingredientes en la formulación de alimentos a base de tubérculos; y la importancia de la variedad y el proceso de molido utilizado en sus propiedades funcionales. Además presentan ventajas en términos antioxidantes al ser incorporados en formulaciones alimenticias. Su tendencia hidrofílica tanto de almidones como de harinas los convierte en ingredientes ideales en

procesos industriales donde involucre remojo y cocción, así también en formulaciones donde se desea disminuir o eliminar el gluten.

## ABSTRACT

Ensuring food security and delivering food that provides health benefits are the major global challenges. Increased demand for animal protein, continued population growth; the global increase in diet-related diseases as well as the availability of arable land and water for alternative crops such as biofuels, are the pressures that are driving the need to increase efficiency and quality in food production; and the use for the best use of the raw materials will be fundamental to achieve these objectives. Globally, about 45% of the production of roots and tubers is consumed as food, the rest is used for animal consumption or industrial processing, such as starch production, liquors, distillates and a range of minor products. So, it is interesting study the physicochemical and functional properties, as well as evaluate the digestibility of starches from non-conventional tubers and starches as they are the Chayotextle and the Oxalis tuberosa, to be able specify its alimentary potential.

The objective of this work was physicochemical and functionally characterize flours and starches from Chayotextle (*Sechium edule* Sw) and Oxalis tuberosa non-conventional tubers, as well as, evaluate the starches digestibility

Tubers were purchased in Tulancingo de Bravo and Acaxochitlán, in Hidalgo State. Moisture content had significant differences, in flours the higher value was for Oxalis tuberosa (18.6%) whereas in starches the higher value was for chayotextle (17.4%). Respect color Oxalis tuberosa flour was opaque and with tendency to red tones this due to content of red pigments in tuber, while potato and chayotextle flour presented yellowish tones, also due to pigments present in each tubers, in starches the tendency was towards white color, which may be a favorable indication to corroborate that were correctly isolated and there is no pigments, protein or fiber remains. Regarding the morphological characteristics through scanning electron microscopy, in flours were observed particles with semispherical and irregular forms mainly, as well as various sizes so that all flour samples consisted of mixed populations of large, medium and small particles, while the starches varied in form and size, presenting elongated, polygonal and spherical shapes of different sizes. X-ray diffraction indicates that peaks intensity correspond to B-type crystallinity pattern in both flours and starches. Thus

also in terms of water absorption capacity, the sample that resulted in highest value was chayotextle flour (21.6 g/g), and chayotextle starch (94.8 g/g) at 90 °C. The results of solubility index at 90 °C shown that chayotextle flour was most stable obtaining a lowest solubilization (20%), While *Oxalis tuberosa* clearly had highest solubilization capacity (40.2%), for potato and *Oxalis tuberosa* starches were the most solubilized samples, with no significant differences between them ( $p \geq 0.05$ ), with values of 12.08 and 13.5% respectively, so chayotextle starch shown lowest solubilization (8.92%). Finally about thermal properties, flours exhibited a single endothermic gelatinization transition between 50-80 ° C, *Oxalis tuberosa* flour was the most sensitive to heat since it had lowest initial temperature (58.2 °C), while chayotextle flour presented the highest enthalpy (11.54 J/g), on the other hand the starches presented the endothermic transition between the 45-65 ° C, where *Oxalis tuberosa* showed the lowest initial temperature (54.7 ° C), then potato (58.5 ° C) and finally chayotextle was more thermally stable with initial temperature and higher enthalpy (61.3 °C and 15.6 J/g, respectively).

The results confirm the viability of flours and starches as ingredients in formulation of tuber-based foods; and the importance of the variety and grinding process used in its functional properties. They also have advantages in terms of antioxidants when incorporated into food formulations. Its hydrophilic tendency of both starches and flours makes them ideal ingredients in industrial processes, as well as in formulations where it is desired to decrease or eliminate gluten.

# 1 INTRODUCCIÓN

Garantizar la seguridad alimentaria y la entrega de alimentos que proporcionen beneficios a la salud son los principales desafíos globales. El aumento en la demanda de la proteína animal, el crecimiento continuo de la población; el incremento mundial de las enfermedades relacionadas con la dieta así como la disponibilidad de tierras cultivables y de agua para cultivos alternativos como los biocombustibles, son las presiones que están impulsando la necesidad de aumentar la eficiencia y calidad en la producción de los alimentos; y el aprovechamiento para el mejor uso de las materias primas será fundamental para el logro de estos objetivos. Para ello es necesario aumentar nuestra comprensión de la relación estructura - función de los componentes de los alimentos; por lo que hay una necesidad de entender, cuál es el comportamiento que tienen los componentes mayoritarios, como el almidón y la fibra, de productos agroalimentarios que no han sido ampliamente caracterizados y de los cuales se pueden obtener harinas y almidones.

La capacidad para relacionar la estructura granular del almidón para la idoneidad de un proceso de manufactura alimenticio en particular o de sus cualidades nutricionales depende no sólo del conocimiento de los factores genéticos y ambientales que controlan la biosíntesis del almidón y de la morfología del gránulo sino también de cómo el material es procesado. Ha habido un progreso considerable hacia la relación de la complejidad morfológica de gránulos de almidón nativo a las propiedades de procesamiento, aunque todavía hay muchas lagunas en nuestro conocimiento, si bien hay una cierta comprensión de la influencia del genotipo sobre la estructura y morfología de los gránulos de almidón, el conocimiento de cómo estos son afectados por factores ambientales durante el crecimiento del cultivo es aún limitado (Copeland, 2009).

Se sabe que el almidón es muy variable en forma y funcionalidad entre y dentro de las especies botánicas, e incluso de la misma variedad de plantas cultivadas bajo diferentes condiciones. Actualmente se necesitan almidones con una gama de propiedades funcionales que garanticen su uso y aplicación en diversos productos alimentarios; aunque, por otra parte, la variabilidad de los almidones puede causar problemas en el procesamiento debido a la



inconsistencia de las materias primas Burrell (2003), por lo que es necesario caracterizar las fuentes alternativas de almidón, con la finalidad de entender sus propiedades y cuáles serían sus posibles aplicaciones.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Tubérculos

La FAO (2013), clasificó a los alimentos en 12 grandes grupos, dentro de los cuales el grupo número 2 corresponde a las raíces y tubérculos con almidón. Las materias primas que componen los cultivos de raíces y tubérculos como la yuca (*Manihot esculenta*), la papa (*Solanum tuberosum*), el camote dulce (*Ipomea batatas, Lam*), el ñame (*Dioscorea spp.*) y los cultivos de raíces y tubérculos andinos (varios géneros), proporcionan una parte sustancial de suministros de alimentos en el mundo, y son también una fuente importante de alimento para animales y productos industriales. A escala mundial, aproximadamente el 45% de la producción de raíces y tubérculos se consume como alimento, el resto se utiliza para consumo animal o para procesamiento industrial, como producción de almidón, licores, destilados y una gama de productos de menor importancia (Charrondiere y col., 2013).

El uso que se le da a los tubérculos varía considerablemente de un país a otro. En los países en desarrollo (con excepción de China y Brasil), la mayor parte se utiliza para consumo humano y el resto (menos del 20%) se destina para consumo animal. Es decir, que en los países desarrollados el consumo humano de raíces y tubérculos es considerablemente menor que en los países en vías de desarrollo, pero su uso para alimentación animal es mayor. Además, se estima que sólo la papa y la mandioca se comercializan internacionalmente en cantidades significativas, sobre todo en países desarrollados. El camote dulce, la papa y la yuca se entiende que se originaron en América, ya que se cultivan en un intervalo considerable de latitud y altitud de hasta 2,500 metros sobre nivel del mar, así también se sabe que la principal producción de ñame se encuentra en la región de la sabana de África Occidental, donde se cultiva más del 90% de la cosecha a nivel mundial, destacando que entre 1988 y 1993 su producción aumentó de 20 a 27 millones de toneladas métricas. De manera general el consumo de tubérculos ha ido en aumento, por ejemplo, en África la papa y la yuca han incrementado su consumo en + 0.32%, mientras que el ñame ha repuntado con + 8.5% debido al aumento poblacional. Para el caso de la papa, se ha documentado que durante los últimos treinta años la producción se ha incrementado rápidamente, particularmente en Asia (3.9% anual) y África (4.2%), mientras que la producción mundial

de yuca durante el mismo periodo ha crecido con una tasa anual de + 2.7%, esto debido a que representa una importante fuente de alimentos y de ingresos económicos en las zonas rurales. Finalmente, en China donde se produce el 85% del camote dulce a nivel mundial, se ha reportado acerca de los múltiples usos del cultivo, por ejemplo, alimento para animales, producción de fideos y alcohol, esto ha ocasionado la diversificación de los mercados para lo que antes era el consumo humano directo, así mismo en las zonas más pobres de África se ha incrementado la producción de camote dulce (Burlingame y col., 2009).

La producción y uso de diversos tubérculos radica en que son una fuente importante de aporte energético para las personas que los consumen, por el alto contenido de almidón que contienen, pero, además también por el contenido de nutrientes que poseen y aportan a la dieta, aunque este puede variar mucho entre variedades del mismo tubérculo, por ejemplo, el contenido de proteína en camote dulce puede variar entre 5-14 g/100 g (Kennedy y Burlingame, 2003).

### **2.1.1 Tubérculo de camote dulce**

El camote dulce (*Ipomea batatas Lam.*) es uno de los cultivos de raíces más importantes, con más 133 millones de toneladas producidas alrededor del mundo, este tubérculo es un alimento básico para millones de personas y el séptimo de los cultivos más abundantes en todo el mundo después del trigo, el arroz, el maíz, la papa, la cebada y la yuca, crece en regiones tropicales y subtropicales. Asia y África producen el 95% la producción mundial total. Se cultiva y se consume principalmente en los países en desarrollo, y es el quinto cultivo más grande de los alimentos del mundo. Contiene abundantes sustancias nutritivas y podría convertirse en un importante recurso alimenticio para resolver el problema de la escasez de alimentos, causado por la desertificación y el crecimiento de la población, finalmente debido a su alto contenido en antocianinas y carotenos es utilizado como alimento, piensos y materias primas para la transformación industrial (Ishida y col., 2000; Rumboa y col., 2009; Bouvelle, B; 2007).

La calidad del camote dulce es un concepto integrado y complicado, constituido por una serie de factores, ya que la demanda de los diferentes niveles de calidad de estos tubérculos varía debido a que son utilizados para diferentes propósitos. Sin embargo, con respecto a la producción y la utilización, la calidad del camote dulce incluye principalmente, la parte nutricional, comestible, y de procesamiento. Estos indicadores de calidad se ven afectados tanto por el genotipo como el medio ambiente, debido a que diferentes genotipos y condiciones ambientales resultan en diferentes calidades, por lo que los valores nutricionales y de salud, así como la idoneidad de procesamiento en diferentes localidades varían (Guoquan, 2003).

El tubérculo de camote dulce ha sido reconocido como un alimento potencial para la seguridad alimentaria global, esto debido a que de los cinco principales cultivos en países como África (mandioca, plátano, camote, ñame y maíz), el camote es el cultivo más importante en términos de seguridad alimentaria, además que nutricionalmente puede contener un porcentaje de humedad que oscila entre 68.1-81.4, proteína 1.0-1.6, grasas 0.3-0.5, fibra cruda 0.6-1.0, cenizas 0.6-0.9% y almidón total entre el 10.7-27.8% (Zhengong, 2003; Waramboi y col., 2011).

### **2.1.2 *Tubérculo de papa***

El tubérculo de la papa es un tallo subterráneo modificado para el almacenamiento del almidón, es el cuarto cultivo alimenticio en orden de importancia en el mundo, después del trigo, el arroz y el maíz. Su producción anual representa aproximadamente la mitad de la producción mundial de todos los tubérculos y raíces. Hoy en día la producción mundial anual suma 350 millones de toneladas y cubre 28.5 millones de hectáreas, siendo la república de China el primer productor de papa a nivel mundial (72 040 000 toneladas). Este cultivo representa una parte importante en la dieta de más de 500 millones de personas en los países en desarrollo, y se estima que el 70% de la producción total se destina al consumo humano. Químicamente contiene una gran cantidad de humedad (70-75%), sus carbohidratos incluyen almidón, celulosa, glucosa, sacarosa y en mínimas cantidades pectina, su relación amilosa/amilopectina generalmente es 1:3, ya que estas proporciones pueden variar

dependiendo de la variedad, localización geográfica y condiciones ambientales donde se desarrolle el cultivo, su contenido de nitrógeno total en base seca oscila del 1-2%, porcentaje del cual, de la mitad a un tercio es proteína, además es fuente de vitaminas como la vitamina C y A entre otras, su contenido de fibra y cenizas puede variar entre 1.0-2.2 y 1.0%; finalmente su contenido de grasa es de aproximadamente el 0.1% (Ospina, 2007).

### **2.1.3 Tubérculo de Oca**

La oca (*Oxalis tuberosa*), es un tubérculo rico en almidón domesticado en la región andina mucho antes de los tiempos de los incas; es el más conocido de los cultivos de tubérculos de esa región. Su cultivo y consumo llegó a ocupar la segunda posición después de la papa (NRC, 1989). Este tubérculo se cultiva principalmente en las tierras altas de Ecuador, Perú y Bolivia, pero también se encuentra en algunas partes de Chile, Argentina, Colombia y Venezuela. La forma del tubérculo se extiende de ovoide a cilíndrica y claviforme. El color de la superficie varía de blanco, crema, amarillo, naranja, rosa y morado. A pesar de que el valor nutritivo de la oca es comparable a la papa, existe una variación en las propiedades nutricionales de los genotipos. La oca es considerada un buen recurso de carbohidratos (13.8-85.2% en base seca), calcio (40-247 ppm) y hierro, (8-49 ppm) (Flores y col., 2003). En la región andina, la oca se consume en sopas y guisos, al vapor, hervida, al horno o como las papas, así también se utiliza en la medicina popular de la región andina para aliviar úlceras en la piel y la recuperación post-parto. Finalmente, se ha reportado que los atributos anteriormente mencionados pueden estar relacionados con los fitoquímicos presentes en el tubérculo, como por ejemplo los compuestos fenólicos (Chirinos y col., 2009).

Aunado a lo anterior, Campos y col., (2006) mostraron que la oca ocupa la segunda posición en términos de capacidad antioxidante después de tubérculos como mashua (*Tropaeolum tuberosum*), seguido por la papa y ulluco (*Ullucus tuberosus*), por lo que estos resultados indican que la oca contiene una cantidad importante de antioxidantes fitoquímicos, que pueden ser aprovechados por la industria de los alimentos.

## **2.2 Importancia de los principales tubérculos en México**

El cultivo de papa a nivel nacional en el año agrícola 2011 se ubicó en el lugar 17 por la superficie sembrada, lo que significó 54,500 hectáreas sembradas, lo que representó un volumen de producción de 1,433 millones de toneladas. De éstas, 56% se destinó al mercado en fresco; 29% a la industria, y 15% como semilla. Además, en México este tubérculo se produce todo el año, prácticamente desde el nivel del mar y hasta altitudes superiores a los 2,400 metros sobre el nivel del mar, por lo que su oferta en el mercado en fresco es permanente, las principales seis entidades productoras son: Sinaloa, Sonora, Nuevo León, Estado de México, Chihuahua y Veracruz, que registraron un volumen de producción de casi 1 millón de toneladas, que representan 68% de la producción nacional. Por otro lado, desde el 2005 hasta la fecha, la superficie de este cultivo se ha venido reduciendo, pasando de las 63,000 en el 2005 a 55,000 hectáreas en el 2011, mientras que el rendimiento promedio por hectárea se ha mantenido estable en las 26 toneladas, lo que ha significado una producción anual por arriba de 1.5 millones de toneladas, volumen para asegurar una autosuficiencia en el mercado de la papa en fresco. Este tubérculo tiene diversos usos: en fresco para el consumo humano en la elaboración de diversos platillos gastronómicos, como materia prima en la elaboración de forrajes para el consumo animal, y en la industria química, para la extracción de alcohol y fabricación de licores, esencias, aromas, entre otros. Como cultivo, la papa el año pasado ocupó el quinto lugar en el renglón alimenticio en la dieta de los mexicanos, después del maíz, frijol, trigo y arroz, con un consumo per cápita de 16.2 kilogramos (Ochoa, 2016).

Otro de los cultivos más antiguos en México, es el camote, del cual se ha reportado que las variedades más sembradas son las de pulpa blanca, amarilla, naranja, rojiza o púrpura. Además, se sabe que se cultiva en prácticamente todos los estados de la república con una producción aproximada de 61,098 toneladas (ton) en 2,908 hectáreas, siendo los estados más productivos, Guanajuato (27,328 ton.) y Michoacán (10,756 ton.). En términos de rendimiento (toneladas por hectárea), los más productivos independiente del área sembrada son, Chihuahua (30.8), Guanajuato (25.5), Michoacán (24.2) y Jalisco (23.8). Así también, se sabe que de 1990-2004 se ha reportado un incremento en la extensión de área sembrada, sobre todo en estados de clima templado como Chihuahua y Guanajuato, esto ha permitido

aumentar su rendimiento en los últimos quince años, ya que en el caso de Guanajuato se ha elevado la producción en casi 400%, y en otros estados como Aguascalientes, Estado de México, Nayarit, Yucatán, Jalisco y Chihuahua en más de 100%. En estados como Puebla se han popularizado sus camotes cristalizados, sin embargo, la producción de camote en ese estado es menor a 500 toneladas anuales. Por otro lado, en estados como Colima y Jalisco el camote en piloncillo y almíbar es un alimento básico, así que en general, el camote es utilizado como alimento. No obstante, en el caso del camote amarillo, es útil para el tratamiento de algunas enfermedades causadas por deficiencias nutrimentales como la pelagra y el escorbuto, debido a la gran cantidad de vitaminas y de carotenos que contiene. Además, nutricionalmente es de mejores características que la papa, ya que es una fuente rica en fibra, antioxidantes y minerales, por ejemplo el camote amarillo contiene más beta-caroteno que la zanahoria, y adicionalmente se ha recomendado para tratar la deficiencia de vitamina A, químicamente por cada 100 g de tubérculo el 74% es agua, fibra 1.2%, lípidos 0.2%, proteínas 1.2%, carbohidratos 21.5%, así como minerales (sodio, potasio, fósforo, magnesio, cobre y zinc), y vitaminas (A, B1, B2, B3 y C), lo anterior significa que este cultivo además de aportar cultura y tradición a nuestro país, genera beneficios económicos y saludables (Linares y col., 2008).

Por otra parte, en México y especialmente en el estado de Hidalgo existe el consumo cada vez más frecuente de tubérculos no tradicionales como la Oca y el chayotextle, que han estimulado la producción de traspatio de estos tubérculos, por ejemplo, en tianguis tradicionales como el del municipio de Acaxochitlán, Tulancingo y Huasca es cada vez más común observar a personas que provienen de comunidades rurales a ofertar este tipo de productos. En años anteriores solo se comercializaban estos tubérculos que crecían de forma silvestre en comunidades rurales alejadas, sin embargo, ante la creciente demanda ocasionada por la aceptación favorable de mercados locales, algunas comunidades ya han domesticado estos productos y en la actualidad ya los siembran como cultivos alternos (Figura 1) que les reflejan beneficios importantes como el autoconsumo y a su vez ingresos económicos por dichas actividades agrícolas. Finalmente es digno de nota, mencionar que estos tubérculos han tenido una aceptación considerable debido a su versatilidad gastronómica ya que se utilizan en guisos, salsas, aderezos y postres principalmente.



Figura 1. Cosecha de chayotextle en el municipio de Acaxochitlán.



### **2.3 Obtención de harinas y almidones a partir de tubérculos**

Dado que los usos del almidón son menos diversos y comunes que las harinas, el aumento en el uso de harinas para aprovechar sus beneficios nutricionales y de salud, se basan en la comprensión de las propiedades y características de sus componentes mayoritarios, ya sea de forma individual o bien en conjunto como se encuentran en las harinas, ya que estudios han mostrado diferencias en las propiedades entre almidones y harinas extraídos del mismo material alimenticio, en la actualidad no existen de manera particular estudios detallados sobre la relación que hay entre almidones y harinas a partir de tubérculos, por lo que desafortunadamente existen cultivos menos explotados en el mundo desarrollado (Waramboi y col., 2001; Chancell y col., 2014).

Por su parte, algunos autores reportan que los tubérculos en general, requieren condiciones controladas de almacenamiento, temperaturas entre 13 y 15 °C y humedades relativas de 85 – 90%, que sólo puede realizarse con equipos avanzados que consumen energía, y mano de obra (Reesa y col., 2003; Mortleyl y col., 1994; Peng y col., 2013). Debido a lo anterior, para evitar la pérdida de calidad durante el almacenamiento en condiciones no controladas, los tubérculos pueden ser cortados, secados y molidos antes de su almacenamiento, en consecuencia, las harinas tienen una vida de almacenamiento más prolongada y pueden ser utilizadas inmediatamente sin ningún tipo de proceso adicional. Además, se conservan características como las propiedades sensoriales y nutricionales sin que haya cambios en el color ni el sabor.

Por lo tanto, las harinas de tubérculos son un ingrediente prometedor en muchas preparaciones alimenticias tradicionales y productos industriales; por lo que la determinación de diferentes propiedades funcionales y fisicoquímicas, así como conocer y comprender la estructura y composición molecular de sus constituyentes mayoritarios, son un aspecto importante en el procesamiento, ya que podría permitir predecir tanto la calidad del producto final, como determinar su uso potencial.

## **2.4 Constituyentes principales de los tubérculos**

### **2.4.1 Fibra**

La fibra es uno de los componentes más importantes de los tubérculos, y ha dado lugar a muchos trabajos de investigación en los campos de la medicina, alimentos e industriales.

A pesar de los muchos estudios sobre el tema de la fibra, no hay aceptación general sobre su definición. Por ejemplo, el término “fibra dietética” nace en 1953 dentro de la cual se incluye a la celulosa, hemicelulosa, pectinas y lignina principalmente, que son componentes de las paredes celulares de las plantas; así como carbohidratos de origen de algas como gomas y mucílagos y oligosacáridos como la inulina. La principal característica de la fibra dietética es que “no es digerible”; y es considerada como “forraje” por el intestino delgado de los humanos y comprende a las porciones de alimentos que no son descompuestos por el sistema digestivo. Así mismo se encuentran los carbohidratos no digeribles como el almidón resistente, fructo-oligosacáridos (FOS), galacto-oligosacáridos (GOS), celulosas modificadas y carbohidratos sintetizados como la povidex. La fibra dietética se puede clasificar de acuerdo a su fuente, solubilidad (Figura 2), fermentabilidad y efectos fisiológicos como la disminución del colesterol en sangre, reducción del tránsito intestinal, mejoramiento en el funcionamiento del intestino grueso, actividad prebiótica y disminución de glucosa en sangre. Esta puede ser obtenida tradicionalmente a partir de cereales, de legumbres, frutas y verduras. El almidón resistente también se incluye en las fibras dietéticas, ya que resiste la digestión a su componente de azúcar (la glucosa) en el intestino delgado del humano y pasa sin cambios en el intestino grueso; algunas formas de almidón resistente están disponibles comercialmente, y se usan para enriquecer productos sin cambios significativos en el sabor y la textura (Deepak y Sheta, 2013).

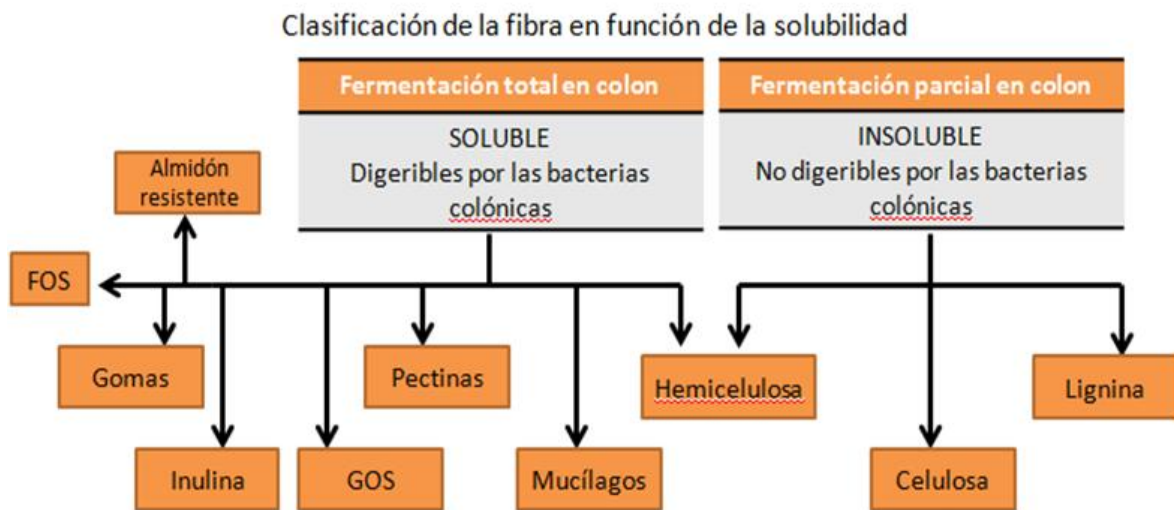


Figura 2. Clasificación de la fibra en función de la solubilidad.

## 2.4.2 Almidón

El almidón es el principal carbohidrato de reserva de los tubérculos, el cual se deposita como gránulos insolubles semicristalinos en los tejidos de almacenamiento. Los gránulos de almidón varían en tamaño de 1-100  $\mu\text{m}$  de diámetro, su forma puede ser poligonal, esférica y lenticular y esta puede variar mucho con respecto al contenido, estructura y organización de las moléculas de amilosa y amilopectina, la arquitectura de ramificación de amilopectina, así como el grado de cristalinidad (Compeland, 2009; Lindebom y col., 2004).

La amilosa esencialmente lineal unida por enlaces  $\alpha 1-4$  (Figura 3), tiene un peso molecular aproximado de entre  $10^5 - 10^6$ , dependiendo del grado de polimerización (DP) que va de 1,000-10,000 unidades. Menos del 0.5% de las glucosas en la amilosa poseen enlaces  $\alpha 1-6$ , lo que resulta en un bajo grado de ramificación. Debido al bajo grado de ramificación la amilosa disuelta tiene una tendencia a formar agregados semicristalinos insolubles, dependiendo de la colocación de las ramificaciones en la estructura. Por otro lado, este polímero es el responsable de la gelificación en las pastas frías de almidón al formar una red tridimensional cuando se asocian las moléculas al enfriarse. Los almidones ricos en amilosa mantienen su forma cuando se moldean; gelifican, mientras que los almidones sin amilosa espesan, pero no gelifican. Además, la amilosa influye en el empaquetamiento de amilopectina dentro de las regiones cristalinas dentro de los gránulos. Una mejor comprensión de la ubicación de amilosa en los gránulos puede mejorar nuestra capacidad de relacionar la estructura a las propiedades que involucran absorción de agua; hinchamiento, gelatinización y susceptibilidad a ataque enzimático. Las propiedades térmicas y formación de gel parecen influir en ambas por el contenido de amilosa y la arquitectura de la amilopectina (Burrell, 2003; Copeland, 2009; Vaclavik, 1998).

La amilopectina es un polímero mucho más largo, que tiene cadenas de glucosas unidas por enlaces  $\alpha 1-4$  dispuestas en una estructura altamente ramificada, con enlaces  $\alpha 1-6$  (Figura 3), con un peso molecular alrededor de  $10^8$ , y un DP que puede exceder un millón. La mayoría de los almidones pueden contener del 60-90% de amilopectina, aunque hay almidones de alta amilosa con un contenido de amilopectina del 30% y almidones cerosos con contenido esencialmente de amilopectina al 100%. La amilopectina tiene alrededor del 5% de glucosas

con enlaces  $\alpha$ 1-6, resultando una estructura muy ramificada, como una estructura en forma de árbol y una arquitectura molecular compleja que puede variar substancialmente entre diferentes almidones con respecto a la colocación y longitud de las ramificaciones, los almidones con un alto porcentaje de amilopectina espesarán una mezcla pero no gelificarán porque a diferencia de la amilosa, las moléculas de amilopectina no se asocian, ni forman enlaces químicos. La variabilidad natural de moléculas de amilosa y amilopectina es debido a la complejidad de la biosíntesis de almidón (Copeland, 2009; Morell, 2005; Vaclavik, 1998).

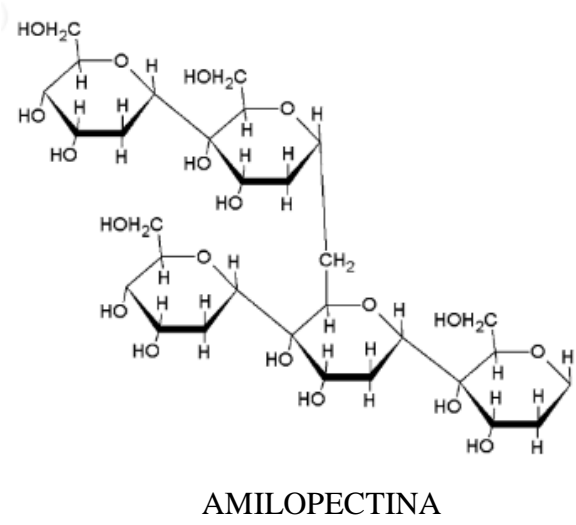
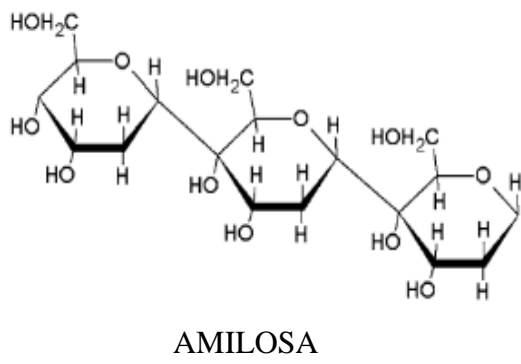


Figura 3. Estructura química de la amilosa y amilopectina.

El almidón ha sido objeto de intensos estudios por varias décadas dando como resultado vastos estudios sobre métodos de preparación analíticos, estructura molecular, propiedades físicas, químicas, bioquímicas, funcionalidad y usos potenciales en los alimentos. El almidón está presente como un macro-constituyente en muchos alimentos y sus propiedades e interacciones con otros componentes, en particular el agua y los lípidos, son de interés para la industria alimentaria y la nutrición humana; además es un material industrial importante. Contribuye de entre el 50-70% de la energía en la dieta humana, proporcionando una fuente directa de glucosa, que es un sustrato esencial en el cerebro y las células rojas de la sangre para la generación de energía metabólica proporciona 4 calorías/gramo, adicionalmente se pueden usar en los alimentos en forma de maltodextrinas de cadena corta derivadas de la hidrólisis del almidón para simular el sabor y la textura de las grasas y proporcionan 4 calorías/gramo en vez de las 9 calorías/gramo de la grasa (Vaclavik, 1998; Copeland, 2009).

Se estima que se extraen anualmente 60 millones de toneladas de almidón en todo el mundo de diversos cultivos como cereales, tubérculos y raíces, de las cuales aproximadamente el 60% se utiliza directamente en los alimentos (productos de panadería, salsas, sopas, dulces, jarabes de azúcar, helados, bocadillos, productos cárnicos, alimentos infantiles, sustitutos de grasa, blanqueador de café, cerveza y refrescos); y el 40% en productos farmacéuticos y fines no comestibles (como los fertilizantes, revestimientos de semillas, papel, cartón, material de embalaje, adhesivos, textiles, tejidos, pañales, bioplásticos, materiales de construcción, cemento, y la extracción de petróleo) (Burrell, 2003).

### **2.4.3 *Minerales***

Los tubérculos son ricos en potasio, fósforo, magnesio, calcio y hierro. Particularmente contienen cantidades importantes de ésteres de fosfato unidos de forma covalente, los monoésteres de fosfato en tubérculos están unidos principalmente a la amilopectina; la distribución de estos se encuentra en los carbonos 2, 3 y 6 de las unidades de glucosa. En cambio, los grupos fosfato se ha informado de que se encuentra a más de 9 residuos glucosilos de distancia del punto de ramificación. Por otro lado, el fósforo es localizado densamente en

el núcleo del gránulo de almidón junto a la amilopectina. Además, se ha reportado que almidones cerosos de papa contienen grandes cantidades de fosfato orgánico. Finalmente, trabajos previos indican que un contenido alto de fósforo mejora considerablemente la claridad de la pasta (Burrel, 2003).

## **2.5 Propiedades de las harinas y almidones**

La importancia tecnológica y económica que más se ha reportado para las harinas provenientes de tubérculos es que son una fuente importante de carbohidratos, además que poseen una amplia versatilidad en términos de su incorporación en productos industriales a base de harinas como el pan, galletería y extrudidos. Estudios previos han reportado que las suspensiones a partir de harinas tubérculos exhiben ventajas importantes en términos industriales como la reducción de la viscosidad durante el calentamiento, pastas de características pegajosas, geles gomosos y cohesionados y presentan poca resistencia a enzimas amilolíticas. (Kaur y col., 2009; Liu y col., 2005).

Así también la capacidad de absorción de agua es una propiedad funcional importante en alimentos donde se requiere cierta viscosidad como las sopas, salsa, pastas y productos horneados donde se desea una buena interacción de la proteína con el agua, haciendo que las harinas a partir de tubérculos sean un ingrediente más adecuado en las formulaciones libres de gluten. Por otro lado, las harinas con alta capacidad de absorción de aceite son potencialmente útiles en los productos alimenticios para la retención de sabor, mejora de la palatabilidad y la extensión de la vida útil principalmente en panadería y productos cárnicos, esta propiedad hace que las harinas sean adecuadas para facilitar la mejora en la sensación en la boca cuando se utiliza en preparaciones alimenticias. Otra de las propiedades del almidón es el índice de solubilidad, que nos indica el volumen ocupado por el almidón gelatinizado y proteína desnaturalizada, así como de otros componentes que después del hinchamiento en exceso de agua se mantienen en la dispersión acuosa (Abebe y col., 2015; Granito y col., 2004).

En cuanto a la funcionalidad del almidón, esta va a depender de varios factores como, la variedad de la fuente, estructura granular, arquitectura y ramificación de la amilopectina,



grado de cristalinidad y estabilidad térmica del gránulo; así como de las condiciones climáticas y genéticas, contenido de amilosa y la interacción con otros elementos como el agua, los lípidos y los minerales y fibra (Liu y col., 2005).

### **2.5.1 *Propiedades funcionales de las fibras***

Las propiedades funcionales de las fibras dependen principalmente de sus características fisicoquímicas. Que de acuerdo a Mudgil y Barak, (2013) las más importantes aplicadas a la industria alimentaria son las siguientes:

#### **2.5.1.1 *Solubilidad***

Basada en su solubilidad en agua, la fibra dietética es soluble (pectinas y gomas) e insoluble (celulosa y lignina). La fibra soluble es la responsable de la viscosidad y reduce el índice glicémico y el colesterol en sangre. En cambio, la fibra insoluble se caracteriza por su porosidad, aumentar su volumen, baja densidad, y disminuir el tiempo de tránsito intestinal. En operaciones de procesamiento de alimentos, la incorporación de fibra soluble a productos alimentarios es más benéfico para proporcionar viscosidad, capacidad de formar geles, o actuar como emulsionantes en comparación con la fibra insoluble.

#### **2.5.1.2 *Capacidad de retención de agua***

Es la cantidad de agua que es retenida por un peso conocido de fibras secas bajo condiciones específicas de temperatura, tiempo de remojo, velocidad y duración de centrifugación. Sin embargo, una porción de fibra soluble se pierde durante la medición, lo cual afecta la retención de agua, por lo que la cantidad de agua medida por centrifugación es generalmente mayor que la cantidad de agua absorbida. En general, los polisacáridos constituyentes de la fibra dietética son fuertemente hidrofílicos. El agua es retenida en los sitios hidrofílicos de la fibra en sí o dentro de los espacios vacíos en la estructura molecular.

### **2.5.1.3 Viscosidad**

Propiedad fisicoquímica asociada con la fibra dietética soluble tales como gomas y pectinas. La viscosidad o capacidad de formación de gel está relacionada con la capacidad de absorber agua y formar una masa gelatinosa. La fibra soluble en agua es el mayor componente que podría incrementar la viscosidad de una solución. La fibra soluble forma geles.

### **2.5.1.4 Capacidad de unión**

Las fibras insolubles, tales como la celulosa y la lignina, son en su mayoría no fermentables por la microflora colónica y aumentan la masa fecal por su capacidad de formación de partículas y de retención de agua. Algunas fibras no fermentables como la hemicelulosa, incluyendo la col, aumentan la masa fecal mediante el aumento de la flora fecal. Por el contrario, las fibras altamente fermentables, tales como la pectina, tienen poco efecto sobre la masa fecal.

### **2.5.1.5 Fermentabilidad**

El grado en que fermentan las fibras es altamente variable, van desde las que no fermentan nada como las ligninas, hasta las que fermentan casi por completo como las pectinas, así también las fibras solubles se fermentan a un grado mucho mayor por las bacterias del colon que las fibras insolubles, por lo que la fermentación de las fibras solubles puede desempeñar un papel importante en algunos efectos fisiológicos de la fibra. Además, algunos vegetales (como las papas y los frijoles) se ha sugerido que fermentan rápidamente y que pueden contribuir al aumento de volumen fecal menos que otras fibras.

## **2.5.2 Propiedades térmicas y funcionales de los almidones**

La mayoría de los almidones consumidos por los humanos han sufrido algún tipo de procesamiento que por lo general involucra calentamiento en presencia de humedad bajo cizallamiento. La gelatinización, por ejemplo, ocurre cuando el almidón nativo es calentado en presencia de agua suficiente. Los gránulos absorben el agua e hinchan; y la organización

cristalina es irreversiblemente interrumpida. De acuerdo a la teoría de (Jenkins y Donald, 1998), el agua entra primero en los anillos de crecimiento amorfos y en un cierto grado de hinchamiento, y ésta interrupción es transmitida a través de una conexión molecular de la zona amorfa hacia la región cristalina. La amilosa comienza a lixiviar de los gránulos a medida que se van rompiendo bajo cizallamiento y la viscosidad de la pasta resultante incrementa al máximo, la cual corresponde al punto máximo de hinchamiento de los gránulos pero que aún están intactos. Éste máximo es seguido por una disminución en la viscosidad de la pasta ya que los gránulos de almidón se rompen y moléculas se dispersan en la fase acuosa. La velocidad y grado de hinchamiento, así como del rompimiento dependen del tipo y cantidad de almidón, gradiente de temperatura, fuerza de cizalla y la composición de la mezcla, por ejemplo la presencia de lípidos y proteínas. La temperatura de gelatinización de la mayoría de los almidones está entre 60 y 80 °C. Por lo general hay una relación negativa entre el contenido de amilosa del almidón y la temperatura de gelatinización y viscosidad pico, luego a medida que la pasta de almidón se enfría, la viscosidad aumenta debido a la formación de un gel que se mantiene unido por interacciones moleculares que involucra a las moléculas de amilosa y amilopectina; en geles que contienen alrededor del 25% de amilosa, las moléculas del almidón forman una red resultante en un gel firme; en contraste con geles del almidones cerosos, los cuales son suaves y contienen agregados pero no una red definida. También se ha reportado que los almidones gelatinizados son digeridos mucho más rápido que los gránulos de almidones nativos y almidones retrogradados, consistente con la noción de que el acceso de enzimas a las moléculas de almidón puede ser el factor clave que limite la hidrólisis enzimática (Copeland, 2009; Debet y Gidley, 2007; Donald, 2011).

Los almidones también poseen propiedades funcionales de importancia considerable en la industria alimentaria como la solubilidad y el hinchamiento. Cuando el almidón se calienta en presencia de agua, la estructura cristalina se interrumpe debido al rompimiento de los enlaces de hidrógeno, y entonces las moléculas de agua se enlazan a los grupos hidroxilos expuestos de amilosa y amilopectina a través de enlaces de hidrógeno, lo que genera que el gránulo se hinche y solubilice. El grado de solubilidad e hinchamiento provee evidencia del grado de interacción entre las cadenas de almidón dentro de las regiones amorfas y cristalinas, este grado de interacción es influenciado por la proporción de amilosa y amilopectina, grado

de ramificación etc. También se ha reportado que el alto grado de hinchamiento pudiera deberse a los grupos fosfato sobre la influencia en la amilopectina, ya que se genera una repulsión entre los grupos fosfato y las cadenas adyacentes lo cual incrementa la hidratación por el debilitamiento del grado de enlace en el dominio cristalino; y que por el contrario los complejos de lípidos-amilosa restringen estas propiedades, además existe evidencia que la forma y el tamaño de gránulo también afecta estas propiedades, ya que se ha sugerido que gránulos pequeños poseen más contenido de fósforo que los gránulos alargados por lo tanto se refleja en mayor hinchamiento (Galliard y Bowler, 1987).

## **2.6 Uso de los almidones y las fibras**

### **2.6.1 *En la industria alimentaria***

En los últimos años, la aplicación de la fibra dietética en la industria alimenticia ha cobrado gran interés por sus múltiples beneficios y aplicaciones; debido a que mejora el contenido de fibra dietética y la viscosidad, mejora la textura, las características sensoriales y la vida útil de los productos alimenticios, además se ha incorporado en alimentos donde se desea aumentar la retención de agua y aceite para mejorar las emulsiones, el almidón resistente se ha utilizado con resultados favorables para reemplazar parcialmente las grasas, en los productos de panadería la incorporación de fibra dietética prolonga la frescura debido a su capacidad para retener agua, así también se ha demostrado que la fibra puede modificar el volumen del pan, mejora la elasticidad y aumenta la suavidad de la miga, así como la firmeza del pan de molde. En los productos lácteos la fibra dietética afecta favorablemente el proceso del cuajado y mejora las características sensoriales y reológicas, además se han estudiado los efectos de la fortificación con fibra dietética sobre las propiedades de productos tales como pan, pastas, yogurt, y productos picados de carne (Mugdil y Barak, 2013).

De acuerdo a Ali y col., (2016); Nafchi y col., (2011) el almidón en la actualidad es considerado un ingrediente funcional en la industria de los alimentos donde sus principales aplicaciones son como espesante, estabilizante, espesante y gelificante. Por otro lado, de manera global dentro de los usos más importantes que se le dan en la actualidad en los almidones, se encuentran para la formación de textura y consistencia en los alimentos, en la

industria del papel, para la producción de adhesivos y últimamente para la elaboración de empaques biodegradables.

### **2.6.2 En la salud**

El nombre "almidón resistente" se utiliza para describir el almidón presente en los alimentos que se digiere de manera incompleta, este almidón que no es degradado rápidamente por enzimas digestivas humanas en el intestino superior, ha sido asociado con beneficios a la salud debido a una liberación más lenta de la glucosa en el torrente sanguíneo, que resulta en la reducción de respuestas glucémicas e insulina posprandial. De manera que pasa de la parte superior del intestino a la parte inferior y se considera prebiótico, en el que es un buen sustrato para beneficio de la microflora intestinal asociado con la salud colónica. Trabajos previos indican que la resistencia del almidón a la digestión, puede ser debido a propiedades intrínsecas como la medida en que se mastica la comida, el resultado de los cambios durante el procesamiento, retrogradación, modificación química, o debido a interacciones otros constituyentes, especialmente lípidos, por lo que tratar de obtener almidones con propiedades de digestión lenta es un objetivo importante para la industria alimentaria (Copeland 2009; Gidley, 1987).

El estudio de la fibra dietética en los últimos años se debe a sus beneficios fisiológicos tales como el mejoramiento y desarrollo de bacterias intestinales benéficas (actividad prebiótica), por ejemplo, de la celulosa ingerida como parte de la fibra dietética, el 50% es degradada por fermentación natural en el colon produciendo una gran cantidad de ácidos grasos de cadena corta con los cuales se alimentan nuestras células intestinales; y que a su vez que son usados como combustibles por las células intestinales disminuyendo así el colesterol. Otros beneficios se han documentado como disminución del tránsito intestinal, actividad laxante; disminución de colesterol en la sangre, mejor funcionamiento del intestino grueso, atenuación de la glucosa post-prandial y atenuación de los niveles de glucosa en sangre. Por otro lado, las sustancias prebióticas son componentes alimentarios indigeribles que benefician al organismo huésped debido a la selección y desarrollo de bacterias como *Lactobacilos* y *Bifidobacterias* en el colon; y así mejora la salud del huésped. Algunas otras sustancias prebióticas como las gomas de guar, acacia, tragacanto, fructo-oligosacáridos

(FOS) y galacto-oligosacáridos (GOS), como la inulina, sirven de alimento para las bacterias intestinales y así ayudan en su desarrollo y actividad. Además, recientemente se han incluido otros carbohidratos no digeribles como maltodextrinas, celulosas modificadas y polímeros de carbohidratos sintetizados como la polidextrosa. Por el contrario, se ha reportado que la respuesta glucémica al consumo excesivo de almidón de rápida digestión puede ser un factor en algunas enfermedades relacionadas con la dieta (Depak y Sheta, 2013; Copeland, 2009).

### 3 JUSTIFICACIÓN

En base a la amplia literatura proveniente de diversas fuentes, es sabido que en la actualidad la producción de tubérculos comerciales como es el caso de la papa y la yuca, es insuficiente para resolver los problemas de seguridad alimentaria que prevalecen en el mundo actual, y que la demanda no es cubierta en su totalidad, esto aunado a la contracción global que han sufrido algunos mercados para la distribución de estos productos contra el constante crecimiento de la población mundial.

Al día de hoy, tanto el sector económico como académico, coinciden en que en los países en vías de desarrollo; en donde se producen tubérculos de fuentes no convencionales a través de huertos de traspatio, tiene como único destino el autoconsumo, es decir; la alimentación humana. Sin embargo, científica y tecnológicamente se desconoce el potencial alimentario que estas fuentes puedan poseer.

Por lo que estudiar las propiedades fisicoquímicas y funcionales, así como evaluar la digestibilidad del almidón de harinas y almidones de tubérculos no convencionales como lo son el Chayotextle y la *Oxalis tuberosa*, resulta muy atractivo para poder así precisar su potencial alimentario.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 General

Caracterizar fisicoquímica y funcionalmente harinas y almidones de Chayotextle (*Sechium edule Sw*) y *Oxalis tuberosa*, para poder así determinar su potencial alimentario.

### 4.2 Específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de las harinas y almidones de los tubérculos.
- Caracterizar las propiedades funcionales de las harinas y almidones de los tubérculos.
- Evaluar la digestibilidad del almidón.



## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1.1 *Materia prima*

Para el presente estudio se evaluaron las harinas y los almidones obtenidos de tubérculos de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle (*Sechium edule Sw*), los cuales fueron adquiridos en los tianguis comerciales de los municipios de Tulancingo de Bravo y Acaxochitlán en el Estado de Hidalgo.

### 5.1.2 *Obtención de las harinas*

Se utilizaron tubérculos frescos, sin daños mecánicos ni microbiológicos, los cuales se lavaron con agua del grifo y jabón para remover la suciedad, posteriormente se realizó un rebanado de 1-2 mm de espesor sin pelar. Para el caso de la papa blanca, las rodajas se sumergieron en agua con ácido cítrico al 0.5% a efecto de evitar oscurecimiento, las rodajas de los otros dos tubérculos sólo se sumergieron en agua. Posteriormente se secaron en un horno de convección a 40 °C durante 72 horas para después continuar con una molienda en seco hasta obtener polvo, el cual se tamizó a través de una malla 100 U.S. para uniformizar la granulometría. Posteriormente las harinas se guardaron en bolsas herméticas hasta su uso (modificado de Lerdluksamee y col., 2013).

#### 5.1.2.1 *Extracción del almidón*

Se utilizaron tubérculos frescos, sin daños mecánicos ni microbiológicos, los cuales se lavaron con agua del grifo y jabón para remover la suciedad, posteriormente se realizó un troceado de los tubérculos sin pelar de aproximadamente 0.5 mm<sup>3</sup>, después se molieron en húmedo con agua del grifo en una proporción muestra/agua 1:2 (p/v), para el caso de la papa blanca se utilizó una solución antioxidante con ácido cítrico al 0.5 % a efecto de evitar oscurecimiento, para el molido se utilizó una licuadora doméstica a la que se le dio velocidad máxima por dos minutos, luego los tubérculos molidos se cribaron en mallas 100, 200 y 325 U.S. en cada paso de malla los residuos se lavaron, decantaron y se eliminó el sobrenadante para después hacer el raspado del almidón. Una vez lo anterior se procedió a secar los

almidones en un horno de convección a 40 °C temperatura constante durante 72 horas, para luego pasarlos a través de una malla 100 U.S. y se guardaron hasta su uso (con algunas modificaciones de Gorosquera y col., 2004).

### **5.1.3 Propiedades fisicoquímicas**

#### **5.1.3.1 Análisis químico proximal**

Se realizó un análisis químico proximal de las tres harinas y los tres almidones de acuerdo a los métodos estándar de la AOAC (1990). El contenido de humedad (método de la estufa de aire 964.22), proteína N x 6.25 (método kjeldahl 955.04), grasa (método por extracción con Soxhlet 920.39C) y cenizas (método incineración Mufla 923.03). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

#### **5.1.3.2 Determinación de color**

La superficie de color de las harinas y almidones fue determinada utilizando un colorímetro Minolta (CM-508d, Japan), al cual una vez calibrado previamente con un azulejo blanco se le colocó la muestra de tamaño homogéneo contra la fuente de luz; y se procedió a realizar las mediciones registrando los valores de las coordenadas de luminosidad (*L*), rojo-verde (*a*), y amarillo-azul (*b*) según el espacio de color CIE *Lab* (Ahmed y col., 2013).

#### **5.1.3.3 Capacidad antioxidante**

##### **Preparación de las muestras**

Se tomaron 250 mg de muestra de cada una de las harinas y se colocaron en tubos para centrífuga de 15 mL totalmente cubiertos con papel aluminio, a lo que se les añadió 10 mL de una solución metanol/agua destilada (50:50). Posteriormente se incubaron durante 30 minutos con agitación constante a 300 rpm a temperatura ambiente. Luego el extracto fue centrifugado usando una centrifuga Rotanta 460 R (Labotech T., Johannesburg, South África) a 3400 rpm por 10 minutos a 4 °C y el sobrenadante fue colectado. El sedimento se sometió a una segunda extracción de 15 min con una segunda solución solvente de acetona/agua (70:30) para someterse a una segunda incubación durante 30 minutos con

agitación constante a 300 rpm a temperatura ambiente. Luego este segundo extracto fue centrifugado a 3,400 rpm por 10 minutos a 4 °C.

Los sobrenadantes fueron combinados y aforados a 25 mL a volúmenes 1:1 con las soluciones solventes metanol/agua y acetona/agua. Finalmente los extractos fueron almacenados bajo temperaturas de congelación para su posterior evaluación antioxidante. (Con algunas modificaciones de Chirinos y Humán 2009).

### **Determinación por Radical 1,1-Difenil-2-picryl-hydrazyl (DPPH)**

El reactivo DPPH es un radical libre estable, que en solución etanólica presenta una coloración violeta fuerte y su máxima absorbancia se obtiene a una longitud de onda de 520 nm, el cual se preparó a razón de 3.75 mg de DPPH y se aforó con 50 mL de etanol. Para el Trolox se pesaron 3.7 mg de Trolox y se aforó con 50 mL de etanol. La capacidad antioxidante se expresó en milimoles equivalentes de Trolox por litro ( $\mu\text{mol ET/L}$ ). El Trolox (Carboxílico 6-hidroxi-2, 5, 7,8-tetrametilcromo) es una molécula que presenta una fuerte actividad antirradical.

La actividad de eliminación del radical 1,1-Difenil-2-picryl-hydrazyl (DPPH), el cual se adquirió de Sigma-Aldrich (USA), fue evaluada para las harinas de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle. Una alícuota de 0.5 mL de solución de muestra a diferentes concentraciones (0.0-300 mg eq. de trolox/L) fue mezclada con 2.5 mL de DPPH (25  $\mu\text{g/mL}$ ). La mezcla de reacción se incubó durante 60 min en la oscuridad a temperatura ambiente. La absorbancia de la solución resultante se midió a 520 nm con un espectrofotómetro (721, Shangai, China). El blanco se hizo a partir de 3.9 mL de DPPH Y 0.1 mL de etanol y se midió la absorbancia a  $t=0$  La capacidad de eliminación de radicales de las muestras evaluadas se midió como una disminución en la absorbancia del radical DPPH y fue calculado usando la siguiente ecuación: (con algunas modificaciones de Morales y Jiménez, 2001).

$$\text{Inhibición de DPPH (\%)} = [(\text{Abs}_{(t=0)} - \text{Abs}_{(t=30)}) / \text{Abs}_{(t=0)}] * 100$$

Donde:

$\text{Abs}(t=0)$  = absorbancia del radical DPPH + Etanol a  $t=0$  min

$\text{Abs}(t=30)$  = absorbancia del radical DPPH + extractos fenólicos a  $t= 30$  min

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

### **Determinación por Radical ABTS**

La capacidad de atrapamiento del catión estable  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  se determinó de acuerdo al método reportado por (Re, 1999).

El radical  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  se obtuvo tras la reacción ABTS (7mM) con persulfato potásico (2.45 mM concentración final) incubados a temperatura ambiente ( $\pm 25$  °C) y en la oscuridad durante 16 horas. Debido a que el ABTS y el persulfato de potasio reaccionan estequiométricamente en una proporción de 1 : 0.5, esto ocasionaría la oxidación incompleta del ABTS. La oxidación del ABTS comenzó inmediatamente, pero la absorbancia no fue máxima y estable hasta que habían transcurrido más de 6 h. El radical se mantuvo estable en esta forma durante más de dos días almacenado en la oscuridad a temperatura ambiente. Una vez formado el radical  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  se diluyó con etanol hasta obtener un valor de absorbancia comprendido entre 0.7 ( $\pm 0.1$ ) a 754 nm (longitud de onda de máxima de absorción).

Las muestras se diluyeron adecuadamente con etanol hasta que se produjo una inhibición del 20-80% del color inicial de la solución de  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  tras añadir 20  $\mu\text{L}$  de la muestra a 980  $\mu\text{L}$  de dilución del radical  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  y leyendo la absorbancia a 754 nm a 30 °C. La absorbancia se midió de forma continua transcurridos 7 minutos. El antioxidante sintético de referencia, Trolox, se ensayó a una concentración de 0-15 mM (concentración final) en etanol, en las mismas condiciones. Los blancos fueron corridos en cada ensayo. Todas las determinaciones se llevaron a cabo por triplicado en cada ocasión y en cada concentración separada del estándar y muestras. El porcentaje de inhibición de la absorbancia a 754 nm se calculó y se

representó como una función de la concentración de antioxidantes y de Trolox por los datos de referencia estándar. Los resultados se expresan en (actividad antioxidante equivalente a Trolox).

### **Determinación de Ácido ascórbico**

Se utilizó el método colorimétrico descrito por Dürüst (1997), las muestras se diluyeron en ácido oxálico al 0.4%. Para la determinación de la concentración del ácido ascórbico se realizaron las siguientes soluciones: DCPI (2,6 diclorofenolindofenol sal disódica) a 12 mg/L de agua desionizada, ácido oxálico a 0.4% en agua desionizada, amortiguador de acetatos compuesto por 3 g de acetato de sodio, 7 mL de agua desionizada y 10 mL de ácido acético glacial, solución madre de 50 mg/L de ácido ascórbico diluido en ácido oxálico al 0.4%, de esta solución se hicieron diluciones de 40, 30, 20 y 10 mg/L. El procedimiento fue el siguiente, en viales eppendorf se colocaron 100  $\mu$ L de cada una de las muestras diluidas + 100  $\mu$ L de amortiguador de acetatos + 800  $\mu$ L de DCPI. Se leyó a 520 nm utilizando como blanco ácido oxálico al 0.4 %. Se hizo una curva estándar de ácido ascórbico (50, 40, 30, 20, 10 y 0 mg/L). Los resultados se expresan como mg equivalentes de ácido ascórbico.

### **Actividad quelante**

Para la determinación de la actividad quelante se usó el método reportado por Gulcin (2003), el cual se basa en la reacción de la molécula quelante de referencia con el ión ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), posteriormente el ion ferroso que no fue quelado o secuestrado reacciona con la ferrozina generando color, el cual es medido espectrofotométricamente a una longitud de onda 562 nm.

Para la determinación de la actividad quelante se realizaron las siguientes soluciones:

Se colocaron 100  $\mu$ L de muestra en viales, posteriormente se agregaron 50  $\mu$ L de una solución de cloruro férrico II tetrahidratado (2 mM) y 450  $\mu$ L de metanol, se agitó en vórtex dejando en reposo por 5 min a temperatura ambiente. Posteriormente se adicionaron 400  $\mu$ L de ferrozina (5 mM), se agitó en vórtex y se dejó en reposo por 10 min a temperatura ambiente, se realizó la lectura de absorbancias en micro placa a una longitud de onda de 562 nm. Como agente quelante de referencia se utilizó EDTA a 0.1 M y como muestra control se

utilizó agua desionizada, bajo las mismas condiciones. Los resultados se expresan en porcentaje.

### **Determinación de compuestos fenólicos totales**

Se determinó de acuerdo al método reportado por Stintzing (2005), el cual utiliza el reactivo de Folin-Ciocalteu. El reactivo de Folin-Ciocalteu es una mezcla de ácidos fosfotúngstico y fosfomolibdico, la cual es reducida a óxidos azules de tungsteno y molibdeno durante la oxidación fenólica. Esta reducción ocurre bajo condiciones alcalinas mediante la presencia de carbonato de sodio. La coloración azul es monitoreada a una longitud de onda de 765 nm y refleja la cantidad total de polifenoles usualmente expresado como equivalentes de ácido gálico (EAG).

Se colocaron 100  $\mu$ L de muestra diluida en viales eppendorf, se agregaron 500  $\mu$ L de solución de Folin-Ciocalteu (1:10 en agua desionizada) y 400  $\mu$ L de solución de carbonato de sodio (al 7.5%), inmediatamente después las muestras se agitaron en vórtex y se incubaron a temperatura ambiente durante 30 minutos. Al término del tiempo se vertieron 200  $\mu$ L por cada pozo en microplaca, luego se midieron las absorbancias a una longitud de onda de 765 nm. La concentración de compuestos fenólicos totales se obtuvo a partir de una curva estándar de ácido gálico (de 0 a 400 mg/L) y se expresaron como equivalentes de ácido gálico (EAG) mg/L.

#### **5.1.3.4 Densidad Aparente**

La densidad aparente se midió en una proporción masa-volumen a través del método del cilindro graduado. A una probeta graduada se le llenó con suavidad a un volumen de 10 mL con la muestra previamente secada hasta peso constante, después se estuvo golpeando suavemente la bureta contra una superficie plana y ligeramente acolchonada a una altura no mayor de 5 cm hasta que no hubo disminución de nivel de la muestra, y se registró el volumen. Así mismo, el peso del cilindro lleno también fue registrado y la densidad aparente fue calculada como el peso de la muestra por unidad de volumen (kg/L) (Ahmed y col., 2013).

#### **5.1.3.5 Difracción de rayos X**

Se tomaron 20 mg de muestra (base seca) y su contenido de humedad se ajustó al 20% añadiendo agua destilada, luego se dejaron reposar a temperatura ambiente por dos horas, y se aplicó como una película delgada a un recipiente de muestra de aluminio. Posteriormente las muestras fueron analizadas en un difractómetro de polvos equipado con un monocromador de grafito cristalino bajo las siguientes condiciones de operación: Radiación Cu K $\alpha$ , Voltaje 40 kV, velocidad del gráfico 10 mm, velocidad de arrastre, 2 $\theta$ /min. La línea de base del difractograma fue corregida en el intervalo de exploración y el vector fue normalizado usando el software origin versión 7.0 (OriginLab Corporation, USA), siguiendo el método de (Moo y col., 2015).

#### **5.1.3.6 Microscopía electrónica de barrido**

La morfología de los gránulos tanto de harinas como de almidones, fue examinada mediante microscopía electrónica de barrido, para lo cual las muestras se montaron en un porta-muestras de aluminio con cinta adhesiva de doble cara, el cual se cargó en un Emitech K550 mediante recubrimiento por pulverización (Emitech, Asford, UK). Así también la muestra se recubrió con paladio de oro con un espesor de aproximadamente 15 nm (S-2400 Hitachi, Ibaraki, Japan), finalmente las muestras fueron fotografiadas con un acelerador potencial de 15 kV a una profundidad de campo de 10  $\mu$ m para ser capturadas y registradas (Ahmed y col., 2013).

#### **5.1.3.7 Distribución de tamaño de partícula**

Para evaluar distribución de tamaño de partícula de las harinas y los almidones se midió usando difracción de luz láser con agua como medio dispersante para todas las muestras a temperatura ambiente a través de una analizador de tamaño de partícula (Sympatec GmbH, Germany) y controlado por el programa HELOS (particle size Windows 5). Utilizando el software del equipo se obtuvieron los parámetros de distribución de tamaño de partícula ( $\mu$ m) en percentiles así como el volúmen medio ponderado al que nos referiremos como tamaño de partícula y expresado como 10, 50 y 90% del tamaño basado en el volúmen ( $D_{v10}$ ,  $D_{v50}$ ,

$D_{v90}$ ) donde  $D_x$  significa que x% del volúmen de las partículas tiene un diámetro inferior a  $D_x$  (Abebe y Col., 2015).

#### **5.1.4 Propiedades Funcionales**

##### **5.1.4.1 Capacidad de retención de agua e índice de solubilidad**

La capacidad de retención de agua (C.R.A.) tanto para harinas como para almidones se realizó por triplicado. Se pesaron 0.4 g de muestra y se añadieron 40 mL de agua destilada en tubos de centrífuga previamente pesados y se mezclaron en vórtex por 30 segundos. Las suspensiones fueron calentadas a 50, 60, 70, 80 y 90 °C respectivamente en un baño de agua durante 30 minutos con agitación constante. Posteriormente se centrifugaron a 4,500 rpm durante 15 minutos. El sedimento y sobrenadante fueron separados, el peso del sedimento se registró y se consideró como la capacidad de retención de agua de acuerdo Ozturk y col., (2009); el sobrenadante fue decantado en una charola de aluminio previamente pesada y secado en una estufa durante 24 horas a 105 °C temperatura constante, el peso se registró y a esto se le denominó el índice de solubilidad según Guízar y col., (2008). Los cálculos fueron realizados empleando las siguientes ecuaciones y expresados como gramos de agua retenidos por gramos de muestra para la capacidad de retención de agua, y en porcentaje para el índice de solubilidad (%).

$$\text{C.R.A.} = \frac{\text{Peso del gel (g)} - \text{Peso de la muestra (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{\text{Peso sólidos solubles (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

##### **5.1.4.2 Capacidad de retención de aceite**

La capacidad de retención aceite (C.R.A.) tanto para harinas como para almidones se realizó por triplicado. Se pesaron 0.4 g de muestra y se añadieron 40 mL de aceite de olivo en tubos de centrífuga previamente pesados y se mezclaron en vórtex por 30 segundos. Las



suspensiones fueron calentadas a 50, 60, 70, 80 y 90 °C respectivamente en un baño de agua durante 30 minutos con agitación constante. Posteriormente se centrifugaron a 4,500 rpm durante 15 minutos. El sedimento y sobrenadante fueron separados, el peso del sedimento se registró y se consideró como la capacidad de retención de aceite Ozturk y col., (2009). Los cálculos fueron realizados empleando la siguiente ecuación y expresados como gramos de aceite retenidos por gramos de muestra.

Para realizar los cálculos se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{C.R.A.} = \frac{\text{Peso del gel (g)} - \text{Peso de la muestra (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

#### **5.1.4.3 Propiedades térmicas**

El proceso de gelatinización de harinas y almidones nativos fue evaluado para determinar las propiedades térmicas utilizando un equipo de calorimetría de barrido diferencial (DSC 2000 TA series 900796.901), en el que una vez calibrado el equipo con Indio y una charola de aluminio vacía como referencia; se colocaron 2 mg de muestra y se le agregaron 7 µL de agua destilada para luego sellarla herméticamente y dejar reposar durante 15 minutos a temperatura ambiente. Por último cada muestra fue sometida a una rampa de calentamiento de 0-120 °C con una velocidad de calentamiento de 10 °C por minuto, con lo cual se obtuvieron los parámetros de Temperatura Máxima (°C) así como la Entalpía de gelatinización (J/g). Cada muestra fue realizada por triplicado (Chen y col., 2015).

#### **5.1.4.4 Fibra dietética total**

Se determinó fibra dietética total usando un kit de Sigma-Aldrich, Inc. TDF-100A Kit y TDF-C10 Kit (Saint Louis, Missouri 63103 USA), basado en Official Methods of Analysis of AOAC International, 16<sup>th</sup> Edition, Volume 1, Section 12.1.07, Method 960.52 (1997) y Method 985.29 (1997).

Este ensayo determina el contenido de fibra dietética total usando una combinación de métodos enzimáticos y gravimétricos. Antes de comenzar el ensayo se lavaron los crisoles profundamente y se sometieron a 525 °C para eliminar cualquier posible residuo orgánico, luego se remojaron y enjuagaron para después secarse con aire. Se adicionó a cada crisol 0.5 gramos de celita y se secaron a 130 °C hasta obtener peso constante (una hora aproximadamente), una vez hecho esto se enfriaron en un desecador y se pesaron con exactitud, registrándose este peso como “Celita + Crisol” o  $W_1$ .

Las muestras fueron secadas con un contenido de humedad < al 10%; y después se incubaron con una enzima  $\alpha$ -amilasa y temperatura estable 95 °C durante 15 minutos con un pH de 6.0, después se realizó una segunda incubación con una proteasa a temperatura estable de 60 °C durante 30 minutos a pH de 7.5 para posteriormente hacer una tercera incubación usando una amiloglucosidasa a temperatura estable de 60 °C durante 30 minutos a pH de 4.5 con el objeto de eliminar la proteína y el almidón presente en la muestra.

Una vez lo anterior se agregaron 4 volúmenes de etanol al 95 ° para precipitar la fibra dietética soluble, luego el residuo fue filtrado y lavado con etanol al 78% usando los crisoles preparados como se describe anteriormente. Posteriormente los residuos se secaron y pesaron, los cuales se registraron como “Residuo + Celita + Crisol” o  $W_2$ .

El ensayo continuó tomando la mitad de las muestras para determinarles proteína (método kjeldahl,  $N \times 6.25$ ) y la otra mitad para cenizas (5 horas 525 °C), el residuo de cenizas en los crisoles se registró como “Cenizas + Celita + Crisol” o  $W_3$ .

Finalmente se realizaron los cálculos de la Fibra Dietética Total de acuerdo a lo siguiente:

Peso de los residuos:  $W_2 - W_1$

Peso de las cenizas:  $W_3 - W_1$

$B = R_{\text{blanco}} - P_{\text{blanco}} - A_{\text{blanco}}$

$\% \text{TDF} = [(R_{\text{muestra}} - P_{\text{muestra}} - A_{\text{muestra}} - B) / \text{SW}] \times 100$

Donde: TDF = Fibra Dietética Total

R= Peso promedio del residuo (mg)

P= Peso promedio de la proteína (mg)

A= Peso promedio de las cenizas (mg)

SW= Peso promedio de las muestras (mg)

#### **5.1.4.5 Almidón resistente**

Para la determinación de Almidón resistente se utilizó un kit de Megazyme International Ireland 2011, Co. K-RSTAR 08/11, que a su vez está basado en los métodos estándar de la AOAC 2002.0.2 y AACC 32-40.

Se realizó la hidrólisis y solubilización del almidón no resistente de las muestras a través de una mezcla de  $\alpha$ -amilasa pancreática y amiloglucosidasa de 3 U/mL incubándolas 16 horas a 36 °C por medio de un baño de agitación horizontal (200 choques/min), después se hicieron lavados con etanol al 95% y 50%.

A continuación se combinaron los sobrenadantes anteriores y se aforaron a 100 mL con búfer acetato de sodio 100 mM a pH de 4.5. Después se incubó una alícuota durante 20 minutos a 50 °C con 10  $\mu$ L de amiloglucosidasa de 300 U/mL. Finalmente se agregaron 3 mL de reactivo de GOPOD y se incubó nuevamente a 50 °C durante 20 minutos. Se midió la absorbancia a 510 nm contra el blanco.

Una vez combinados los sobrenadantes se agregó KOH 2 M, búfer de acetato de sodio 1.2 M a pH de 3.8 y amiloglucosidasa de 3300 U/mL con agitación continua en un baño de agua a 50 °C durante 30 minutos. Posteriormente se transfirió cuantitativamente el contenido a matraces volumétricos de 100 mL donde se aforó con agua destilada para finalmente centrifugar una alícuota; de la cual se tomaron 100 µL y se le adicionaron 3 mL de reactivo GOPOD para incubarse 20 minutos a 50 °C. Finalmente se midió la absorbancia a 510 nm contra el blanco.

Finalmente se realizaron los cálculos para determinar almidón resistente

Almidón Resistente (g/100 g de muestra) (muestras con contenido de >10% RS):

$$= \Delta E \times F \times 100/0.1 \times 1/1000 \times 100/W \times 162/180$$

$$= \Delta E \times F/W \times 90$$

Donde:

$\Delta E$ = absorbancia (reacción) lectura contra el reactivo en blanco.

F= Conversión de absorbancia a microgramos (la observancia obtenida por 100 µg de D-glucosa en la reacción GOPOD es determinada, y F = 100 (µg de D-glucosa) dividida por la absorbancia GOPOD para estos 100 µg de glucosa.

100/0.1 = volumen de corrección (0.1 mL tomados de los 100 mL)

1/1000 = conversión de microgramos a miligramos

W = peso seco de la muestra analizada; como si el peso x [(100-contenido de humedad)/100]

100/W = factor para presentar AR como un porcentaje del peso de la muestra.

162/180 = factor para convertir glucosa libre, tal como se determina, a anhidro D-glucosa como ocurre en el almidón.

### **5.1.5 *Análisis Estadístico***

Los resultados obtenidos para cada evaluación se sometieron a un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA, ONE-WAY), con un 95% de nivel de confianza, la significancia de las diferencias entre las medias fue estimada con un test *post hoc* Tukey a  $p \leq 0.05$ , para ello se utilizó el software IBM SPSS Statics versión 20. Los resultados donde se expresen como  $\pm$  significan desviación estándar. Los gráficos se realizaron mediante el uso de Microsoft Excel Windows 8 (Microsoft Corporation, USA), y Sigma Plot Systat Software Inc, versión 12.5.

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1 Propiedades Físicoquímicas

#### 6.1.1 Análisis químico proximal

Tabla 1. Parámetros proximales de harinas de Papa Blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

	Harinas		
	Papa blanca	<i>Oxalis tuberosa</i>	Chayotextle
<b>Humedad %</b>	11.9 ± 0.2 <sup>b</sup>	18.6 ± 0.2 <sup>c</sup>	10.1 ± 0.2 <sup>a</sup>
<b>Cenizas %</b>	5.4 ± 0.2 <sup>b</sup>	5.5 ± 0.2 <sup>b</sup>	4.7 ± 0.2 <sup>a</sup>
<b>Grasa %</b>	0.2 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.7 ± 0.0 <sup>b</sup>	0.4 ± 0.1 <sup>c</sup>
<b>Proteína %</b>	6.5 ± 0.4 <sup>b</sup>	1.7 ± 0.3 <sup>a</sup>	7.4 ± 0.1 <sup>c</sup>
<b>Fibra Cruda %</b>	2.3 ± 0.2 <sup>a</sup>	1.7 ± 0.4 <sup>a</sup>	3.3 ± 0.2 <sup>b</sup>
<i>Fibra Dietética %</i>	7.5 ± 1.2 <sup>c</sup>	6.8 ± 0.7 <sup>b</sup>	3.5 ± 0.7 <sup>a</sup>
<b>Almidón %</b>	73.7 ± 0.4 <sup>b</sup>	71.8 ± 0.5 <sup>a</sup>	74.1 ± 0.7 <sup>c</sup>
<b>Almidón Resistente %</b>	31.4 ± 0.5 <sup>b</sup>	14.1 ± 0.4 <sup>a</sup>	47.9 ± 0.9 <sup>c</sup>

Los sobreíndices <sup>a,b,c</sup> en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras, ± Indica la desviación estándar entre las muestras.

Tabla 2. Parámetros proximales de almidones de Papa Blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

	Almidones		
	Papa blanca	<i>Oxalis tuberosa</i>	Chayotextle
<b>Humedad %</b>	9.1 ± 0.1 <sup>a</sup>	10.3 ± 0.0 <sup>b</sup>	17.4 ± 0.2 <sup>c</sup>
<b>Cenizas %</b>	0.45 ± 0.0 <sup>b</sup>	0.22 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.0 <sup>c</sup>
<b>Grasa %</b>	0.3 ± 0.1 <sup>b</sup>	0.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.1 ± 0.1 <sup>a</sup>
<b>Proteína %</b>	0.15 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.0 <sup>a</sup>
<b>Almidón Resistente %</b>	74.5 ± 1.4 <sup>c</sup>	35.6 ± 1.4 <sup>a</sup>	54.6 ± 0.15 <sup>b</sup>

Los sobreíndices <sup>a,b,c</sup> en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras, ± Indica la desviación estándar entre las muestras.

En las Tablas 1 y 2 se muestran los resultados del análisis químico proximal de las harinas y almidones de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle.

Con respecto al contenido de humedad, se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) tanto en harinas (10.1-18.6%), como en almidones (9.1-17.4%). Como se observa, el valor más alto de humedad en las harinas los mostró *Oxalis tuberosa* (18.6%) mientras que de los almidones fue chayotextle (17.4%).

Peng y col., (2013) determinaron el contenido de humedad de harinas de camote dulce de diferentes variedades reportando valores que oscilaron entre 7.13 y 8.68%. Por otro lado Guízar y col., 2008 evaluaron el contenido de humedad en almidones de tres variedades de camote de cerro (*Dioscorea* spp) y papa, donde reportan valores que oscilaron entre 6.29 y 8.52%.

En cuanto al contenido de cenizas, no se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p \geq 0.05$ ) para la harina de papa (5.4%) y *Oxalis tuberosa* (5.5%), mientras que para los almidones si se presentaron diferencias estadísticas significativas para las tres muestras evaluadas.

Ahmed y col., (2010) evaluaron el contenido de cenizas de harinas de doce variedades de camote dulce, ellos reportan un contenido de 3.41 a 3.91%, valores que se encuentran ligeramente por debajo de los reportados para las harinas de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle. Por otro lado Cáceres y col., (2012) determinaron el contenido de cenizas de almidones de diferentes papas y reportan valores (0.17-0.66%) similares a los almidones aislados de los tubérculos analizados en este trabajo. Según Tester y col., (2004) el bajo contenido de cenizas en el los almidones se considera un indicativo de la pureza del almidón.

Por lo que respecta al contenido de grasa, los valores reportados, tanto para las harinas como para los almidones, fueron muy pequeños (0 – 0.7%). Estos datos coinciden con los reportados por Yaday y col. (2014) en mezclas de harinas de camote dulce, donde reportan valores de 0.88 - 1.91%, así como también, los reportados por Guízar y col., (2008) quienes

reportan valores entre 0.18 y 1.2% para almidones de tres variedades de camote de cerro (*Dioscorea ssp*). Se ha reportado que la presencia de lípidos puede afectar las propiedades funcionales del almidón, como por ejemplo; la capacidad de absorción de agua y solubilidad al evitar la unión con las moléculas de agua y causar rancidez durante el almacenamiento (Beynum y Roels, 1985; Wolfgang y col., 1999), sin embargo, se considera que los bajos contenidos de lípidos en las muestras analizadas no representan un problema al momento de evaluar dichas propiedades.

Respecto al contenido de proteína en las harinas; se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ), ya que la harina de chayotextle fue la que presentó el contenido más alto (7.4%), mientras que papa presentó un contenido (6.5%) intermedio y la harina de *Oxalis tuberosa* presentó el contenido de proteína más bajo (1.7%), sin embargo, para el caso de los almidones no hubo diferencias estadísticas significativas ( $p \geq 0.05$ ) con valores que oscilaron entre 0.15 y 0.18%.

Yadav y col. (2014), evaluaron el contenido proteico de mezclas de harinas de camote dulce y reportan valores (6.57 - 12.11%), similares a los datos de las harinas reportados en el presente trabajo. Por su parte, Sanjeeva y col. (2010), caracterizaron harinas de garbanzo de diferentes variedades y ellos reportan contenidos de proteína de 21.8 a 24.9%, mientras que Cáceres y col. (2012), reportaron contenidos de proteína en almidones de papa entre 0.03-0.1%.

Collins y Pangloli (1997) mencionan que de manera general, las harinas de tubérculos en comparación con la de algunos granos como el trigo contienen menor cantidad de proteína debido a que carecen de gluten. Además Van Hal (2000) reporta que las harinas de camote dulce generalmente van a contener bajos niveles de proteínas (1.0-8.5%). Por otro lado Tester y col., (2004) reportan que un indicativo de que los almidones fueron aislados adecuadamente es que deben contener menos del 0.6% de proteína.

Con respecto al contenido de fibra cruda se puede observar que las harinas de papa (2.3%) y *Oxalis tuberosa* (1.7%) presentaron los contenidos más bajos, los cuales no presentaron



diferencias estadísticas significativas ( $p \geq 0.05$ ), mientras que la harina de chayotextle tuvo el mayor contenido de fibra cruda (3.3%).

Wani y col. (2013) determinaron el contenido de fibra cruda de harinas de frijoles de la India donde reportan valores que oscilaron entre 1.4 - 2.1% cuyos resultados son similares a los reportados en el presente estudio. Así también Ma y col. (2011) reportan valores (3.0, 7.9 y 2.0%) similares de contenido de fibra para harinas de lenteja, chícharo y garbanzo respectivamente.

Los resultados mostrados referentes a fibra dietética indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras, pudiendo observar así que el mayor contenido lo presentó la papa ( $7.5 \pm 1.2\%$ ), posteriormente con un valor intermedio *Oxalis tuberosa* ( $6.8 \pm 0.7\%$ ), y finalmente la muestra que exhibió el contenido más pobre de fibra dietética fue chayotextle ( $3.5 \pm 0.7\%$ ).

Niba y col., (2000) evaluaron el contenido de fibra dietética en harinas de mandioca de once variedades, donde encontraron una variación que osciló entre 3.99 - 6.66%, estos contenidos de fibra dietética son similares a los reportados.

Debido a sus determinadas propiedades fisicoquímicas (tales como viscosidad, capacidad de retención de agua, solubilidad y formación de gel), la fibra dietética también puede mejorar las propiedades de textura y reológicas de los productos alimenticios. Además debido a que una parte de la fibra dietética no es digerible sea utilizado para reemplazar parcialmente grasas en varios productos alimenticios. Así mismo se ha reportado que los tubérculos son una fuente importante de fibra dietética, la cual en años recientes es incorporada en alimentos sin alterar el sabor ni el olor de los mismos (Mudgil y Barak, 2013).

Finalmente se presentan los resultados con respecto al contenido de almidón resistente, en los cuales se puede observar que las harinas fueron diferentes significativamente ( $p \leq 0.05$ ), donde la muestra de chayotextle presentó el contenido más alto (47.9%) seguido por papa (31.4%) y por último *Oxalis tuberosa* con el contenido más pobre (14.1%). Así mismo se

puede apreciar que los almidones igualmente presentaron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) con contenidos de almidón resistente de 74.5, 35.6 y 54.6% para papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle respectivamente.

Piecyk y col., (2012) determinaron el contenido de almidón resistente en harinas de semillas de leguminosas y reportan una variación de 10.7% a 20.3%, resultados que se encuentran por debajo de los reportados. Por otro lado, Miao y col., 2012 evaluaron el contenido de almidón resistente en almidones de raíz tuberizada de *Cynanchum auriculatum* y papa comercial, donde reportan porcentajes de 74.8% y 76.7% respectivamente.

En los productos alimenticios no procesados o mínimamente procesados, las proteínas causan la formación de una envoltura compacta alrededor de los gránulos de almidón, lo que resulta en un mayor contenido de almidón resistente, provocando una disminución en la digestibilidad del almidón. El almidón resistente ha sido reconocido como un contribuyente significativo para la salud gastrointestinal. El almidón no digerible es fermentado por microorganismos (lactobacilos y bifidobacterias) en el intestino delgado que producen ácidos grasos de cadena corta incluyendo el acetato, propionato y butirato, mismos que tienen efectos positivos en la salud digestiva. También se ha demostrado que el almidón resistente tiene un efecto laxante, aumenta la producción de heces al día por encima del nivel normal, con un mínimo de molestias gastrointestinales. (Bird y col., 2000; Maki y col., 2009; Piecyk y col., 2012).

### 6.1.2 Determinación de Color

Tabla 3. Parámetros de las coordenadas L, a y b en Harinas y Almidones de Papa Blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

	Fuente	L	a	b
<b>Harinas</b>	Papa Blanca	78.03 ± 0.96 <sup>b</sup>	1.49 ± 0.04 <sup>b</sup>	10.81 ± 0.13 <sup>b</sup>
	<i>Oxalis tuberosa</i>	54.21 ± 0.99 <sup>a</sup>	7.09 ± 0.08 <sup>c</sup>	4.37 ± 0.23 <sup>a</sup>
	Chayotextle	84.43 ± 0.56 <sup>c</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>a</sup>	11.72 ± 0.08 <sup>c</sup>
<b>Almidones</b>	Papa Blanca	92.88 ± 0.38 <sup>a</sup>	-0.62 ± 0.02 <sup>a</sup>	3.97 ± 0.05 <sup>c</sup>
	<i>Oxalis tuberosa</i>	92.87 ± 0.77 <sup>a</sup>	0.19 ± 0.03 <sup>c</sup>	2.56 ± 0.07 <sup>b</sup>
	Chayotextle	96.65 ± 0.11 <sup>b</sup>	-0.21 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.51 ± 0.05 <sup>a</sup>

Los sobreíndices <sup>a,b,c</sup> en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras,  $\pm$  Indica la desviación estándar entre las muestras.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de color de harinas y almidones de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle.

Como se puede observar en cuanto al parámetro “L” de luminosidad, se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las tres harinas, como era de esperarse, la muestra de *Oxalis tuberosa* presentó el valor más bajo (54.21), posteriormente papa (78.03), y por último la harina de chayotextle (84.4). En cuanto a los almidones, se observa que no hubo diferencias estadísticas significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre papa y *Oxalis tuberosa* con un valor de 92.8 para ambos almidones, mientras que el almidón de chayotextle presentó el valor más alto (96.6).

En cuanto al parámetro “a” (coordenadas verde - rojo), en las harinas se pueden observar diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), ya que *Oxalis tuberosa* presentó el valor más alto (7.09) mientras que chayotextle el más bajo (0.16). Para el caso de los almidones los resultados igualmente variaron (-0.62-0.19) mostrando diferencias estadísticas entre ellos ( $p \leq 0.05$ ).

Por último, los resultados del parámetro “b” (coordenadas amarillo – azul) también mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras, las harinas de papa y chayotextle presentaron valores de 10.81 y 11.72, respectivamente, mientras que la harina de

Oxalis tuberosa presento un valor de 4.37, En cuanto a los almidones los valores encontrados fueron de 3.97, 2.56 y 1.51 para papa, Oxalis tuberosa y chayotextle respectivamente.

Chancelle y col. (2014) determinaron el color de harinas de camote dulce (*Ipomea batatas*), donde reportan para el parámetro L, valores comprendidos entre 81.5 y 84.5 mientras que para los parámetros a y b encontraron valores que oscilaron de 1.2-2.3 y 12.2-15.2 respectivamente, Así mismo en trabajos previos de Jangchud y col. (2003) quienes analizaron el color de harinas y almidones de camote dulce, se reportan para el caso de las harinas valores de L entre 60.7 – 87.7, y para el parámetro a reportan cifras que oscilaron entre 3.3 – 9.0; y por último para el parámetro b los resultados oscilaron entre 7.7 - 30.0 Para el caso de los almidones dichos autores reportan valores de L entre 91.8 - 93.4, para el parámetro a los resultados variaron entre 0.7 – 0.9 y finalmente para el parámetro b los resultados oscilaron entre 2.4 - 5.

En base a los resultados obtenidos (Tabla 3) podemos afirmar que la harina de Oxalis tuberosa fue una harina opaca y con tendencia a los tonos rojizos como era de esperarse, debido al contenido de pigmentos de color rojo que contiene el mismo tubérculo, mientras que la harina de papa y chayotextle presentaron tonalidades amarillentas, debido también a los pigmentos presentes en cada uno de los tubérculos. En lo concerniente a los almidones su tendencia fue hacia el color blanco, lo que puede ser un indicativo favorable para corroborar que fueron aislados correctamente y no hay presencia de pigmentos (Figura 4).

Ma y col., (2011) reportan que algunos colores como los marrones y dorados de ciertas harinas de tubérculos, pueden ser ventajosos en términos de su incorporación en determinados alimentos como galletas, aperitivos y extrudidos en los que estos colores sean deseables.

## HARINAS



## ALMIDONES



Papa Blanca

*Oxalis tuberosa*

Chayotextle

Figura 4. Fotografías de harinas y almidones de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle.

### 6.1.3 Densidad aparente

Tabla 4. Valores de densidad aparente en Harinas y Almidones de Papa Blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

	Fuente	Densidad Aparente (kg/L)
Harinas	Papa Blanca	$0.6 \pm 0.0^b$
	<i>Oxalis tuberosa</i>	$0.5 \pm 0.0^a$
	Chayotextle	$0.6 \pm 0.0^b$
Almidones	Papa Blanca	$0.6 \pm 0.0^b$
	<i>Oxalis tuberosa</i>	$0.6 \pm 0.0^b$
	Chayotextle	$0.5 \pm 0.0^a$

Los sobreíndices <sup>a,b,c</sup> en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras,  $\pm$  Indica la desviación estándar entre las muestras.

En la Tabla 4 se muestran los resultados con respecto a densidad aparente, donde se observa que los valores (0.6 Kg/L) para las harinas de papa y chayotextle no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p \geq 0.05$ ), no obstante, resultaron diferentes estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ) con la harina de *Oxalis tuberosa* cuyo valor fue de 0.5 kg/L. Así también, en cuanto a los valores (0.6 kg/L) de los almidones de papa y *Oxalis tuberosa* no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí ( $p \geq 0.05$ ), sin embargo, si las hubo con respecto al almidón de chayotextle ( $p \leq 0.05$ ) que presentó un valor de 0.5 kg/L.

Wani y col., 2013 evaluaron la densidad aparente de harinas de frijol de la India de diferentes variedades y reportaron valores entre 0.84-0.94 kg/L cuyos datos son superiores a los que se reportan en el presente trabajo. Así mismo Ghavidel y Prakash, 2006 analizaron la densidad aparente de harina de lenteja en los que reportan valores de 0.86 kg/L, valores que de igual manera se encuentran ligeramente por encima de los reportamos (0.5 – 0.6 kg/L) en el presente estudio.

Trabajos previos de algunos autores indican que la densidad aparente es un parámetro utilizado para predecir la eficiencia en el empaque y embalaje, sin embargo, este parámetro

es afectado por factores como el tamaño y uniformidad de partícula, así como, el proceso de tamizado durante la molienda Akubor, 2007. Por otro lado, la densidad aparente puede verse incrementada por una presencia importante de lípidos, ya que las partículas se pueden compactar más y los triglicéridos pueden actuar como adhesivos, aglomerando carbohidratos y proteínas, también se ha demostrado que a mayor humedad mayor densidad aparente (Akubor, 2007; Wani y col., 2013; Abebe y col., 2015).

Finalmente en base a nuestros resultados obtenidos observamos que las diferencias son mínimas y que la fibra, no fue un factor que afectara los resultados entre harinas y almidones.

## 6.1.4 Microscopía Electrónica de Barrido

### 6.1.4.1 Harinas de Papa Blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

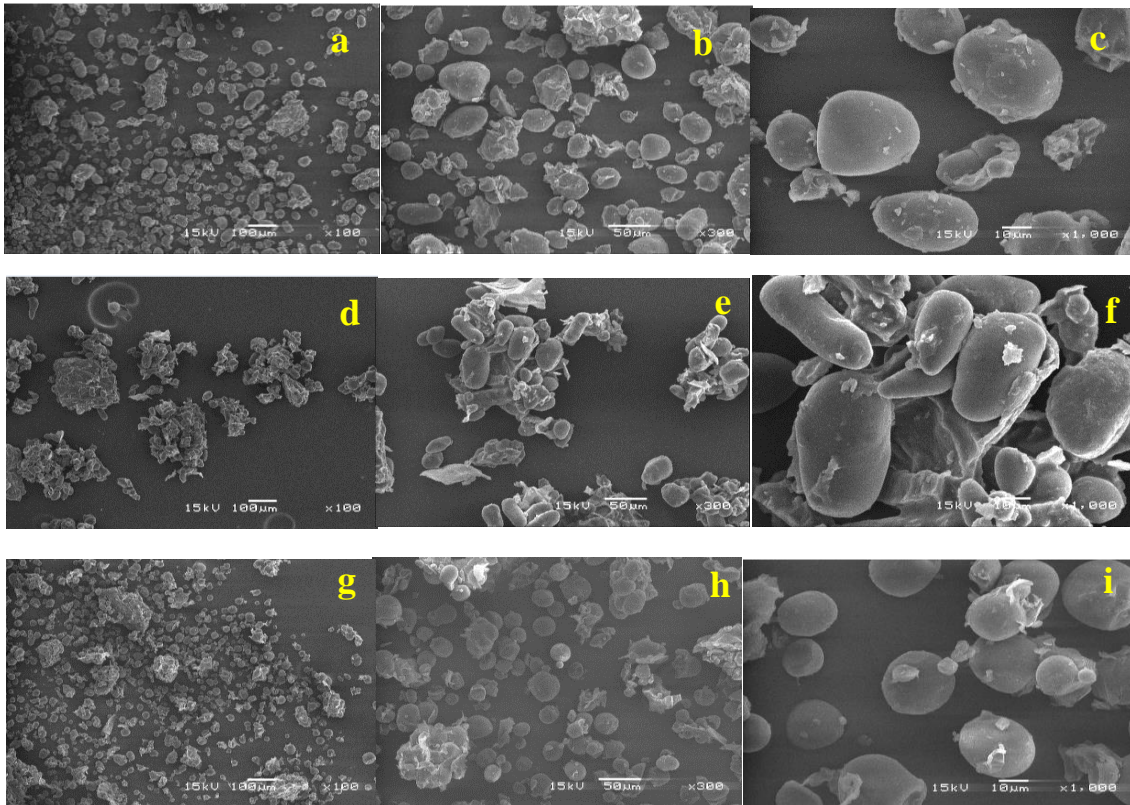


Figura 5. Micrografías de Harinas de Papa Blanca (a, b, c), *Oxalis tuberosa* (d, e, f) y Chayotextle (g, h, i). (a, d, g = 100x; b, e, h = 300x; c, f, i = 1000x).

En la Figura 5 se muestran las características morfológicas de las harinas de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle, en donde se observa que las partículas tienen formas semiesféricas e irregulares principalmente, así como diversos tamaños por lo que todas las muestras de harina consistieron en poblaciones mixtas de partículas grandes, medianas y pequeñas. Como se aprecia en las micrografías de las harinas, las partículas más grandes son las que presentan las formas más definidas, y así mismo en estas; se observan superficies ásperas con rugosidad superficial.



Con lo que respecta a la harina de papa (Figura 6 a,b,c) se observa que la muestra presentó una mezcla de gránulos alargados, esféricos y poligonales con muy poca presencia de aglomerados, y con la mayor población de partículas individuales, de igual manera en cuanto a la harina chayotextle (Figura 6 g,h,i) se observa una mayor población de partículas aglomeradas con respecto a la muestra de papa y el resto se puede observar son partículas individuales en su mayoría, se observa que esta muestra tuvo gránulos predominantemente esféricos. Finalmente en cuanto a la muestra de *Oxalis tuberosa* (Figura 6 d,e,f) se puede apreciar que esta harina tuvo gránulos en su mayoría alargados y que tienden a formar aglomerados. Aguilera y col., 1999 han reportado que dichos aglomerados pueden ser restos de fibra, cuerpos de proteínas o fragmentos de proteína interrumpidos que se obtienen durante la molienda. Por otra parte Challenge y col., 2014 evaluaron harinas de camote dulce (*Ipomea batatas*), en donde también reportan aglomerados compuestos de gránulos lisos, redondos y esféricos.

Por su parte Waramboi y col., 2011, evaluaron harinas de camote dulce de diferentes variedades de Nueva Guinea y Australia, en donde observaron que los gránulos de almidón presentaron formas ovaladas, redondas, angulares y poligonales, además de gránulos dañados, posiblemente por el proceso de molienda y el troceado durante la preparación de las muestras; aunque la mayoría de los gránulos estuvieron intactos sin poros profundos en su superficies, mientras que otras variedades presentaron superficies lisas y algunas otras mostraron superficies abolladas y ásperas. Las formas obtenidas para las muestras de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle concuerdan con los resultados obtenidos por dichos autores.

#### 6.1.4.2 Almidones de Papa Blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

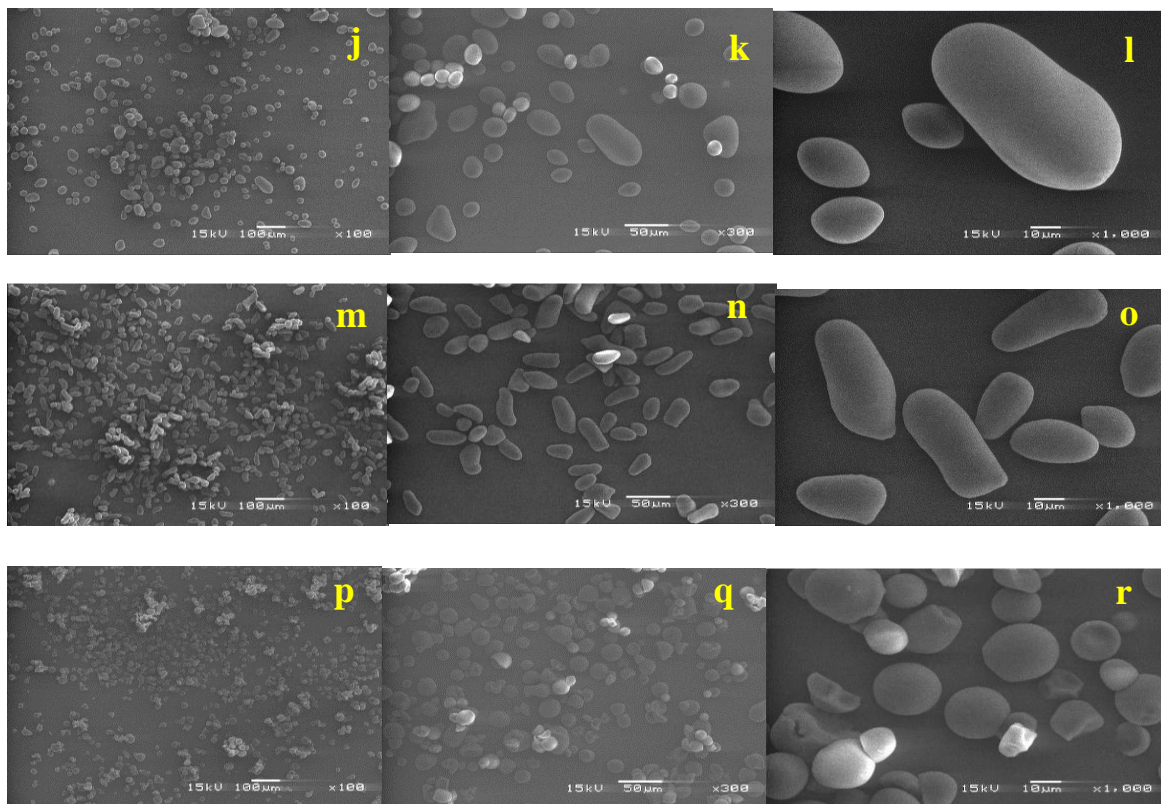


Figura 6. Micrografías de Almidones de Papa Blanca (j, k, l), *Oxalis tuberosa* (m, n, o) y Chayotextle (p, q, r). (j, m, p = 100x; k, n, q = 300x; l, o, r = 1000x).

En la Figura 6 se observan las propiedades morfológicas de los gránulos de los almidones de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle. Por lo que se puede apreciar, las características granulares de los almidones evaluados variaron en cuanto a forma y tamaño, presentando formas alargadas, poligonales y esféricas de tamaños diferentes que dependieron de la fuente botánica de obtención.

El almidón de papa (Figura 7 j,k,l) presentó gránulos con superficies limpias, es decir; que no se observan ni en la superficie ni entre ellos restos de fibra, proteínas, u otras partículas, sin fisuras, sin poros y con mezcla de formas alargadas, poligonales, y esféricas, aparentemente sin gránulos fracturados. En cuanto a *Oxalis tuberosa* (Figura 7 m,n,o) se observan gránulos completos, de forma predominantemente alargada, con superficies

limpias, sin poros y sin fisuras. Finalmente el almidón de chayotextle (Figura 7 p,q,r) mostró gránulos predominantemente esféricos, y aunque la mayoría están completos; se puede observar en las micrografías algunos gránulos incompletos y fracturados, lo que hace suponer que este almidón puede ser más susceptible al método de aislamiento (por ejemplo a la molienda); ya que las tres fuentes fueron tratadas de la misma manera y las dos primeras no se observaron gránulos fracturados.

(Kaur y col., 2011) estudiaron almidones de papa de diferentes variedades, en donde reportan que los gránulos de almidón presentaron superficies lisas, los gránulos pequeños fueron principalmente de forma esférica y ovalada, mientras que los gránulos largos y medios mostraron formas elipsoidales a cuboides o de forma irregular. Además de que algunas variedades tuvieron un alto porcentaje de gránulos grandes, irregulares y elipsoidales, mientras que otras presentaron proporciones relativamente más altas de gránulos pequeños y esféricos; y finalmente algunas variedades mostraron gránulos más grandes.

La variación en las estructuras de amilosa y amilopectina así como las cantidades relativas de polímeros de glucosa de los cuales se compone el gránulo, desempeñan un papel importante en el tamaño y la forma. Además de que las variaciones en la actividad de enzimas como la sintasa que va unida al gránulo de almidón durante el desarrollo, también se ha reportado que afecta la morfología en los gránulos de almidón de los tubérculos (Blennow y col., 2002; Fulton y col., 2002). Por otra parte una de las características de los tamaños de gránulos más pequeños es que pueden mejorar la digestibilidad, ya que se tiene una mayor área de superficie; y por lo tanto se digieren más rápido por enzimas (Cone y Wolters, 1990; Franco y col., 1992; Riley, 2004).

En el presente estudio se observaron diferencias claras entre las formas granulares de los almidones ya que como se ha señalado en estudios previos, en la morfología de los gránulos influyen varios aspectos como la variedad, el origen botánico y los factores ambientales.

## 6.1.5 Distribución de Tamaño de Partícula

### 6.1.5.1 Harinas de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle

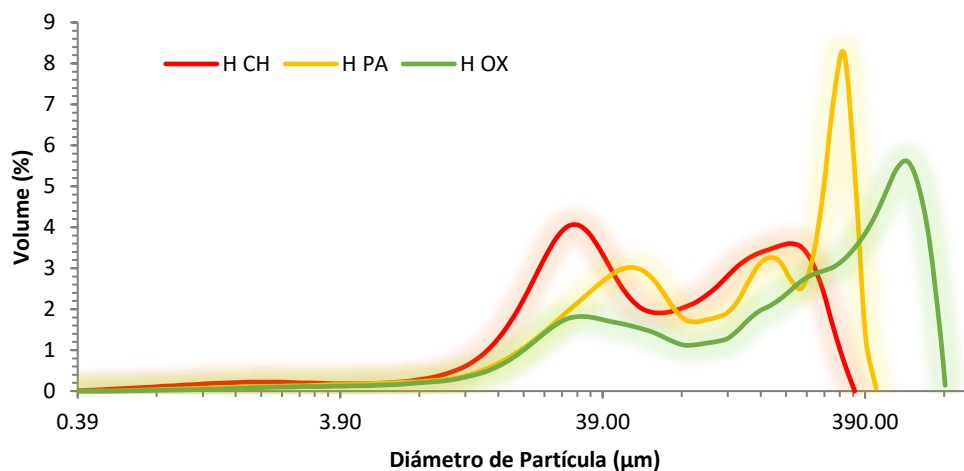


Figura 7. Distribución de tamaño de partícula de Harinas de Papa blanca (H PA), *Oxalis tuberosa* (H OX) y Chayotextle (H CH).

En la Figura 7 se muestra la distribución de tamaño de partícula de las harinas de papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle, donde se observa que la harina de chayotextle mostró una distribución bimodal, un comportamiento similar se observa en la harina de *Oxalis tuberosa* solo que en ésta se presenta una mayor amplitud en uno de los dos picos bimodales, mientras que la harina de papa blanca presentó una distribución trimodal bien definida. En lo que se refiere al tamaño de partícula, la harina de *Oxalis tuberosa* mostró el volumen más grande con tamaños superiores a los 390  $\mu\text{m}$  y con un diámetro medio de 274.3  $\mu\text{m}$ , este comportamiento pudiera deberse a que ésta harina tiende a formar “aglomerados” como se observa en microscopía electrónica de barrido (Figura 6f), así mismo se observa también un pico poblacional alrededor de los 39  $\mu\text{m}$ . En general ésta harina resultó con tamaños de gránulos entre los 24.69 - 599  $\mu\text{m}$ . En cuanto a la harina de chayotextle, ésta presentó el tamaño de partícula más pequeño con un diámetro medio de 92.59  $\mu\text{m}$ , sin embargo, en tamaño de partículas estuvo en un intervalo de 15.88 – 380  $\mu\text{m}$ . Al igual que la harina de *Oxalis tuberosa*, la harina de chayotextle presenta un pico poblacional alrededor de los 39

$\mu\text{m}$ , aunque en mayor proporción. Finalmente de las tres fuentes de harinas; la de papa blanca presentó un tamaño de partícula entre *Oxalis tuberosa* y chayotextle con tamaños de partícula entre 22.55 y 328.2  $\mu\text{m}$  y un diámetro medio de 151.3  $\mu\text{m}$ .

Estudios previos realizados por Waramboi y col., (2011), en harinas de camote dulce de diferentes cultivares, se reportan valores de tamaño medio de partícula de 300  $\mu\text{m}$ , por lo que en el presente trabajo de investigación las harinas evaluadas estuvieron por debajo de este valor con 151.3, 274.3 y 92.59  $\mu\text{m}$  para papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle respectivamente. Además éstos autores señalan que una distribución bimodal indica la presencia de fracciones finas ( $\leq 100 \mu\text{m}$ ) y fracciones gruesas ( $>100 \mu\text{m}$ ); lo que atribuyen a la fracción de almidón y fracciones de pared celular respectivamente.

La diversidad y uniformidad del tamaño de partícula son factores que afectan el volúmen en el proceso de molienda de las harinas, por otro lado, la diferencia en el tamaño y distribución de partícula es atribuible a dos aspectos; el primero a la variedad y fuente botánica de las harinas; y segundo al proceso y equipo utilizado para el tamizado durante la molienda (Kaur y Singh, 2000).

### 6.1.5.2 Almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle

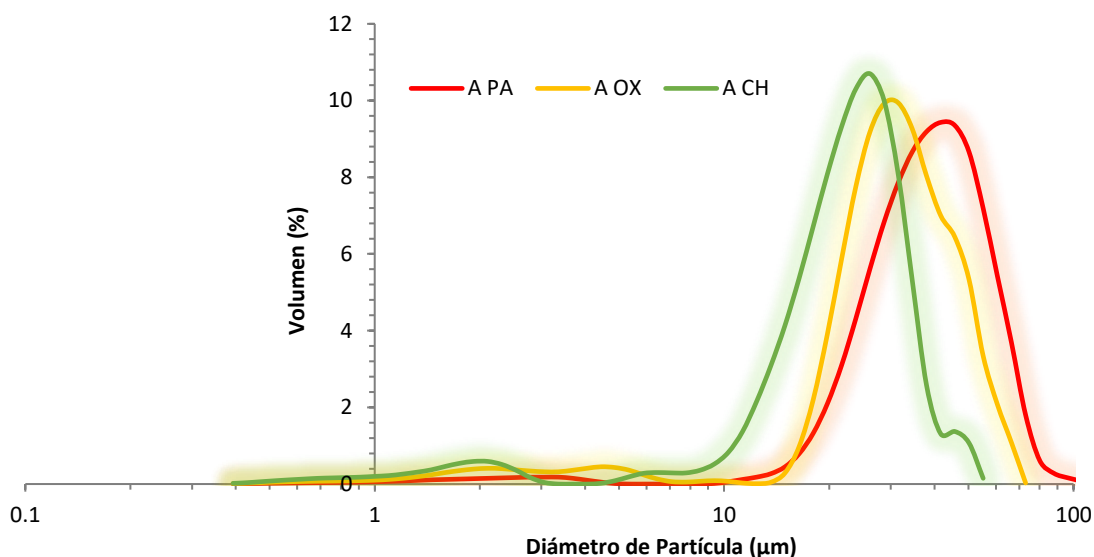


Figura 8. Distribución de tamaño de partícula de Almidones nativos de Papa blanca (A PA), *Oxalis tuberosa* (A OX) y Chayotextle (A CH).

En la Figura 8 se presenta la distribución de tamaño de partícula de los almidones de papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle.

Donde se puede observar que a diferencia de las harinas, los almidones muestran distribuciones de tamaño de partícula más uniforme; describiendo un comportamiento con forma de “campana de Gauss” para el caso de las tres fuentes de almidón. Como se esperaba, en base a lo reportado por algunos autores en trabajos realizados previamente, el almidón de papa blanca presentó el tamaño de partícula más grande en comparación con las otras dos fuentes, ya que como se observa en la Figura 9 alcanzó un tamaño de partícula de 100  $\mu\text{m}$  con tamaños en sus gránulos entre 22.19 – 100  $\mu\text{m}$  y con un diámetro medio de partícula de 39.64  $\mu\text{m}$ . De manera contraria el almidón de chayotextle resultó con el tamaño de partícula más pequeña de las tres fuentes evaluadas ya que como se visualiza hubo un pico con una población de gránulos alrededor de los 2  $\mu\text{m}$ . El diámetro medio de partícula fue de 22.79

$\mu\text{m}$  y con intervalos en sus gránulos de entre 11.64 a 60  $\mu\text{m}$ . Finalmente el almidón de *Oxalis tuberosa* exhibió poblaciones granulares pequeñas de 4  $\mu\text{m}$  con intervalos entre 4 – 70  $\mu\text{m}$ .

El tamaño y distribución de partícula de almidones de diferentes fuentes botánicas se ha reportado que cambian durante el desarrollo de los órganos de almacenamiento de plantas (Chojecki y col., 1986).

Kaur y col., en el (2007) reportan intervalos de tamaño de gránulo para almidones de papas recién cosechadas y de tres cultivares comerciales (Kufri Ashoka, Kufri Dewa and Kufri Kunden) con valores entre 40-65, 20-40 y 1-20 nm respectivamente. Estudios realizados por Sing y col., 2006, Singh y col., (2006) reportan que algunas propiedades funcionales como la solubilidad e hinchamiento son afectadas directamente por el tamaño y la distribución de partícula.

Cabe destacar que la diferencia entre las distribuciones multimodales que exhibieron las harinas en comparación con el comportamiento más uniforme expuestos por los almidones; pudiera deberse a que las harinas son más ricas en cuanto a fracciones gruesas de pared celular (fibra), cuerpos proteicos interrumpidos durante la molienda y minerales, independiente de la variedad, fuente botánica y factores ambientales de las fuentes evaluadas como se ha descrito por un gran número de autores en trabajos previos.

## 6.1.6 Difracción de rayos X y porcentaje de cristalinidad

### 6.1.6.1 Harinas Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle

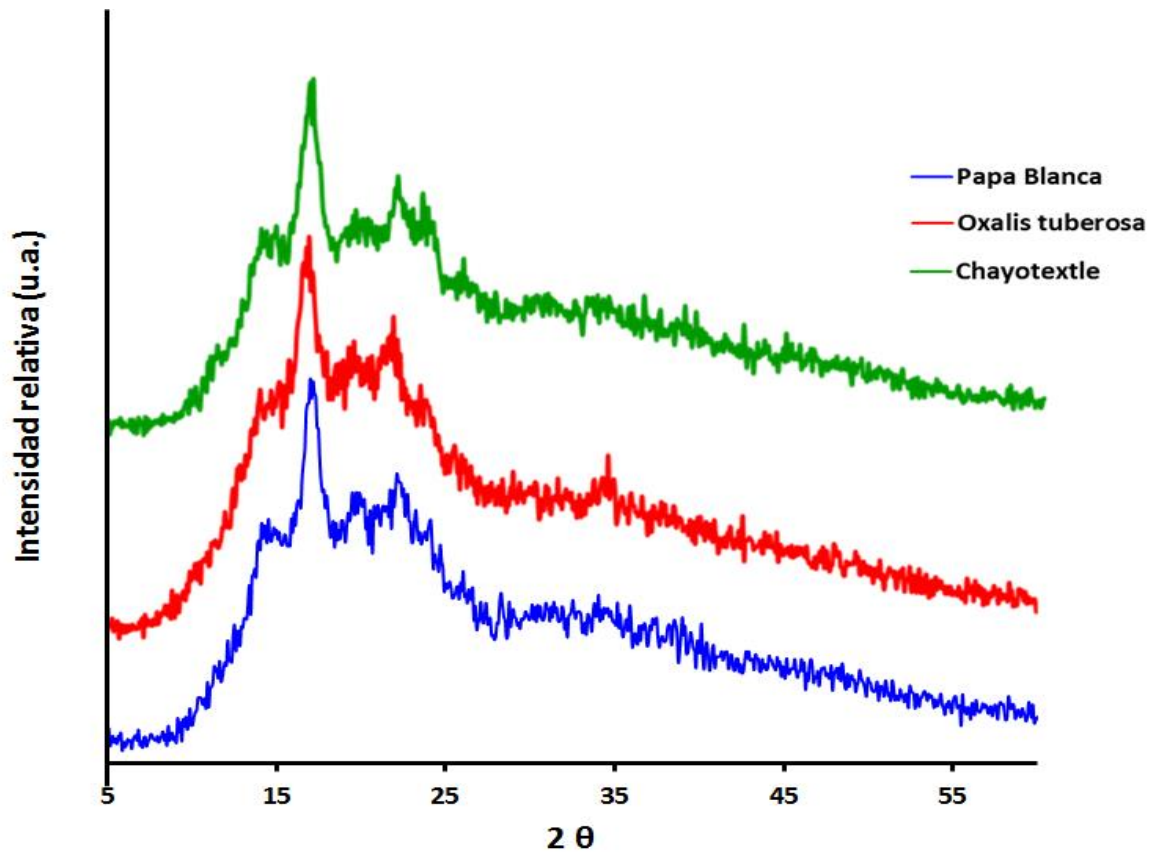


Figura 9. Difracción de rayos X de harinas de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

En la Figura 9 se muestran los difractogramas de las harinas de papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle, estos patrones permitieron caracterizar las zonas parcialmente cristalinas de los gránulos de almidón presentes en las harinas; en base a los resultados obtenidos, se observa que los picos de intensidad corresponden a un patrón de cristalinidad del tipo B. Zobel, 1988 indica que el patrón tipo B presenta dos picos característicos en el ángulo de difracción  $2\theta = 5^\circ$ ,  $18^\circ$ , en el presente trabajo sólo se encontró de forma clara el segundo pico en  $2\theta = 18^\circ$ .



Waramboi y col., 2011, analizaron los patrones de difracción de harinas de camote dulce ( $2\theta=15^\circ, 17^\circ, 17.9^\circ$  y  $22.8^\circ$ ); los cuales reportan que esta variedad presentó un patrón de difracción del tipo A, lo cual difiere con nuestros resultados. Por otra parte Huang, 2009, estudió los patrones de difracción de algunas harinas, y reporta un patrón tipo C para una harina de camote dulce, un patrón tipo A para harina de taro, mientras que en yam y papa se encontró un patrón de difracción tipo B. Rodríguez y col., 2001 mencionan que actualmente se ha aceptado que los almidones de cereales presentan generalmente un patrón de difracción tipo A, mientras que los almidones de tubérculos en su mayoría presentan un patrón tipo B, sin embargo, en almidones de ciertas raíces y semillas también se ha reportado un patrón tipo C que es la combinación del tipo A y el tipo B.

Los patrones de difracción A, B y C se utiliza para diferenciar las cadenas y facilitar la comparación de los modelos de la amilopectina, esto cuando la longitud de cada tipo de cadena se desconoce. No obstante que la terminología de cadenas A, B y C se utiliza ampliamente, la definición de cadenas A y B es aún inconsistente, ocasionando confusiones en la interpretación de los resultados de los análisis estructurales de la amilopectina, sin embargo la literatura en su mayoría coincide que la cadena A se enlaza al resto de la molécula a través de un extremo reductor, la cadena B está enlazada con una cadena A, pero transporta a otras cadenas A y/o B en uno o más de los grupos hidroxilos primarios, la cadena C no está sustituida en el grupo o extremo reductor y solo existe una cadena de este tipo por molécula Tester y col., 2004.

Cairns y col., 1997 señalan que usando la difracción de rayos X es posible determinar las regiones cristalinas y amorfas de los almidones así como la composición polimórfica de un determinado almidón. Además Jenkins y col., 1993 indican que la parte amorfa del gránulo de almidón está formada esencialmente por la amilosa, mientras que la región cristalina está formada por cúmulos paralelos de cadenas cortas ( $50-60 \text{ \AA}$ ) en la amilopectina, la cual así mismo, presenta regiones amorfas y regiones altamente cristalinas. Las regiones amorfas están asociadas a la zona ramificada de la amilopectina, mientras que la región cristalina se debe a los planos formados por los cúmulos y las cadenas lineales de la amilosa en la molécula de la amilopectina.

Tabla 5. Porcentaje de cristalinidad de harinas de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle

Harinas	(%) de cristalinidad
Papa Blanca	36.17
<i>Oxalis tuberosa</i>	29.15
Chayotextle	29.59

En la Tabla 5 se presenta el porcentaje de cristalinidad de las harinas de papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle; en la que se observa que la harina de papa blanca presentó la mayor cristalinidad (36.17%), por otro lado *Oxalis tuberosa* y chayotextle no mostraron diferencias claras entre sí con porcentajes de 29.15 y 29.59% respectivamente; estos niveles de cristalinidad (29% - 36%) son superiores a los reportados por Chen y col., 2016, quienes analizaron harinas de *Fritillaria thunbergii* con porcentajes de cristalinidad que oscilaron entre 18.33 – 22.58%, estos autores señalan que las diferencias en las estructuras cristalinas de los almidones se debe principalmente a la fuente botánica. Así también de acuerdo a trabajos previos de Waramboi y col., 2011, reportan porcentajes de cristalinidad que variaron entre 30-39 % para harinas de camote dulce de diferentes variedades, siendo estos resultados similares a los que reportamos en el presente estudio.

La cristalinidad del almidón se atribuye a las cadenas lineales de amilopectina conformadas en dobles hélices, las cuales forman modelos de estructuras ordenadas que son entidades cristalinas. El tipo B tiene picos de mayor intensidad de difracción para ángulos  $2\theta = 5^\circ, 6^\circ, 18^\circ$  y  $24^\circ$ , encontrado en almidones de tubérculos y altos en amilosa, además este polimorfismo tiene una estructura más abierta, por lo tanto hay mayor contenido de agua haciéndola una hélice hidratada (36 moléculas de agua por hélice), en el caso de la mayoría de los tubérculos las polimorfías son del tipo “B”, Spence y Jane 1999. Por otro lado a pesar de que los tipos de cristalinidad A y B son idénticos en las dobles hélices; el tipo A tiene una estructura más estrechamente organizada (Huang, 2009), de este modo los patrones de cristalinidad reflejan la organización molecular y estructural de una muestra, Jayakody y col., 2005.

Rodríguez y col., 2001 reportan que la estructura cristalina del gránulo ha sido atribuida directamente a la amilopectina, dicho resultado está de acuerdo con el modelo del grano del almidón obtenido por rayos X a bajo ángulo, en este modelo el polímero de la amilopectina está embebido en una matriz amorfa (amilosa), y ésta a la vez está formada por regiones amorfas y regiones cristalinas alternadas periódicamente, la parte cristalina de la amilopectina es debida a los cúmulos de cadenas cortas de los enlaces glucosídicos (D-1,4). Adicionalmente, los patrones cristalinos de las harinas revelan información más útil del estado del almidón en presencia de otros componentes que se pierden siempre durante las extracciones.

Por otra parte, Imberty y Pérez, 1988 sostienen que el contenido óptimo de humedad es de alrededor del 27%, porcentaje en el cual es observado el máximo grado de cristalinidad, mientras que el porcentaje mínimo necesario para observar un grado de difracción de rayos X es del 8%, ya que el agua actúa como un plastificante. Además considerando lo reportado por Jayakody y col., 2005, Chen y col., 2016 con respecto a que la claridad de los picos cristalinos son afectados directamente por el contenido de humedad con efectos concomitantes sobre el grado de cristalinidad.

### 6.1.6.2 Almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle

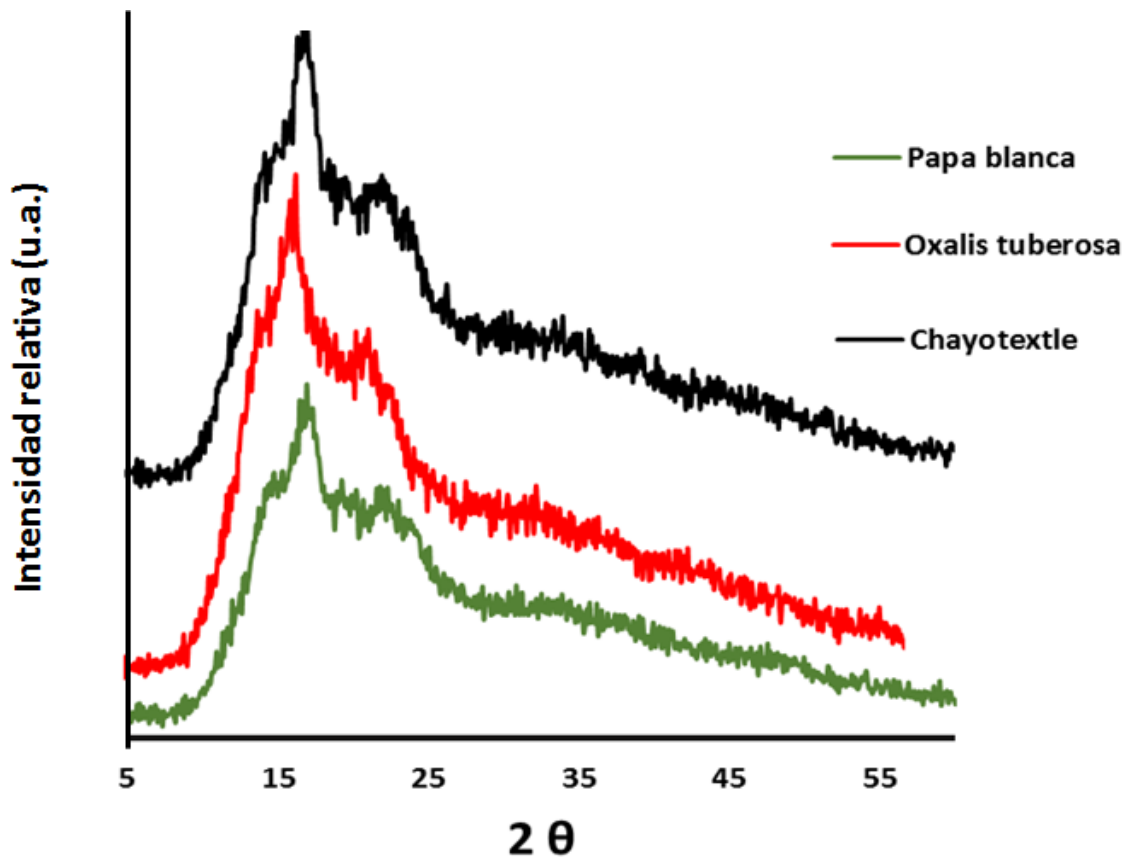


Figura 10. Difracción de rayos X de almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

En la Figura 10 se muestran los patrones de difracción de rayos X de los almidones de papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle, donde puede observarse que los gránulos de almidón presentan una estructura semi-cristalina, así también que las gráficas de las tres muestras no presentan diferencias claras entre ellas, sin embargo lo que se aprecia con claridad, es el pico de intensidad en  $2\theta = 18^\circ$  y de acuerdo a lo reportado por Zobel, 1998, y expuesto con anterioridad podemos afirmar que corresponde a un patrón de difracción característico del tipo B.

Joshi y col., 2013 analizaron el patrón de difracción de rayos X de almidones de lentejas, maíz y papa, a lo cual reportan que el maíz presentó un patrón característico del tipo A, la

papa del tipo B y finalmente la lenteja del tipo C, que es un patrón de difracción característico de las leguminosas. Por otro lado, reportes de Miao y col., 2012, compararon almidones no convencionales de dos tipos de *Cynanchum auriculatum* con papa comercial, encontrando patrones de difracción característicos del tipo B con picos bien definidos en  $2\theta = 17^\circ$ , picos en  $2\theta = 15^\circ$ ,  $18^\circ$  y  $22-23^\circ$  así como picos en  $2\theta=5.5^\circ$ , reportando a su vez que tampoco encontraron diferencias claras entre las posiciones de los tres almidones.

Hoover y Manuel 1995, mencionan que los gránulos de almidón son semicristalinos y consisten en áreas amorfas y ordenadas, por lo que la difracción de rayos X nos indica que los valores máximos de los picos demuestran una mejor orientación y cristalitas más compactos, así también; Buleón y col., 1998 han propuesto que estos patrones de difracción observados en las diferentes fuentes de almidón, son debido a la disposición radial de las cadenas de amilopectina; y que este arreglo consiste de una región con puntos de ramificación y otra que contiene dobles hélices ordenadas compuestas de cadenas cortas de amilopectina.

Tabla 6. Porcentaje de cristalinidad de almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle

<b>Almidones</b>	<b>(%) de cristalinidad</b>
<b>Papa Blanca</b>	<b>23.02</b>
<i>Oxalis tuberosa</i>	17.3
<b>Chayotextle</b>	<b>25.41</b>

En la Tabla 6 se presenta el porcentaje de cristalinidad de los almidones de papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle que se evaluaron en el presente estudio; como se observa el almidón de chayotextle presenta la mayor grado de cristalinidad con un valor de 25.41%, luego papa con 23.02% y finalmente *Oxalis tuberosa* tuvo el porcentaje de cristalinidad más bajo con 17.3%. De acuerdo a los resultados obtenidos, el porcentaje de cristalinidad de las tres fuentes evaluadas son similares a los obtenidos por Huchín y col., 2015 en los que reportan porcentajes de cristalinidad de 30.56 % y 26.68 % para almidones de *Ramon* y maíz respectivamente. Así también Joshi y col., 2013 reportan porcentajes de cristalinidad donde papa fue mayor que el almidón de maíz y éste a su vez mayor que el de lentejas con valores de 37.67, 25.37 y 9.12 % respectivamente.

Trabajos previos de Hoover y Ratnayake, 2002 señalan que las diferencias relativas entre la cristalinidad de las muestras puede deberse al tamaño de los cristalitos, cantidad de regiones cristalinas, orientación de las dobles hélices dentro de las regiones cristalinas o el grado de interacción entre las dobles hélices. Por otro lado Joshi y col., 2013 señalan que la cristalinidad mayor que presenta la papa blanca es reflejo de la fuerte interacción que existe entre las dobles hélices dentro de las lamelas cristalinas así como una mejor disposición de los cristalitos, y que por el contrario la baja cristalinidad de la lenteja enfatiza la diferencia en la composición molecular debido a su alto contenido de amilosa de su almidón.

Otros autores como Buleón y col., 1998; Zobel, 1988; Liu, 2005 reportan que la cristalinidad está directamente asociada con el empaquetamiento de las dobles hélices de la amilopectina, mientras que las regiones amorfas representan principalmente a la amilosa. Adicionalmente el acomodo estructural de la amilosa y la amilopectina dentro de los gránulos se ha reportado

que varía entre los almidones; siendo del tipo “B” el que caracteriza a los tubérculos y las raíces, aunque también se ha reportado para almidones retrogradados y almidones de cereales altos en amilosa.

## 6.2 Propiedades Funcionales

### 6.2.1 Capacidad antioxidante

Tabla 7. Valores de actividad quelante, ácido ascórbico y fenoles totales de Harinas de Papa Blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

Fuente	Actividad Quelante (%)	Ácido Ascórbico mg E.A.A. en 100 g de muestra	Fenoles Totales mg E.A.G. en 100 g de muestra
<b>Papa Blanca</b>	51.6 ± 0.5 <sup>b</sup>	13080.24 ± 24.1 <sup>b</sup>	39.34 ± 0.5 <sup>b</sup>
<b><i>Oxalis tuberosa</i></b>	73.5 ± 4.9 <sup>c</sup>	10564.81 ± 221.7 <sup>a</sup>	53.30 ± 0.2 <sup>c</sup>
<b>Chayotextle</b>	36.8 ± 0.8 <sup>a</sup>	13523.91 ± 118.7 <sup>c</sup>	35.0 ± 0.5 <sup>a</sup>

Los sobreíndices <sup>a,b,c</sup> en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras, ± Indica la desviación estándar entre las muestras.

Tabla 8. Valores de actividad antioxidante del radical DPPH y ABTS, de Harinas de Papa Blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

Fuente	DPPH $\mu\text{Mol E.T. en 100 g de muestra}$	ABTS $\mu\text{Mol E.T. en 100 g de muestra}$
<b>Papa Blanca</b>	875.92 ± 12.3 <sup>b</sup>	2948.15 ± 208 <sup>a</sup>
<b><i>Oxalis tuberosa</i></b>	2226.12 ± 11.4 <sup>c</sup>	5522.22 ± 217 <sup>b</sup>
<b>Chayotextle</b>	236.82 ± 12.4 <sup>a</sup>	2864.81 ± 58 <sup>a</sup>

Los sobreíndices <sup>a,b,c</sup> en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras, ± Indica la desviación estándar entre las muestras.

En las Tablas 7 y 8 se muestran los resultados para las diferentes pruebas de actividad antioxidante que se realizaron a las harinas.

En cuanto a la actividad quelante se puede observar que se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las tres harinas evaluadas, ya que la harina de *Oxalis tuberosa* mostró el mayor porcentaje con 73.5%, luego la de papa con 51.6% y finalmente la harina de chayotextle con 36.8%

Por lo que respecta a la actividad antioxidante evaluada a través de ácido ascórbico, se observa que también hubo diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) en las tres harinas, siendo la harina de *Oxalis tuberosa* (10.564 g) la que presentó la mayor actividad antioxidante, posteriormente la harina de chayotextle (13.523 g) y finalmente la harina de papa con 13.080 g equivalentes de ácido ascórbico /100 g en base húmeda (bh).

Sousa y col., (2015) evaluaron la capacidad antioxidante de la harina de Yacon y reportan un valor medio de  $222 \pm 2$  mg equivalentes de ácido ascórbico, valor que se encuentra por debajo de los que se reportan en el presente trabajo.

Los resultados observados con respecto a la prueba de fenoles totales, indican que, si hubo diferencias estadísticas significativas entre las muestras evaluadas, ya que el mayor valor lo presentó la harina de *Oxalis tuberosa* con 53.3 mg, posteriormente, la harina de papa con un valor de 39.34 mg y finalmente la harina de chayotextle, presentó el menor valor con 35.0 mg equivalentes de ácido gálico /100 g bh.

Chirinos y col., (2009) evaluaron la actividad antioxidante de *Oxalis tuberosa* de diferentes variedades encontrando valores de fenoles totales que oscilaron entre 40.8-161.8 mg equivalentes de ácido gálico/100 g bh, Por lo tanto, los valores (35 – 53.3 mg equivalentes de ácido gálico/100 g) reportados en este estudio, están dentro de los reportados por dichos autores. Por su parte, Sousa y col., (2015) evaluaron la actividad antioxidante de harina de Yacon y reportan un valor promedio de  $275 \pm 3$  mg equivalentes de ácido gálico, resultando un valor superior a los reportados en el presente trabajo.



Los resultados para DPPH muestran *Oxalis tuberosa* presentó el mayor efecto antioxidante con un valor de 2226.12  $\mu\text{M}$  posteriormente papa con 875.92  $\mu\text{M}$  y por último, el menor efecto lo mostró la harina de chayotextle con 236.82  $\mu\text{M}$  equivalentes de Trolox /100g bh.

Donado y col., (2012) analizaron harinas de camote dulce y evaluaron la actividad antioxidante de estas harinas por el radical DPPH reportando valores entre 2.5-19.5 M equivalentes de Trolox /100 g bh, valores que están por arriba de los que se reportan en el presente estudio. Morrone y col., (2015), por su parte evaluaron la capacidad antioxidante de harinas italianas tradicionales de diferentes variedades de tubérculos a través del ensayo DPPH, reportando valores (3.05-5.47 M equivalentes de Trolox/100 g bh), que también son superiores a los reportados para estos tubérculos.

Por lo que respecta al radical catión ABTS, no hubo diferencias estadísticas significativas ( $p>0.05$ ) entre las muestras de papa (2948.05  $\mu\text{M}$ ) y de chayotextle (2864.81  $\mu\text{M}$ ), por lo tanto *Oxalis tuberosa*, presentó la mayor actividad antioxidante con 5522.22  $\mu\text{M}$  equivalentes de Trolox/100 g bh.

Donado y col., (2012) analizaron la actividad antioxidante de harinas de camote dulce en donde reportan actividad antioxidante para el radical ABTS con valores que oscilaron entre 5.3-18.8 M equivalentes de Trolox /100 g bh, cuyos valores son superiores a los que se reportan en el presente estudio. Así también, Chirinos y col., (2012) evaluaron la actividad antioxidante a través del radical ABTS de harina de *Oxalis tuberosa* de diferentes variedades reportando valores que oscilaron entre 1.1-8.9 M equivalentes de Trolox/100g bh, valores que resultan dentro de los parámetros que se reportan en el presente estudio.

La actividad antioxidante ha sido atribuida a varios compuestos bioactivos presentes en tubérculos; por ejemplo el derivado el ácido caféico cuya cantidad y estructura se ha demostrado que afecta considerablemente la actividad antioxidante, el ácido quínico combinado con ácido dicafeico tiene fuerte actividad antioxidante, así también el ácido quínico combinado con los ácidos *cis*-dicafeólico y mono-cafeólico posee fuerte actividad antioxidante, Zhu y col.,2010; Wang, y Zhu, 2015; Zhao y Col., 2014. Así también se ha

reportado que cocinar, incluyendo el hervido, horneado, asado, freído etc, generalmente disminuyen de manera considerable la actividad antioxidante de los radicales DPPH y ABTS Lee y col., 2012.

Los antioxidantes interfieren con el proceso de oxidación por reacción con radicales libres, quelantes de metales catalíticos libres y también actuando como eliminadores de oxígeno de los subproductos. Los antioxidantes funcionan como terminadores de radicales libres y a veces también como formadores de quelatos metálicos Shahidi y Wanasundara, 1992. Así también los compuestos fenólicos eliminan los radicales libres mediante la donación de átomos de hidrógeno a los radicales libres; por lo que pueden proteger componentes celulares contra el daño oxidativo y limitar el riesgo de diversas enfermedades degenerativas asociadas con el estrés oxidativo Anderson y Wolf, 1995.

Nuestros resultados concuerdan con los reportados con anterioridad por Campos y col.,2006 donde muestran que *Oxalis tuberosa* ocupa la segunda posición en términos de capacidad antioxidante después de tubérculos como Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), seguido de papa y Alluco (*Ullucus tuberosus*), así también los resultados obtenidos indican que *Oxalis tuberosa* contiene una importante cantidad de fitoquímicos antioxidantes. Por lo que algunos de los beneficios a la salud aportados por tubérculos, podrían estar relacionados a la presencia de compuestos fenólicos. Chrinos y col., 2009.

## 6.2.2 Capacidad de Absorción de Agua

### 6.2.2.1 Harinas de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

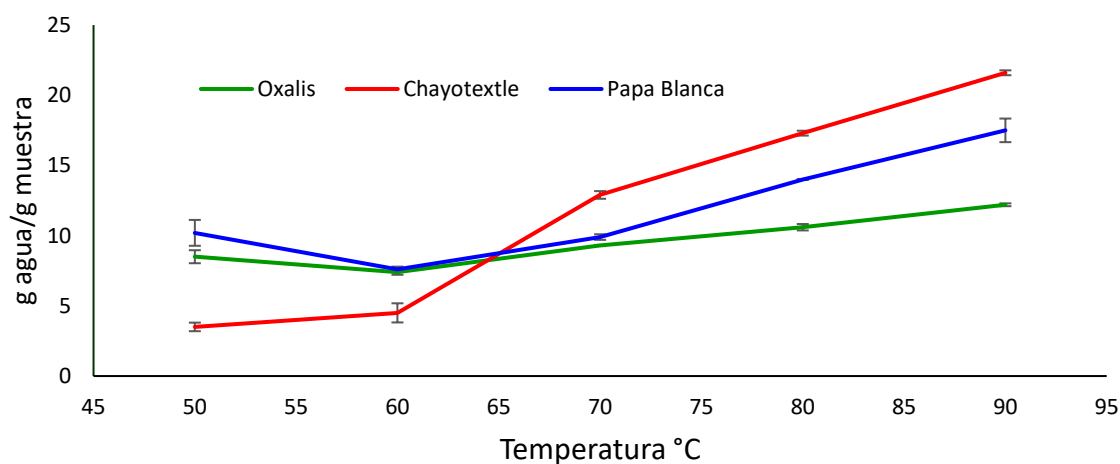


Figura 11. Gráfico de la capacidad de absorción de agua en Harinas de Papa blanca, *Oxalis tuberosa*, y Chayotextle.

En la Figura 11 se presentan los resultados de capacidad de absorción de agua para las harinas de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle, donde se observa de forma general que de 60 °C en adelante las muestras de harina presentaron un aumento en la capacidad de absorción de agua, donde la muestra de chayotextle después de los 65 °C mantuvo la mayor capacidad de absorción de agua con respecto a las otras dos, mientras que la *Oxalis tuberosa* presentó la menor capacidad de absorción de agua de 70 °C en adelante.

Así también se observa que a los 50 °C las tres muestras fueron diferentes significativamente, ya que la harina de chayotextle tuvo la menor capacidad de absorción de agua (3.5 g agua/g muestra), mientras que *Oxalis tuberosa* y papa tuvieron valores de 8.5 y 10.2 g/g respectivamente, posteriormente a 60 °C las harinas de *Oxalis tuberosa* y chayotextle no presentaron cambios significativos en su tendencia ( $7.4 \pm 0.19$  y  $4.5 \pm 0.68$  g/g), mientras que la harina de papa fue diferente estadísticamente ( $7.6 \pm 0.19$  g/g), observando así que la harina de chayotextle presentó la menor capacidad de absorción de agua a dicha temperatura, así mismo se observó que a 70°C las tres harinas mostraron cambios significativos en su tendencia, con valores de  $9.3 \pm 0.04$ ,  $9.9 \pm 0.2$  y  $12.9 \pm 0.27$  g/g para *Oxalis tuberosa*, papa

y chayotextle respectivamente, notando que el aumento más significativo lo presentó la harina de chayotextle, luego se ve que a 80 °C las tres harinas continuaron absorbiendo agua significativamente alcanzando valores a razón de  $14.0 \pm 0.04$ ,  $10.6 \pm 0.23$  y  $17.3 \pm 0.17$  g/g para papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle respectivamente, por último en la parte final de la prueba (90 °C), las tres harinas mostraron diferencias significativas y mantuvieron la tendencia hasta alcanzar sus valores máximos de absorción a dicha temperatura, en que la harina de *Oxalis tuberosa* mostró la menor capacidad ( $12.2 \pm 0.1$  g/g, papa  $17.5 \pm 0.84$  g/g, y por último la harina que mostró la mayor capacidad de absorción de agua fue chayotextle con  $21.6 \pm 0.2$  g de agua por gramo de muestra.

Por otro lado Chancelle y col., 2014 analizaron también la capacidad de absorción de agua de harinas de camote dulce de tres variedades donde reportan valores de  $2.9 \pm 0.1$ ,  $3.1 \pm 0.1$  y  $3.5 \pm 0.9$  g agua/g muestra respectivamente, valores que se encuentran por debajo de los reportados en el presente estudio.

### 6.2.2.2 Almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle.

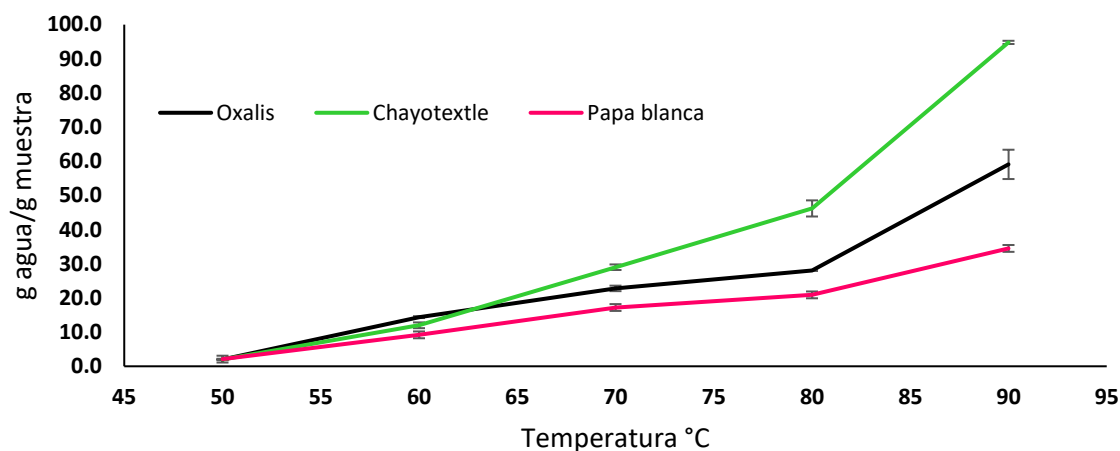


Figura 12. Gráfico de la capacidad de absorción de agua en Almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa*, y Chayotextle.

En la Figura 12 se presentan los resultados en cuanto a capacidad de absorción de agua para los almidones de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle, donde se observa de manera general que en cada temperatura evaluada las muestras aumentaron su capacidad de absorción de agua (Figura 13), así también se observa que a partir de los 70 °C los tres almidones mantienen la misma tendencia, donde el almidón de chayotextle presentó la mayor capacidad de absorción de agua mientras que por el contrario el almidón de papa demostró la capacidad más pobre.

Al inicio de la prueba (50 °C) los almidones no presentaron diferencias significativas; y la absorción de agua fue muy pobre, (papa  $2.1 \pm 0.8$ , *Oxalis tuberosa*  $2.0 \pm 0.2$  y chayotextle  $2.0 \pm 0.1$  g/g), posteriormente a 60 °C los tres almidones presentaron un comportamiento similar entre sí incrementando significativamente su capacidad de absorción de agua ( $9.2 \pm 0.22$ ,  $14.4 \pm 0.28$  y  $12 \pm 0.85$  g/g) para papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle respectivamente; continuando así se puede observar que de 70 a 80 °C el almidón de chayotextle intensificó la absorción de agua de manera más visible ( $46.2 \pm 2.4$  g/g) en comparación con el almidón de

papa ( $20.9 \pm 1.38$  g/g) y de *Oxalis tuberosa* ( $28 \pm 0.04$  g/g), finalmente en la última temperatura evaluada durante la prueba ( $90^\circ\text{C}$ ) se aprecia claramente que la muestra de papa presentó la menor absorción de agua con un valor final de  $34.5 \pm 1.91$  g/g, mientras que chayotextle aumentó significativamente su capacidad a más del doble con un valor de  $94.8 \pm 0.47$  g/g definiendo ser almidón con la mayor capacidad de absorción de agua.

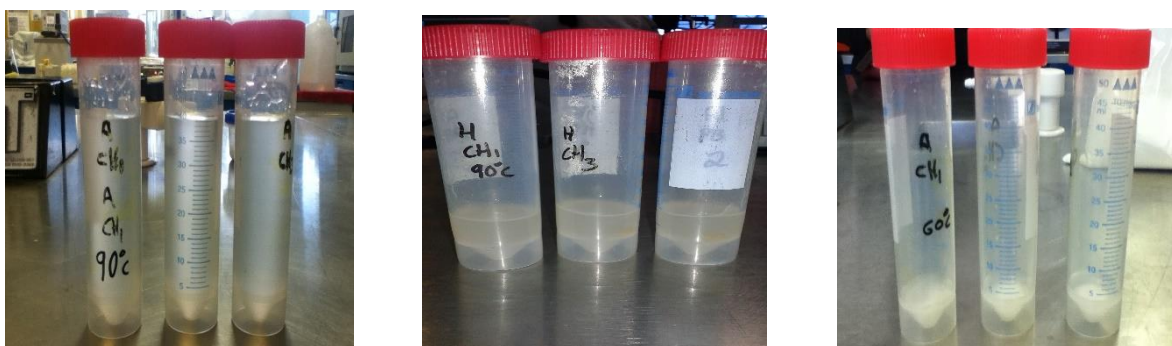


Figura 13. Capacidad de absorción de agua de almidones de chayotextle a diferentes temperaturas.

Sanabria y Filho, (2009) evaluaron la capacidad de absorción de agua de almidón a partir de tubérculo de maca, donde reportan un valor máximo de 45.9 g agua/g de muestra valor que se encuentran dentro de los resultados reportados en el presente trabajo. Por otro lado, Doporto y col., (2009), analizaron la capacidad de absorción de agua en almidones de Ahipa y Mandioca donde reportan valores de 98 y 100 g agua/ g muestra, datos que son similares a los reportados para el almidón de chayotextle y a su vez superiores a los almidones papa y *Oxalis tuberosa*.

La absorción de agua primero ocurre en las regiones amorfas de los gránulos, durante este proceso, la estructura molecular cristalina del almidón es rota, y las moléculas de agua se unen a los grupos hidroxilos libres de amilosa y amilopectina por enlaces de hidrógeno los cuales causan un incremento en la capacidad de absorción de agua (Singh y col., 2003).

Kinsella en 1979 reporta que la capacidad de absorción de agua es la capacidad de mantener físicamente el agua contra la gravedad, y se define como la cantidad de agua que puede ser absorbida por gramo de muestra. Esta es una propiedad funcional muy importante en las harinas, con muchas aplicaciones diferentes en los alimentos. Por otro lado reporta que las características físicas y estructurales de las harinas se van modificando con ciertos procesos, como por ejemplo la cocción, ya que el exceso de agua y el calor simultáneamente van desenrollando las dobles hélices del almidón y desnaturalizando las proteínas con lo que permite una mayor permeabilidad y fluidez de atrapamiento de agua por parte de los grupos hidroxilos que se encontraban al interior de la molécula, y también por residuos de aminoácidos polares expuestos como resultado de la desnaturalización. Adicionalmente Aguilera (2009) reporta que la gelatinización del almidón durante el calentamiento puede contribuir a incrementar considerablemente la capacidad de absorción de agua.

Miao y col., (2009); Chancelle y col., (2014) reportaron que la capacidad de absorción de agua en harinas y almidones puede ser influenciada por la presencia de aglomerados que contribuyen a reducir esta propiedad, así también el tamaño del gránulo influye, por ejemplo se ha sugerido que gránulos pequeños tienen mayor solubilidad y por lo tanto una mayor capacidad de absorción de agua, lo cual tiene implicaciones para la funcionalidad de las harinas y almidones durante el procesamiento.

Respecto a la capacidad de absorción de agua, lo que mencionan estos autores, concuerda con los resultados obtenidos, tanto para las muestras de harina como de almidón, ya que el almidón de chayotextle mostro el menor tamaño de gránulo, con respecto a las otras muestras.

Una baja capacidad de absorción de agua en los almidones puede atribuirse a la participación de los grupos hidroxilo para formar enlaces de hidrógeno y covalentes entre las cadenas de almidón que con el agua, lo que disminuye la capacidad de absorción de agua, por el contrario la libre asociación molecular de amilosa y amilopectina en almidones nativos es responsable de una alta capacidad de absorción de agua. Por otro lado la capacidad de absorción de agua es un parámetro importante de procesamiento y tiene implicaciones para la viscosidad, a su vez es importante para el aumento, consistencia y volúmen de ciertos productos como los de

panadería; adhiriéndole mayor humedad a la masa manteniendo más fresco el pan (Wolf, 1970; Tian y col., 2001; Leach y col., 1959; Miao y col., 2009; Snoch, 1964c).

### 6.2.3 Capacidad de Absorción de Aceite

#### 6.2.3.1 Harina de Papa blanca

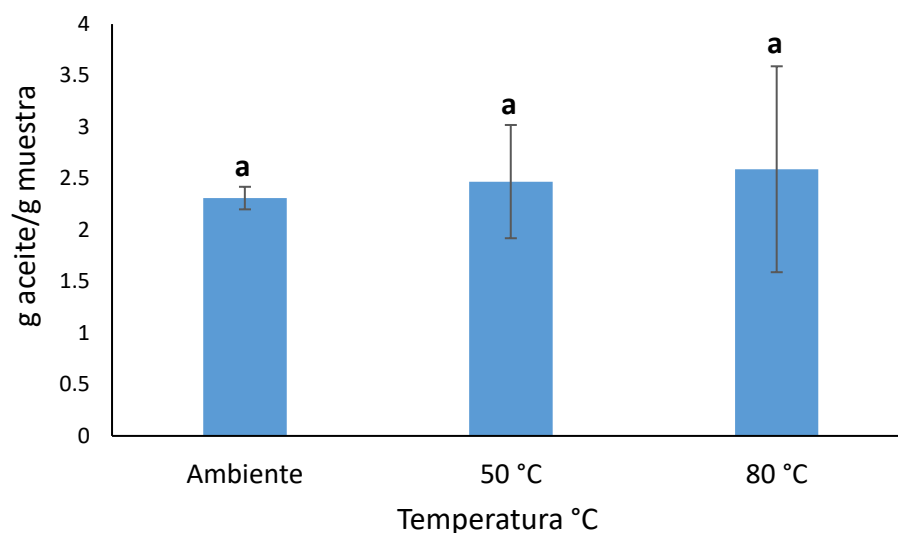


Figura 14. Gráfico de la capacidad de absorción de aceite de harina de papa blanca a temperatura ambiente, 50 y 80 °C.

Los sobreíndices (a) en las columnas del gráfico indican que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las temperaturas.

En la Figura 14 se muestran los resultados de la capacidad de absorción de aceite de la harina de papa a temperatura ambiente, 50 y 80 °C, obteniendo resultados a razón de 2.3, 2.4 y 2.5 g aceite/g muestra respectivamente, donde se puede observar que no hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) en la capacidad de absorción de aceite respecto a las temperaturas, por lo tanto, para este trabajo de investigación se determinó reportar la capacidad de absorción de aceite de las tres harinas a temperatura ambiente (25 °C aproximadamente).



### 6.2.3.2 Harina de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle

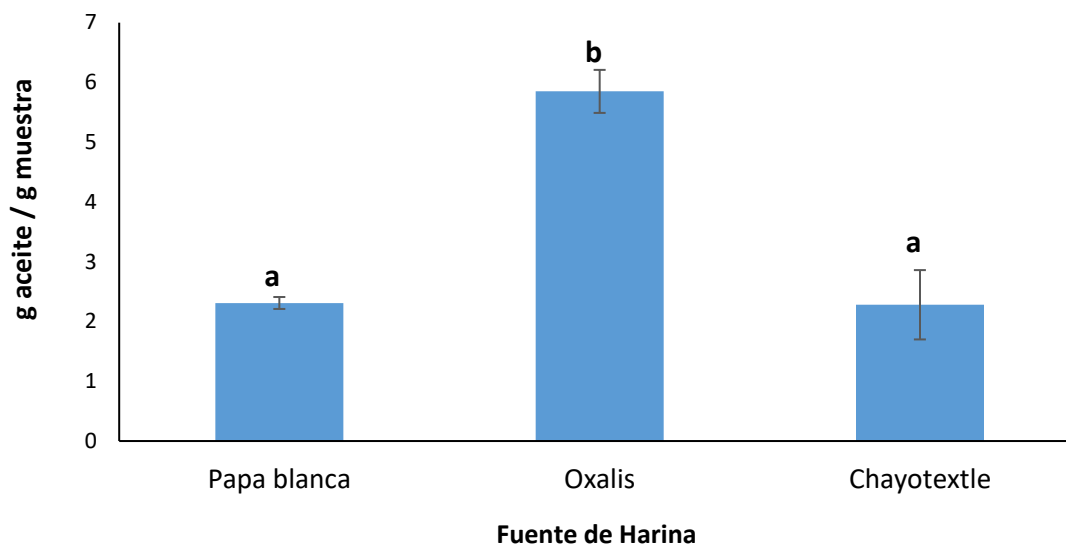


Figura 15. Gráfico de la capacidad de absorción de aceite para harinas de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle a temperatura ambiente.

Los sobreíndices (a, b) en las columnas del gráfico indican las diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las fuentes de harinas.

En la Figura 15 se muestran los resultados de la capacidad de absorción de aceite de las harinas de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle a temperatura ambiente (25 °C aproximadamente), donde se puede observar que no hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre las harinas de papa y chayotextle (2.3 g/g), mientras que la harina de *Oxalis tuberosa* si presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con un valor de 5.8 g aceite /g muestra.

Julianti y col., (2015) analizaron la capacidad de absorción de aceite en harinas de camote dulce, maíz y soya donde reportan valores que oscilaron entre 2.02-2.2 g aceite/g muestra, cuyos resultados son similares a los reportados para las harinas de papa y chayotextle pero inferiores a los de *Oxalis tuberosa* del presente trabajo. Por otro lado Abebe y col., (2015) evaluaron la capacidad de absorción de aceite de harinas de tres variedades de Tef en donde

reportan valores promedio de  $0.85 \pm 0.04$  g aceite/g muestra, como se puede observar estos datos son inferiores a los que se reportan en el presente trabajo.

### 6.2.3.3 Almidón de Papa blanca

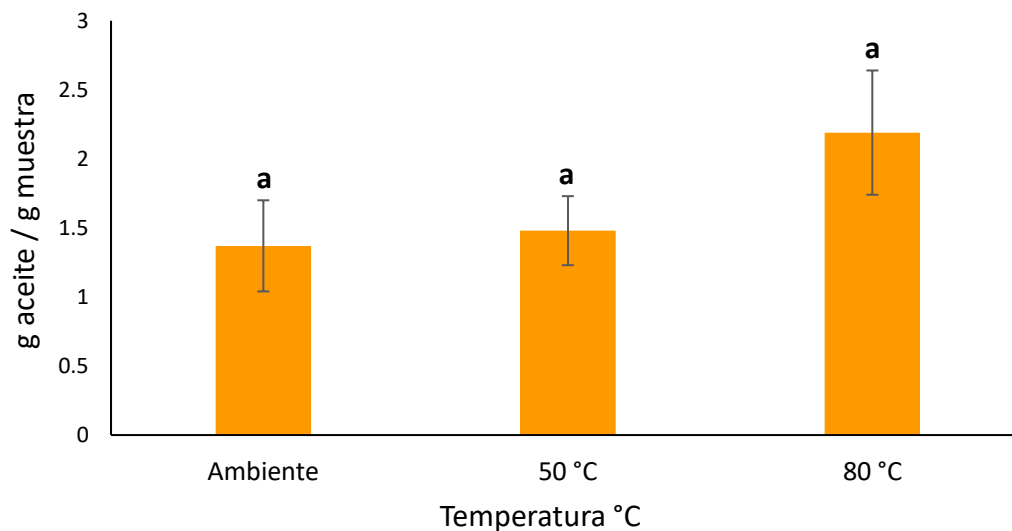


Figura 16. Gráfico de la capacidad de absorción de aceite para almidón de papa blanca a temperatura ambiente, 50 y 80 °C.

Los sobreíndices (a) en las columnas del gráfico indican que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las temperaturas.

En la Figura 16 se muestran los resultados de la capacidad de absorción de aceite del almidón de papa a temperatura ambiente, 50 y 80 °C (1.3, 1.4 y 2.1 g aceite/g muestra respectivamente), en donde se puede observar que no hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre las temperaturas respecto a la capacidad de absorción de aceite, por lo tanto, se determinó reportar esta propiedad funcional de los tres almidones a temperatura ambiente (25 °C aproximadamente).

#### 6.2.3.4 Almidones de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle

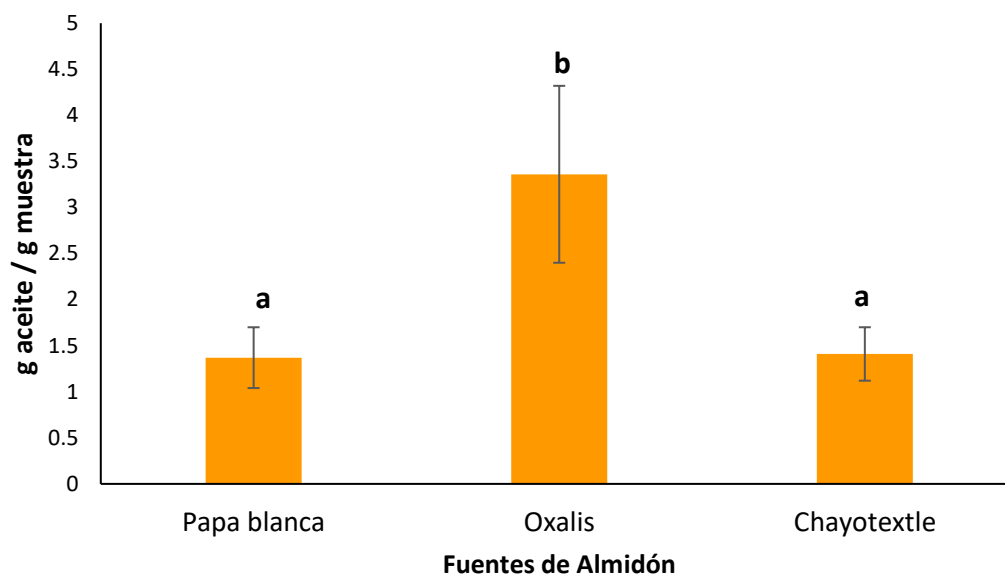


Figura 17. Gráfico de la capacidad de absorción de aceite para Almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle a temperatura ambiente.

Los sobreíndices (a, b) en las columnas del gráfico indican las diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las fuentes de almidón.

En la Figura 17 se muestran los resultados de la capacidad de absorción de aceite de los almidones de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle a temperatura ambiente (25 °C aproximadamente), donde se puede observar que no hubo diferencias significativas ( $p \geq 0.05$ ) entre los almidones de papa y chayotextle (1.4 g aceite/g muestra), mientras que el almidón de *Oxalis tuberosa* si presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con un valor de 3.3 g aceite/g muestra.

Ali y col., (2016) determinaron la capacidad de absorción de aceite en almidones de arroz y de maíz donde reportan valores promedio de  $1.0 \pm 0.03$  g aceite /g muestra, estos datos son inferiores a los reportados en el presente estudio. Por otro lado Wani y col., (2015) evaluaron la capacidad de absorción de aceite en almidón de tubérculo (*Sagittaria sagittifolia*) donde

reportan valores de 1.8 g aceite/g muestra, cuyos datos son similares a los reportados para papa y chayotextle pero a su vez inferiores a *Oxalis tuberosa*.

La capacidad de absorción de aceite es una importante propiedad funcional que en alimentos ayuda a mejorar la sensación en la boca y la retención del sabor, mejora la palatabilidad y extiende la vida útil de los productos de panadería o productos cárnicos cuando se desean absorciones de grasa; además la mejora que proporciona la capacidad de absorción de aceite se ha atribuido a las propiedades hidrofóbicas mejoradas de las proteínas y un mayor rendimiento de unión a moléculas de grasa de las cadenas laterales de los aminoácidos no polares. Por otro lado se puede inferir que una baja capacidad de absorción de aceite puede deberse al envolvimiento de residuos no polares que se encuentran en el interior de las moléculas de proteína, también se ha reportado que las estructuras físicas y estructurales de harinas cocidas y crudas parecen no cambiar considerablemente en cuanto a su porosidad, por lo que no inducen a un mayor atrapamiento de la grasa (Kinsella y Melachouris, 1976; Aremu y col., 2007).

## 6.2.4 Índice de Solubilidad

### 6.2.4.1 Harinas de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle

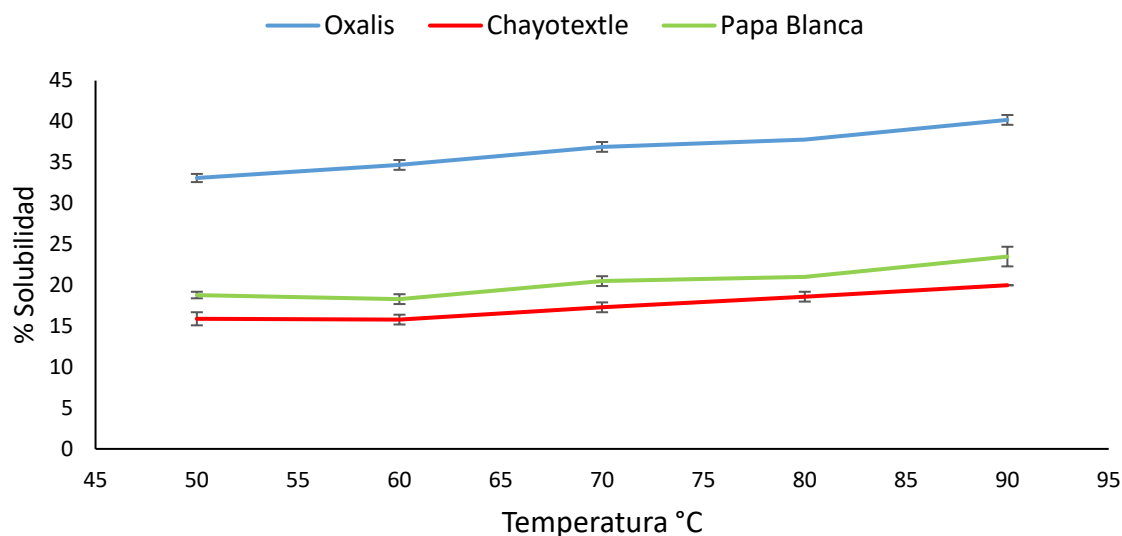


Figura 18. Gráfico del índice de solubilidad en harinas de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle.

En la Figura 18 se muestran los resultados del índice de solubilidad de las harinas de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle donde podemos apreciar de forma general que chayotextle y papa tuvieron un comportamiento similar, notando además que la harina de chayotextle presentó la menor solubilización, por el contrario la *Oxalis tuberosa* mantuvo durante toda la prueba una diferencia de un poco más de 10 unidades con respecto a la harina de papa, por lo tanto *Oxalis tuberosa* demostró claramente tener la mayor capacidad de solubilización, cabe mencionar que durante toda la prueba las tres muestras presentaron diferencias significativas.

Observando la gráfica se aprecia que a 50 °C ya hubo componentes que se solubilizaron en el medio acuoso en las tres harinas, ya que chayotextle comenzó un valor del  $15.9 \pm 0.8\%$ , mientras que papa  $18.8 \pm 0.4\%$  y la harina de *Oxalis tuberosa* resultó con el valor inicial de solubilidad más alto  $33.1 \pm 0.5\%$  aproximadamente, luego a 60 °C tanto la harina de chayotextle como la de papa mantuvieron sus porcentajes sin cambios significativos de solubilidad ( $15.8 \pm 0.6$  y  $18.3 \pm 0.6\%$  respectivamente), mientras que la de *Oxalis tuberosa*

lo incrementó significativamente al  $34.7 \pm 0.6\%$ , posteriormente a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  las tres muestras incrementaron su valores de solubilización de forma significativa con valores de  $20.5 \pm 0.6$ ,  $17.3 \pm 0.6$  y  $36.9 \pm 0.6\%$  para papa, chayotextle y *Oxalis tuberosa* respectivamente, finalmente de los  $80$  a los  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  se puede ver como las tres muestras continúan con la tendencia positiva de solubilización, apreciando que la harina con más compuestos solubles fue la *Oxalis tuberosa*, ya que a los  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  alcanzó una solubilidad de  $40.2\%$ , por el contrario para el caso de chayotextle se observa que en la última etapa fue la muestra más estable, ya que presentó la solubilización más pobre con un valor final de  $20\%$

Waramboi y col., (2011) analizaron el índice de solubilidad de harinas de camote dulce donde reportan valores que oscilaron entre  $10\text{-}30\%$ , mismos que son similares a los reportados. Además, Chancelle y col., (2014) analizaron el índice de solubilidad a partir de harinas de tres variedades de camote dulce, donde reportan valores de  $16.6 \pm 0.1\%$ ,  $20.8 \pm 0.1\%$  y  $20.8 \pm 0.8\%$ , datos que se encuentran dentro de los parámetros mostrados en el presente estudio.

#### 6.2.4.2 Almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle

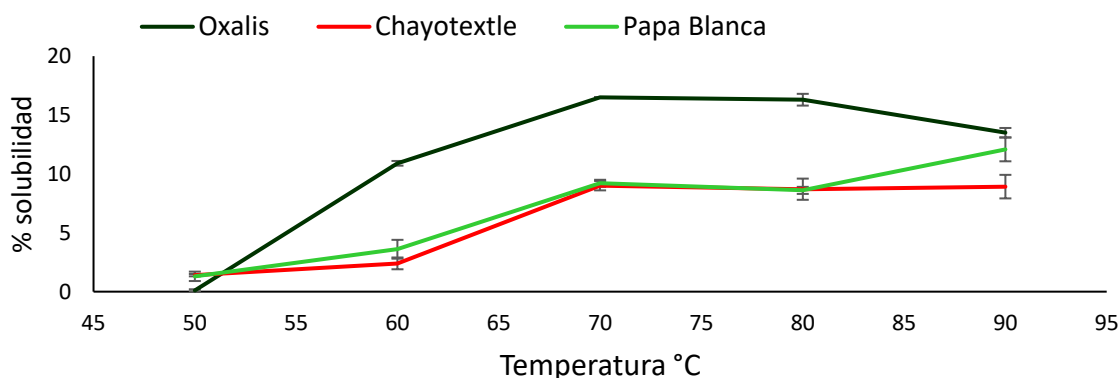


Figura 19. Gráfico del Índice de solubilidad en Almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa*, y Chayotextle.

En la Figura 19 se muestran los resultados del índice de solubilidad de los almidones de papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle en donde se aprecia de manera general que las muestras de papa y chayotextle siguieron un comportamiento similar de  $50$  a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sin embargo el almidón de *Oxalis tuberosa* fue significativamente diferente a los otros dos hasta los  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

ya que en la última etapa de la prueba (90 °C) no hubo diferencias entre este último y el almidón de papa.

En base a los resultados obtenidos se puede observar que a 50 °C los almidones de chayotextle y papa solubilizaron apenas en  $1.4 \pm 0.1$  y  $1.3 \pm 0.4\%$ , mientras que el índice de solubilidad de *Oxalis tuberosa* fue prácticamente nulo, posteriormente a 60 °C se aprecia que entre las muestras de chayotextle y papa no hubo diferencias significativas mostrando un comportamiento similar con valores de  $2.4 \pm 0.5$  y  $3.6 \pm 0.8\%$  respectivamente, sin embargo el almidón de *Oxalis tuberosa* incrementó significativamente su solubilización a  $10.9 \pm 0.2\%$  en este lapso, continuando se ve también que a 70 °C los almidones de chayotextle y papa incrementaron su solubilidad a  $9.0 \pm 0.4$  y  $9.2 \pm 0.3 \%$  por lo que estadísticamente no hubo diferencias entre ellos, en cuanto a *Oxalis tuberosa* se aprecia como intensifica su índice de solubilidad hasta el  $16.5 \pm 0.0\%$ , siguiendo con el barrido de temperatura, a 80 °C se distingue como *Oxalis tuberosa* se mantiene en ese pico de solubilización ( $16.3 \pm 0.5\%$ ) ya que no presenta cambios significativos en este lapso, de igual forma papa y chayotextle se mantuvieron sin cambios significativos con valores de  $8.6 \pm 0.3$  y  $8.7 \pm 0.3\%$  respectivamente. Finalmente a 90 °C estadísticamente los almidones de papa y *Oxalis tuberosa* presentan el mismo índice de solubilidad ( $12.08 \pm 1.01$  y  $13.5 \pm 0.4\%$ ) siendo las muestras que más componentes solubilizaron, de manera contraria el chayotextle presentó el índice de solubilidad más bajo con un valor final de  $8.92 \pm 1.0\%$

Miao y col., (2009) evaluaron el índice de solubilidad de almidones de arroz y garbanzos, y reportan índices de  $13.72 \pm 0.82$  y  $14.50 \pm 0.71\%$  respectivamente, datos que se encuentran dentro de los parámetros que se reportan en este trabajo. Además Cáceres y col., 2012 caracterizaron almidones de papa variedad Phureja donde reportan índices de solubilidad con valores que variaron entre 9.3-23.3%, siendo valores similares a los reportados.

Cuando el almidón es calentado en presencia de agua los gránulos hinchan y absorben agua, y una parte del almidón es disuelto en el medio acuoso, la capacidad de absorción de agua y el índice de solubilidad dependen en gran medida del grado de entrecruzamiento químico dentro de los gránulos, la presencia de compuestos no amiláceos tales como lípidos, o

fosfatos pueden afectar también la capacidad de absorción de agua; así también se ha reportado que algunas de las variables que afectan este índice son la temperatura, la presencia de ésteres de fosfato, enlaces intermoleculares, cristalinidad y contenido de amilosa y amilopectina (Niba y col., 2002).

El índice de solubilidad es importante en el rendimiento de los productos alimenticios, ya que la consistencia, el cuerpo, y la retención de sustancias solubles en agua afectan la calidad de los mismos (Tian y col., 1991).

En base a los resultados obtenidos a través de las gráficas; se puede observar claramente que la fibra juega un papel importante en el índice de solubilidad; ya que en la gráfica de los almidones a los 50 °C prácticamente no hay componentes solubles, mientras que a la misma temperatura en el gráfico de las harinas se observa un índice de solubilidad entre 15-34%, además que de manera general en términos porcentuales, el índice de solubilidad de las harinas resultó mucho mayor (Cáceres y col., 2012).

## 6.2.5 Propiedades Térmicas (Calorimetría Diferencial de Barrido)

### 6.2.5.1 Harinas de Papa, Oxalis tuberosa y Chayotextle

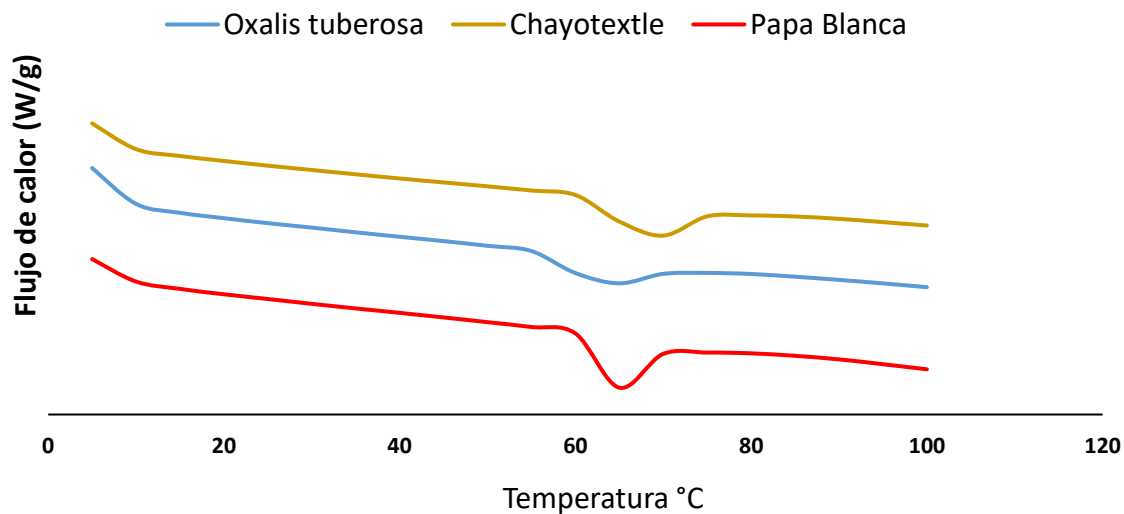


Figura 20. Termogramas (DSC) de Harinas de Papa, Oxalis tuberosa, y Chayotextle.



En la Figura 20 se observan los termogramas de las tres harinas evaluadas, donde se puede observar que durante el calentamiento las tres harinas exhibieron sólo una transición endotérmica entre los 50-80 °C, por la forma de las curvas podemos afirmar que las tres muestras presentan los picos característicos resultado de un proceso de gelatinización. Además, se puede observar que en cuanto a la temperatura inicial la que presentó el menor valor fue la harina de *Oxalis tuberosa* (58.2 °C) con respecto a las otras harinas evaluadas; también se observa que la harina de *Oxalis tuberosa* presentó un pico más ancho lo que puede ser debido a diversidad en forma, tamaño y orientación de las estructuras cristalinas, por el contrario la harina con el pico más estrecho y definido fue chayotextle lo que implica lo que podría ser atribuido a una interacción más fuerte en sus dobles hélices, así como a la homogeneidad de la forma y tamaño de sus estructuras cristalinas, lo anterior puede ser corroborado por los trabajos previos de otros autores y por los resultados de las entalpías de las tres muestras, ya que chayotextle fue la que mayor entalpía registró.

Cooke y Guidley, (1992) reportan que estas diferencias en las temperaturas de gelatinización pueden deberse a una variada presencia de regiones cristalinas, los cuales tienen una estabilidad diversa dentro de los dominios cristalinos, mientras que las diferencias en las entalpías son debidas principalmente a la interrupción de las dobles hélices. En el presente trabajo de investigación el agua no fue un factor limitante ya que las muestras fueron rehidratadas con un exceso de agua en charolas para DSC.

El calentamiento del almidón en presencia de agua da como resultado la interrupción de estructuras ordenadas. Este proceso es frecuentemente estudiado a través de calorimetría diferencial de barrido (DSC). Usando esta técnica una muestra es calentada a una velocidad definida y los cambios en la capacidad de calor se miden como una función de la temperatura. Se ha demostrado que la interrupción de estructuras ordenadas dentro de los gránulos son caracterizados por un proceso endotérmico que a menudo es llamado transición de orden-desorden, Donovan, 1979; French, 1994; Blanshard, 1987; Cooke y Gidley, 1992; Zobel y Stephen, 1995. También se ha demostrado que el carácter de esta transición depende en gran medida del contenido de agua que posea la muestra, Donovan, 1979, Bialiaderis y col., 1980; Eliasson, 1980, Colonna y col., 1987; Svensson y Eliasson, 1995.

Los picos de los termogramas de fusión y gelatinización son muy diferentes, picos endotérmicos muy anchos con una temperatura máxima que es fuertemente dependiente del contenido de humedad de la muestra, son características del proceso de gelatinización, mientras que la fusión produce picos endotérmicos grandes y relativamente estrechos que generalmente se cree que representan la transición cooperativa del primer orden Donovan, 1979; Zobel y Stephen, 1995. No hay dependencia obvia de temperatura máxima con el contenido de agua en la gelatinización, Colonna y col., 1987.

Según el contenido de agua, la interrupción de estructuras ordenadas en una muestra que contenga almidón puede seguir dos mecanismos diferentes. Estos dos mecanismos son usualmente llamados de fusión y gelatinización. La fusión ocurre en las siguientes condiciones; cuando hay bajo contenido de humedad (menos del 30% de agua p/p para la mayoría de los almidones), en altas temperaturas (a más de 90 °C generalmente); y cuando no hay agua libre en el sistema, mientras que la gelatinización ocurre en un exceso de agua (más del 70% de agua p/p), a bajas temperaturas (entre 50-70 °C) y cuando hay un exceso de agua libre en el sistema, ambos procesos ocurren cuando los almidones son calentados en contenidos intermedios de humedad (entre el 30% y 70% de contenido de humedad), Evans y Haisman, 1982; Blanshard, 1987.

French, 1984 reporta que los gránulos de almidón se hinchan hasta un grado limitado en el exceso de agua y que esta inflamación es reversible, sin embargo Donovan, 1979 indica que los cambios significativos ocurren en la parte amorfa, en esta etapa de calentamiento, se desestabilizan los cristalitos hasta que a una cierta temperatura, la interrupción de la estructura cristalina se produce seguido por una hinchazón más grande e irreversible de los gránulos para completar el proceso de gelatinización.

Por otra parte Flory, 1953 sugirió la teoría que relaciona el efecto de que la temperatura de fusión de los polímeros cristalinos se aumenta conforme se incrementa el contenido del diluyente, dicha teoría basada sobre equilibrios termodinámicos, así también reportó que la interrupción del acomodo estructural de los cristalitos es un proceso esencialmente irreversible, cabe mencionar que la teoría de Flory solo se puede utilizar para describir la

interrupción estructural inicial por efecto de la temperatura (60-70°C). Por otro lado, el proceso de gelatinización ocurre en condiciones de exceso de agua; cuando los gránulos de almidón se hinchan a un nivel de equilibrio y los cambios en la cantidad de agua exterior no afectan la composición del gránulo, por lo tanto la temperatura inicial de gelatinización debe ser independiente de la proporción de agua en la suspensión de almidón.

Wang y col., 1998 reportan que la gelatinización es acompañada por un largo hinchamiento del gránulo, sin embargo, esto no ocurre durante el proceso de fusión, por lo que se puede sugerir que este comportamiento de hinchamiento es la razón principal de las diferencias en el progreso de los procesos de fusión y de gelatinización.

Tabla 9. Valores de Temperatura pico y Entalpías de Harinas de Papa blanca, *Oxalis tuberosa*, y Chayotextle.

Fuente		$T_{\text{pico}}$ °C	$\Delta H$ J/g
Harinas	Papa Blanca	$64.4 \pm 0.1^b$	$9.32 \pm 0.7^b$
	<i>Oxalis tuberosa</i>	$61.9 \pm 0.2^a$	$7.20 \pm 0.6^a$
	Chayotextle	$67.3 \pm 0.4^c$	$11.54 \pm 0.6^c$

Los sobreíndices <sup>a,b,c</sup> en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras,  $\pm$  Indica la desviación estándar entre las muestras.

En la Tabla 8 se presentan las temperaturas pico ( $T_p$ ) y las Entalpías ( $\Delta H$ ) de las harinas de Papa, *Oxalis tuberosa* y chayotextle, como puede observarse hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en ambos parámetros. En lo que se refiere a la  $T_p$ , a menudo referida como temperatura de gelatinización; se observó el valor más alto para la harina de chayotextle con  $67.3 \pm 0.4$  °C, para papa  $64.4 \pm 0.1$  °C; y la más baja fue para *Oxalis tuberosa* con  $61.9 \pm 0.2$  °C. Así también se presentan las diferencias significativas para las entalpías, como se observa la mayor fue para la harina de chayotextle con un valor de  $11.54 \pm 0.6$ , luego papa con un valor de  $9.32 \pm 0.7$  y finalmente la más baja de  $7.20 \pm 0.6$  J/g, para *Oxalis tuberosa*.

Sopade y col., 2011 analizaron las propiedades térmicas de harinas de camote dulce de diferentes variedades en las que reportan valores similares de temperaturas de gelatinización con 68-71 °C y entalpías de 5.5- 14 J/g. Así también Kaur y Singh, 2005 reportaron temperaturas pico que oscilaron entre 70.6-73.3 °C para harinas de Kabuli de la India y Desi que resultan superiores a las presentadas en el presente estudio.

Iturriaga y col., 2004 reportan que la presencia de zonas cristalinas aumenta la cantidad de energía térmica requerida para iniciar la gelatinización del almidón, mientras que las zonas amorfas la reducen. Por lo tanto, valores altos de entalpías indican que se requieren temperaturas más altas para gelatinizarse, o dicho de otra manera; se necesita mayor cantidad de energía para desordenar las estructuras, lo que supone mayor presencia de regiones cristalinas térmica y estructuralmente más estables.

#### 6.2.5.2 Almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa* y Chayotextle

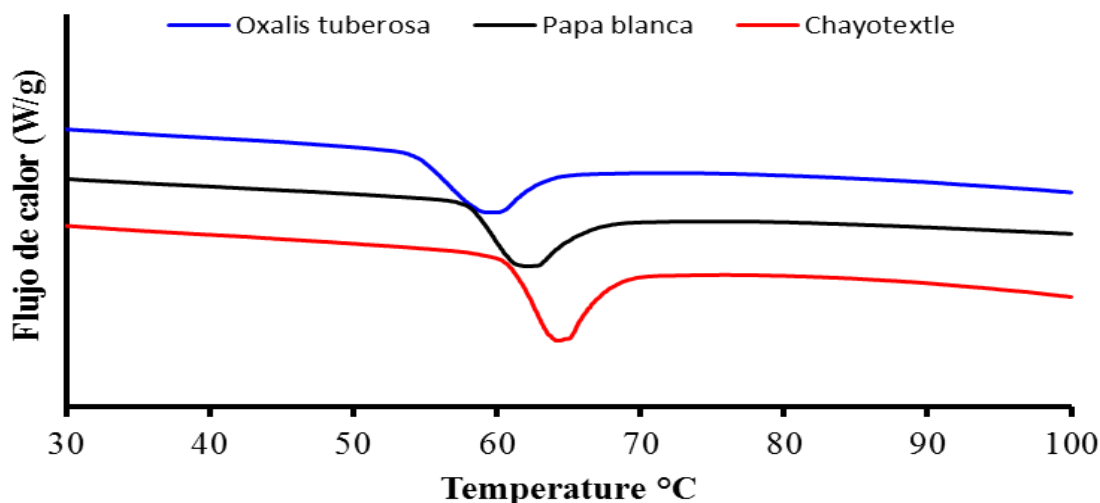


Figura 21. Gráfico de las propiedades térmicas de Almidones de Papa blancas, *Oxalis tuberosa*, y Chayotextle.

En la Figura 21 se presentan los termogramas de los almidones papa blanca, *Oxalis tuberosa* y chayotextle en la que se observa que durante el calentamiento los tres almidones presentaron sólo una transición endotérmica entre los 45-65 °C exhibiendo curvas típicas de

gelatinización; en base al gráfico se puede distinguir de forma clara que el almidón de *Oxalis tuberosa* es el más sensible al calor ya que presentó la temperatura inicial más baja (54.7 °C), así también se aprecia que cuando *Oxalis tuberosa* alcanza su temperatura pico (59.1 °C), el almidón de papa comienza su transición endotérmica con una temperatura inicial de 58.5 °C, ocurriendo lo mismo con respecto al almidón de chayotextle, ya que cuando registró su temperatura inicial (61.3 °C) el almidón de papa alcanzó su temperatura pico (62 °C), concluyendo que chayotextle demostró la mayor estabilidad térmica, ya que así también lo indican los resultados de entalpías y lo han reportado otros autores en trabajos previos.

La diferencia que se puede observar en los termogramas con respecto a la gelatinización y por lo tanto a la entalpía es en gran medida influenciada por varios factores tales como el agua disponible, contenido de amilosa, presencia de azúcares, grado de cristalinidad, tamaño de gránulo y la interacción entre componentes amiláceos y no amiláceos (Gidley y Bulpin, 1989). En el presente trabajo de investigación el agua no fue un factor limitante porque los almidones fueron rehidratados en charolas para DSC.

La curva de calorimetría diferencial de barrido que describe el proceso de gelatinización muestra que hay cambios bruscos en la absorción de calor, los cuales son normalmente descritos como cambios en la entalpía ( $\Delta H$ ). La entalpía está relacionada con los cambios de energía libre de un sistema ( $\Delta G$ ), estos cambios de entalpía han sido discutidos por numerosos autores en los que concluyen que esto tiene sólo un componente que es la alteración de todo el sistema en su conjunto. Sin embargo, el cambio de energía libre durante el proceso de gelatinización puede ser representada como la suma de las energías requeridas para interrumpir los diferentes tipos de estructuras ordenadas y las necesarias para la hinchazón; por lo tanto, el cambio en la energía libre de una población de gránulos de almidón durante el calentamiento puede incluir la suma  $\Delta G_1$ ,  $\Delta G_2$ ,  $\Delta G_3$  y  $\Delta G_4$ , donde  $\Delta G_1$  es el cambio de energía libre de la interrupción del orden cristalino dentro de los gránulos;  $\Delta G_2$  es el cambio de energía libre de la interrupción de las dobles hélices dentro de los gránulos;  $\Delta G_3$  es el cambio de energía libre después de una perturbación de las interacciones que implican las partes amorfas de los gránulos; y  $\Delta G_4$  el cambio de energía libre durante el hinchamiento. Además se agrega que algunos de los 4 componentes de  $\Delta G$  descritos anteriormente pueden

hacer contribuciones más grandes y algunos de ellos pueden ser influenciados por las condiciones del proceso, por ejemplo; la concentración y la velocidad de calentamiento, así que finalmente; la entalpía puede ser fuertemente influenciada por los parámetros estructurales de los gránulos así como los parámetros del proceso de hinchamiento (Wang y col., 1998).

La gelatinización está relacionada con los picos endotérmicos observados en los estudios de DSC anteriormente mostrados, es evidente, por lo tanto, que la hinchazón reversible inicial del gránulo que se produce de forma relativamente lenta, es una parte importante del proceso de gelatinización, si el calentamiento ocurre demasiado rápido ocurren problemas de sobrecalentamiento y el proceso se condensa de manera que las etapas individuales no se pueden completar. Por analogía, si se calienta un pastel demasiado rápido, se quemará en lugar de hornear, Shiotsubo 1984; Davydova y col., 1995.

De acuerdo a lo reportado por Tester, 1997 las propiedades de gelatinización se ven afectadas en gran medida por la estructura molecular de la amilopectina, la proporción amilosa/amilopectina y el grado de los complejos lipídicos con la cadena de amilosa. Por otro lado, estudios anteriores de Hoover y Sosulski, 1991 indican que el almidón de papa contiene proporciones insignificantes de lípidos y que este almidón posee gránulos largos y con menos estructura granular compacta.

Tabla 10. Valores de Temperatura pico (T pico) y Entalpías ( $\Delta H$ ) de almidones de Papa blanca, *Oxalis tuberosa*, y Chayotextle.

	Fuente	T pico °C	$\Delta H$ J/g
Almidones	Papa Blanca	62.0 ± 0.1 <sup>b</sup>	13.73 ± 0.23 <sup>a</sup>
	<i>Oxalis tuberosa</i>	59.1 ± 0.1 <sup>a</sup>	14.13 ± 1.01 <sup>a</sup>
	Chayotextle	64.3 ± 0.2 <sup>c</sup>	15.61 ± 0.85 <sup>a</sup>

Los sobreíndices <sup>a,b,c</sup> en las columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las muestras,  $\pm$  Indica la desviación estándar entre las muestras.

En la Tabla 9 se presentan los valores de las temperaturas pico (T pico) y entalpías ( $\Delta H$ ) de los almidones evaluados, como podemos observar, el valor más alto tanto de temperatura pico como de entalpía fue para el almidón de chayotextle con valores de  $64.3 \pm 0.2$  °C y  $15.61 \pm 0.85$  J/g respectivamente, mientras que *Oxalis tuberosa* y papa tuvieron la temperatura pico y entalpía más baja respectivamente con  $59.1 \pm 0.1$  °C y  $13.73 \pm 0.23$  J/g respectivamente. Finalmente la temperatura pico y entalpía intermedia fue para papa y *Oxalis tuberosa* con valores de  $62 \pm 0.1$  °C y  $14.13 \pm 1.01$  J/g respectivamente. Así mismo estos resultados nos indican que las temperaturas pico de los tres almidones fueron diferentes significativamente ( $p \leq 0.05$ ), mientras que para las entalpías no hubo diferencias significativas, es decir, estadísticamente se requirió la misma cantidad de energía para desorganizar el sistema de las tres fuentes de almidón.

Joshi y col., 2013 evaluaron las propiedades térmicas de los almidones de lenteja, maíz y papa en los que reportan que entre las muestras de almidón; el de maíz tuvo la temperatura pico más alta (73.80 °C) mientras que el de papa tuvo la más baja (65.65 °C) y finalmente el almidón de lenteja con una temperatura pico intermedia (68.32 °C). Cómo podemos ver el resultado de estos autores en cuanto al almidón de papa es similar a los que se reportan en el presente trabajo. Por otro lado Sanjeeva y col., 2010 evaluaron las propiedades térmicas de harina de chícharo en la cual reportan temperaturas pico que oscilaron entre los 63.9-65.4 °C

las cuales resultaron similares a las reportadas en el presente estudio; así también reportan entalpías de entre 0.78-1.49 J/g las cuales son mucho más bajas que las reportadas en el presente estudio. Finalmente Miao y col., 2012 analizaron las propiedades térmicas de harina de *C. auriculatum Royle* en las que reportan diferencias significativas tanto para las temperaturas de gelatinización como para las entalpías; estos autores reportan temperaturas de gelatinización que oscilaron entre los 52.39-56 °C y entalpías entre 6.61-14.72 J/g, estos valores reportados resultan similares a los del presente estudio.

Noda y col., (1998) indican que la temperatura de gelatinización puede ser afectada por algunos factores como la estructura de la amilopectina (perfección y ordenamiento de los cristallitos, longitud de las cadenas A de la amilopectina, grado de ramificación y peso molecular), la composición del almidón (relación amilosa/amilopectina y complejos lipídicos en las cadenas de amilosa), y la arquitectura granular (proporción de regiones cristalinas y amorfas).

Así también López y col., (2008) reportan que la entalpía asociada con la gelatinización gránulo se debe tanto a la fusión de los cristales de amilopectina como de la separación de las dobles hélices, ya que la amilopectina primero existe en forma cristalina dentro del gránulo; lo anterior indica que la entalpía de gelatinización depende en gran medida de la magnitud de los cristales, fracción que a su vez depende de la composición del almidón en cuanto a la relación amilosa/amilopectina.



## 7 CONCLUSIONES

- El análisis químico proximal mostró que para las harinas de papa y *Oxalis tuberosa* no hubo diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en cuanto a los resultados de cenizas y fibra cruda, en cuanto a los almidones, *Oxalis tuberosa* y chayotextle no presentaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en el contenido de grasa, al igual que para el contenido de proteína en las tres muestras. Además, el bajo contenido tanto de proteína como de cenizas nos indican que los almidones fueron aislados correctamente, y con la pureza adecuada, sin embargo el contenido de humedad en algunos casos rebasó el 10% tanto en harinas como en almidones, lo que se tendría que considerar para los términos de almacenamiento. De manera general se observó que las harinas y los almidones se encuentran dentro de los parámetros que han reportado otros autores a base de tubérculos.
- Los parámetros de color en el campo CIE  $L, a, b$  variaron tanto en almidones como en harinas, donde se observó que la harina más opaca y con tendencia a los tonos rojizos fue la *Oxalis tuberosa* debido a la pigmentación de su cáscara, mientras que las harinas de papa y chayotextle presentaron colores más claros, por lo tanto se pueden utilizar como ingredientes funcionales donde se deseen colores marrones y dorados en ciertos productos como los de panadería y galletería. Correspondiente a los almidones estos exhibieron un grado de blancura característico, lo que indica que fueron aislados correctamente, por lo que se pueden utilizar como ingredientes en formulaciones donde no se desee alterar el color.
- En cuanto a los resultados obtenidos de la densidad aparente se pudo apreciar que no hubo diferencias estadísticas entre los volúmenes de harinas y almidones, por lo que como producto final, no tienen inconvenientes industriales en su empaque y embalaje.

- La microscopía electrónica de barrido reveló que las tres harinas fueron diferentes en sus características granulares, destacando que la harina de *Oxalis tuberosa* tiende a formar “aglomerados”, lo que se pudo corroborar con la distribución de tamaño de partícula. Por su parte los almidones presentaron formas, esféricas, alargadas y poligonales, donde la muestra de chayotextle mostró los gránulos más pequeños y papa los más grandes como lo han reportado otros autores. Además se pudo apreciar que los gránulos presentaron superficies limpias (sin restos de fibras o proteínas), lisas, sin poros y sin fracturas, lo que indica que el proceso de molido y tamizado no dañó a los gránulos.
- Los resultados obtenidos de capacidad antioxidante fueron similares a los reportados por otros autores en tubérculos como yuca, papa, ñame, taro y papa, lo que confirma que estas fuentes no convencionales, particularmente la *Oxalis tuberosa* presentó la mayor capacidad antioxidante, por lo tanto presenta ventajas en términos antioxidantes al ser incorporada en formulaciones alimenticias.
- En lo que respecta a la absorción de agua, la tendencia más hidrofílica tanto en almidones como en harinas la presentó el chayotextle, lo que lo convierte en buen ingrediente para procesos industriales donde involucre remojo y cocción.
- En cuanto a la capacidad de absorción de aceite, las muestras de papa y chayotextle tanto en harinas como en los almidones no presentaron valores altos, lo que los hace ingredientes potenciales en productos donde no se deseen sensaciones grasas, mientras que la *Oxalis tuberosa* mostró una tendencia más lipofílica, por lo tanto sería un ingrediente ideal para productos como los empanizados y cubiertas fritas.
- En cuanto al tamaño de partícula de las harinas se pudo apreciar que las muestras de *Oxalis tuberosa* y chayotextle exhibieron una distribución bimodal, mientras que la de papa mostró una distribución trimodal bien definida. En referencia a los almidones, estos mostraron una distribución más uniforme que las harinas, igualmente se observó que el almidón de chayotextle presentó el tamaño más pequeño (2  $\mu\text{m}$ ) mientras que el de papa fue el más grande (100  $\mu\text{m}$ ) como lo han reportado otros autores. Por otro

lado se pudo comprobar que sí existe una relación directa en cuanto al tamaño de partícula y el índice de solubilidad ya que el menor tamaño fue el de chayotextle y por lo tanto el que más solubilizó.

- En referencia a las propiedades térmicas, la harina y almidón de chayotextle exhibieron la mayor estabilidad térmica y resistencia al calor, por lo que pueden ser utilizados como componente principal en los productos que necesitan ser expuestos a altas temperaturas.
- La aceptabilidad del consumidor de este tipo de productos se ve afectada por varios factores tales como el color, textura, retención de agua y aceite, así como la disponibilidad de nutrientes y efecto en la salud.
- Los resultados confirman la viabilidad de las harinas y de los almidones como ingredientes en la formulación de nuevos alimentos a base de tubérculos no convencionales; y la importancia de la variedad y el proceso de molido utilizado en sus propiedades funcionales. Además conocer las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las harinas.
- Este tipo de harinas fomentaría la aplicación en productos alimenticios donde se desea disminuir o eliminar el gluten.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Abebe, W., Collar, C., & Ronda, F. (2015). Impact of variety type and particle size distribution on starch enzymatic hydrolysis and functional properties of tef flours. *Carbohydrate Polymers*, 260-268.
- Aguilera, Y., Esteba, R., Benítez, M., Mollá, E., & Martín, C. (2009). Starch, functional properties, and microstructural characteristics in chickpea and lentil as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 10682-10688.
- Ahmed, I., Singh, D., Abas, A., & Singh, B. (2013). Physico-chemical and functional properties of flours from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Food Science and Technology*, 278-284.
- Ahmed, M., Akter, M., & Eun, J. (2010). Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour. *Food Chemistry*, 112-118.
- Akubor, P. (2007). Chemical, functional and cookie baking properties of soy bean/maize flour blends. *Journal of Food Science Technology*, 198-204.
- Ali, A., Wani, T., Wani, I., & Masoodi, F. (2016). Comparative study of the physico-chemical properties of rice and corn starches grown in Indian temperate climate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 75-82.
- Anderson, L., & Wolf, J. (1995). Compositional changes in trypsin inhibitor, phytic acid, saponins and isoflavones related to soya bean processing. *Journal of Nutrition*, 5815-5885.
- Aremu, M., Olaofe, O., & Akintayo, E. (2007). Functional properties of some Nigerian varieties of legume seed flours and flour concentration effect on foaming and gelation properties. *Food Technol*, 109-115.
- BeMiller, J., & Whistler, R. (2009). *Starch, Chemistry and Technology*. New York: Food Science and Technology, Internacioonal Series.
- Beynum, G., & Roels, J. (1985). *Starch conversion technology*. Nueva York: Mercel-Dekker.
- Biliaderis, C., & Seneviratne, H. D. (1990). On the supermolecular structure and metastability of glycerol monostearate-amylose complex. *Carbohydrate Polymers*, 185-206.
- Biliaderis, C., Maurice, T., & Vose, J. (1980 ). Starch gelatinization phenomena studied by diVerential scanning calorimetry. *Journal of Food Science* , 1669-1674.

- Bird, A., Brown, I., & Topping, D. (2000). Starches, resistant starches, the gut microflora and human health. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 25-37.
- Blanshard, J. (1987). *Starch granule structure and function: a physicochemical approach*. . New York: Starch.
- Blennow, A., Engelsens, S., Nielsen, T., Baunsgaard, L., & Mikkelsen, R. (2002). Starch phosphorylation: A new front line in starch research. . *Trends in Plant Science*, 445-450.
- Bouville, B. (2007). *Sweetpotato: A review of its past, present and future role in human nutrition*. California: Elsevier Academic Press. .
- Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V., & Ball, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. . *International Journal of Biological Macromolecules*, 85-112.
- Burlingame, B., Charrondiere, U., & Mouillé, B. (2009). Food composition is fundamental to the cross-cutting initiative on biodiversity for food and nutrition. . *Food Compos*, 361-365.
- Burrel, M. (2003). Starch: the need for improved quality and quantity an overview. *Journal of Experimental Botany*, 451-456.
- Cáceres, M., Mestres, C., Pons, B., Gibert, O., Amoros, W., & Salas, E. (2012). Physico-chemical characterization of starches extracted from potatoes of the group Phureja. *Starch/Sta*, 621-630.
- Cairns, P., Bogracheva, T., Ring, S., Hedley, C., & Morris, V. (1997). Determination of the polymorphic composition of smooth pea starch. . *Carbohydrate Polymers* , 275-82.
- Cameron, R., & Donald, M. (1993). *Carbohydrate Research*, 225-244.
- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W., & Cisneros, Z. (2006). Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of andean tuber crops: Native potato (*Solanum* sp.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón), oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ullucu (*Ullucus tuberosum*). . *Journal of the Science of Food and Agricultural* , 1481-1488.
- Chancelle, B., Jeremy, P., Claire, G., & Jean, N. (2014). Impact of Thermal and Chemical Pretreatments on Physicochemical, Rheological, and Functional Properties of Sweet Potato (*Ipomea batatas* Lam) Flour. *Food Bioprocess Technol* , 3618–3628.
- Charrondiere, U., Stadlmayr, B., Rittenschober, D., Mouille, B., Nilson, E., Medhammar, E., . . . Eisenwagen, S. (2013). FAO/INFOODS food composition database for biodiversity . *Food Chemistry* , 408-412.
- Chen, W., Zhou, H., Yang, H., & Cui, M. (2015). Effects of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch. *Food Chemistry*, 180-184.

- Chen, X., Li, X., Mao, X. H., Miao, J., & Gao, W. (2016). Study on the effects of different drying methods on physicochemical digestibility of *Fritillaria thunbergii* Miq. (Zhebeimu). *Food and Bioproducts Processing*, 266-274.
- Chirinos, R. P., & Humán, A. C. (2009). HPLC-DAD characterisation of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 1243-1251.
- Chojecki, A., Gale, M., & Byliss, M. (1986). The number and size classes of starch granules in the wheat endosperm, and their association with grain weight. . *Annals of Botany*, 819-831.
- Collins, J., & Pangloli, P. (1997). Chemical, physical and sensory attributes of noodles with added sweet potato and soy flour. *Journal of Food Science*, 622-625.
- Colonna, P., Buleon, A., & Mercier, C. (1987). *Physically modified starches*. New York: Starch.
- Cone, J., & Wolters, G. (1990). Some properties and degradability of isolated starch granules. *Starch/Stärke*, 298-301.
- Cooke, D., & Gidley, M. (1992). Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization: origin of the enthalpic transition. . *Carbohydrate Research* , 103-112.
- Copeland, L. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 1527-1534.
- Council, N. R. (1989). *Lost crops of the Incas*. Washington, DC.: National Academy.
- Davydova, N., Leon´tey, S., Genin, Y., Sasov, A., & Bogracheva, T. (1995). Some physico-chemical properties of smooth pea starches. . *Carbohydrate Polymers* , 109-115.
- Debet, M., & Gidley, M. (2007). Why do gelatinized starch granules not dissolve completely? Roles for amylose, protein, and lipid in granule “ghost” integrity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 4752-4760.
- Deepak, M., & Sheta, B. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *Biological Macromolecules* , 1-6.
- Donado, P., Salgado, J., Oliveira, R., Santos, P., & Jablonsky, A. (2012). Stability of carotenoids, total phenolics and in vitro antioxidant capacity in the thermal processing of orange fleshed sweet potato. *Plant Foods for Human Nutrition*, 262-270.
- Donald, A. (2001). Plasticisation and self-assembly in starch granules. . *Cereal Chemistry*, 307-314.
- Donovan, J. (1979). Phase transitions of the starch-water system. . *Biopolymers* , 263-275.

- Dopporto, M., Dini, C., Mdgridge, A., Viña, S., & García, M. (2009). Physicochemical, thermal and sorption properties of nutritionally differentiated flours and starches. *Journal of Food Engineering*, 569-576.
- Dürüst., N. S. (1997). Ascorbic Acid and Element Contents of Foods of Trabzon (Turkey). *Food Chemistry*, 2085-2087.
- Englyst, H., Wiggins, H., & Cummins. (1982). *Analyst*.
- Evans, I., & Haisman, D. (1982). The effect of solutes on the gelatinization temperature range of potato starch. *Starch*, 224-231.
- Flores, H., Walker, T., Guimares, R., & Vivanco, J. (2003). Andean root and tuber crops: Underground rainbows. *Horticultural Science*, 161-167.
- Flory, P. (1953). *Principles of polymer chemistry*. New York: Cornell University Press.
- Franco, M., Preto, S., & Ciacco, C. (1992). Factors that affect the enzymatic degradation of natural starch granules-effect of the size of the granule. *Starch/Stärke*, 113-116.
- Fredriksson, H., Andersson, R., Koch, K., & Aman, P. (1998). The influence of amylose and amilopectin characteristics on gelatinisation and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate polymers*, 119-134.
- French, D. (1984). *Organization of starch granules*. San Diego: Starch.
- Fulton, C., Edwards, A., Hamilton, J., Rebers, P., & Smith, F. (2002). Role of granule-bound starch synthase in determination of amylopectin structure and starch granule morphology in potato. *Journal of Biological Chemistry*, 10834-10841.
- Galliard, T., & Bowler, P. (1987). *Morphology and composition of starch*. Chinchester, Wiley: Gamstenerdy.
- Ghavidel, R., & Prakash, J. (2006). Effect of germination and dehulling on functional properties of legume flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1189-1195.
- Gidley, M. (1987). Factors affecting the crystalline type (A–C) of native starches and model compounds: a rationalisation of observed effects in terms of polymorphic structures. *Carbohydrate Research*, 301-304.
- Gidley, M., & Bulpin, P. (1989). Aggregation of amylose in aqueous systems: The effect of chain length on phase behaviour and aggregation kinetics. *Macromolecules*, 341-346.
- Gorosquera, E., García, F., Flores, E., Núñez, M., González, R., & Bello, L. (2004). RENDIMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCION DE ALMIDON A PARTIR DE FRUTOS DE PLATANO (*Musa paradisiaca*). *Acta Científica Venezolana*, 86-90.

- Granito, M., Guerra, M., Torres, A., & Guinand, J. (2004). Efecto de procesamiento sobre las propiedades funcionales de Vigna sinesis. . *Interciencia*, 521-526.
- Guízar, M., Monteñez, S., & García, R. (2008). CARACTERIZACIÓN PARCIAL DE NUEVOS ALMIDONES OBTENIDOS DEL TUBERCULO DE CAMOTE DEL CERRO (*Dioscorea* spp). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 81-88.
- Gulcin., I. E. (2003). Metal chelating and hydrogen peroxide scavenging effects of melatonin. *Journal of Pineal Research*, 278-281.
- Guoquan, L., Huahong, H., & Dapeng, Z. (2006). Prediction of sweet potato starch physicochemical quality and pasting properties using near-infrared reflectance spectroscopy. . *Food Chemistry*, 632-639.
- Hedley, C., Brogacheva, t., & Wang, T. (2002). A genetic approach to studying the morphology, structure and function of starch granules using pea as a model. *Starch*, 235-242.
- Hoover, R., & Manuel, H. (1995). A comparative study of the physicochemical properties of starches from two lentil cultivars. *Food Chemistry*, 486-498.
- Hoover, R., & Sosulski, F. (1991). Composition, structure, functionality, and chem-. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 79-92.
- Huang, C. (2009). Physico-chemical, pasting and thermal properties of tuber starches as modified by guar gum and locust bean gum. . *International Journal of Food Science and Technology*, 50-57.
- Huchin, M., Cabrera, M., Estrada, R., Ríos, C., Betancur, D., Chel, L., . . . Pérez, E. (2015). Determination of some physicochemical and rheological characteristics of starch obtained from *Brosimum alicastrum* swartz seeds. *Food Hydrocolloids*, 48-54.
- Ishida, H., Sazuno, H., Sugiyama, N., Innami, S., Tadokoro, T., & Maekawa, A. (2000). Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* Poir). . *Food Chemistry*, 359-367.
- Jane, J. (2007). Structure of starch granules. *Journal of Applied Glycoscience*, , 31-36.
- Jangchud, K., Phimolsiripol, Y., & Haruthaithanansan, V. (2003). Physicochemical Properties of Sweet Potato. *Starch/Stärke*, 258-264.
- Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q., & Weber, E. (2005). Studies on tuber and root starches I. Structure and physico-chemical properties of innala (*Solenostemon*). *Food Research International*, 615-629.
- Jenkins, P., & Donald, A. (1998). Gelatinisation of starch – a combined WAXS/SAXS/DSC and SANS study. . *Carbohydrate Research*, 133-147.
- Jenkins, P., Cameron, R., & Donald, A. (1993). *Starch/starke*, 417.



- Joshi, A., Liu, C., & Sathe, S. (2015). Functional properties of select seed flours. *LWT - Food Science and Technology*, 325-331.
- Joshi, M., Aldred, P., McKnight, S., Panozzo, J., Kasapis, S., & Adhikari, R. (2013). Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. *Carbohydrate Polymers*, 1484-1496.
- Julianti, E., Rusmarilin, H., & Yusraini, E. (2015). Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean and xanthan gum. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 1-7.
- Kaur, K., & Singh, N. (2000). Amylose–lipid complex formation during cooking of rice flour. *Food Chemistry*, 511-517.
- Kaur, L., Singh, J., Mearthy, O., & Sing, H. (2007). Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering*, 383-394.
- Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional. Thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. . *Food Chemistry*, 403-411.
- Kennedy, G., & Burlingame, B. (2003). Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. . *Food Chem*, 589-596.
- Kinsella, J., & Melachouris, N. (1976). Functional properties of proteins in foods: A survey. . *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 219-280.
- Lerdluksamee, C., Srikaeo, K., Tutusaus, J., & García, J. (2013). Physicochemical properties and starch digestibility of *Scirpus grossus* flour and starch. *Carbohydrate Polymers*, 482-488.
- Linares, E., Ramírez, D., & Miranda, R. (2008). El camote. *Biodiversitas*, 11-15.
- Lindeboom, N., Chang, P., & Tyler, R. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch*, 89-99.
- Liu, Q. (2005). Understanding starches and their Role in foods. En Q. Liu, *Food Carbohydrates: Chemistry, physical properties, and applications (1st ed.)*. (págs. 309-356). S.W. CUI: Taylor & Francis Group, LLC.
- López, A., Flanagan, B., Gilbert, E., & Gidley, M. (2008). A novel approach for calculating starch crystallinity and its correlation with double helix content: A combined XRD and NMR study. *Biopolymers*, 761-768.
- Ma, Z., Boye, J., Simpson, B., Prasher, S., Monpetit, D., & Malcomson, L. (2011). Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International*, 2534-2544.

- Maki, K., Sanders, L., Reeves, M., Kaden, V., & Rains, T. (2009). Beneficial effects of resistant starch on laxation in healthy adults. *International Journal of Food Science and Nutrition*, , 296-305.
- Miao, M., Jiang, H., Cui, S., Jin, Z., & Zhang, T. (2012). Functional characteristics of starches from the root of *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wight grown in China. *Carbohydrate Polymers*, 568-575.
- Miao, M., Zhang, T., & Jiang, B. (2009). Characterisations of kabuli and desi chickpea starches cultivated in China. *Food Chemistry*, 1025-1032.
- Miller, N., & Rice, E. (1996). Spectrophotometric determination of antioxidant activity. . *Redox Report* , 161-171.
- Miller, N., Rice, E., Davies, M., & Gopinathan, V. (1993). A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. . *Clin Sci*, 407-412.
- Moo, V., Cabrera, M., Estrada, R., Ríos, C., Betancour, D., Chel, L., . . . Pérez, E. (2015). Determination of some physicochemical and rheological characteristics of starch obtained from *Brosimum alicastrum* swartz seeds. *Food Hydrocolloids*, 48-54.
- Moorthy, S. (2002). Studies on the relationship between water stured state crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. *Starch/Starke*, 407-410.
- Morell, M. K. (2005). Towards the rational design of cereal starches. *Current Opinion in Plant Biology*, 204-210.
- Morrison, W. R. (1995). Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. *Cereal Foods World*, 437-446.
- Morrone, L., Asta, C., Silvanini, A., Cirilini, M., Fabbri, A., & Ganino, T. (2015). The influence of seasonality on total fat and fatty acids profile, protein and amino acid , and antioxidant properties of traditional Italian flours from different chestnut cultivars . *Scientia Horticulturae*, 132-140.
- Mortleyl, D., Bonsi, C., Loretan, P., & Morris, C. (1994). Relative humidity influences yield, edible biomass, and linear growth rate of sweet potato. . *Hortical Science*, 609-610.
- Mugdil, D., & Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1-6.
- Niba, L., Bokanga, M., Jackson, F., & Schlimme, D. (200). Physicochemical Properties and Starch Granular Characteristics of Flour from Various *Manihot Esculenta* (Cassava) Genotypes. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE* , 1701-1705.
- Noda, T., Takahata, Y., Sato, T., Suda, I., & Morishita, T. (1998). Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the

- same botanical origin for sweet potato and buckwheat. *Carbohydrate Polymers*, 153-158.
- Ochoa, M. (27 de Octubre de 2016). El cultivo de papa en México. *El Economista*, pág. 8.
- Ospina, R. (2007). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables, el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa. *Industrialización de la papa*, 180-192.
- Ozturk, S., Koksel, H., Kahraman, K., & Perry, K. (2009). Effect of debranching and heat treatments on formation and functional properties of resistant starch from high-amylose corn starches. *Eur Food Res Technol*, 115-125.
- Peng, Z., Li, J., Guan, Y., & Zhao, G. (2013). Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours. *LWT - Food Science and Technology*, 348-355.
- Peng, Z., Li, J., Guan, Y., & Zhao, G. (2013). Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours. *LWT-FoodScience and Technology*, 348-355.
- Perry, P., & Donald, A. (2000). SANS study of the distribution of water within starch granules. *International Journal of Biological Macromolecules*, 31-39.
- Piecyk, M., Wolosiak, R., Druzynska, B., & Worobiej, E. (2012). Chemical composition and starch digestibility in flours from Polish processed legume seeds. *Food Chemistry*, 1057-1064.
- Re, R. P. (1999). ANTIOXIDANT ACTIVITY APPLYING AN IMPROVED ABTS RADICAL CATION DECOLORIZATION ASSAY. *Free Radical Biology & Medicine*, 1231-1237.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice, R. (1999). ANTIOXIDANT ACTIVITY APPLYING AN IMPROVED ABTS RADICAL CATION DECOLORIZATION ASSAY. *Free Radical Biology & Medicine*, 12231-1237.
- Reesa, D., Oirschot, V., Amour, R., Rwiza, E., Kapinga, R., Carey, & T. (2003). Cultivar variation in keeping quality of sweet potatoes Postharvest Biology and Technology. *Postharvest Biology and Technology*, 313-325.
- Riley, C. (2004). In vitro digestibility of raw starches extracted from five Yam species grown in Jamaica. *Starch/Stärke*, 69-73.
- Rodríguez, P., San Martín, M., & González, G. (2001). Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Sociedad Mexicana de Ciencias de Superficies y de Vacío*, 61-65.

- Rumboa, R., Cornago, D., & Gerónimo, I. (2009). Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties. *Food Chemistry*, , 1133-1138.
- Sanabria, G., & Filho, F. (2009). Physical–chemical and functional properties of maca root starch (*Lepidium meyenii* Walpers). *Food Chemistry*, 492-498.
- Sanjeeva, T., Wanasundara, P., Pietrasik, P., & Shand, P. (2010). Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flours and application in low-fat pork bologna as a model system. *Food Research International*, 617-626.
- Santacruz, S., Koch, K., Svensson, E., Ruales, J., & Eliasson, A. (2002). Three underutilised sources of starch from de Andean region in Ecuador. Part I. Physico-chemical characterisation. *Carbohydrate polymers*, 63-70.
- Santacruz, S., Ruales, J., & Eliasson, C. (2003). Three under-utilised sources of starch from the Andean region in Ecuador. *Carbohydrate Polymers* , 85-92.
- Serpil, O., Hamit, K., & Kevser, K. (2009). Effect of debranching and heat treatments on formation and functional properties of resistant starch from high-amylose corn starches. 115-125.
- Shahidi, F., & Wanasundara, P. (1992). Phenolic antioxidants. *Crit Rev Food Sci Nut* , 67-103.
- Shimada, K. F. (1992). Antioxidative properties of xanthium on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. . *Journal of Agricultural and Food Chemistry* , 945-948.
- Shuiotsubo, T. (1984). Gelatinization temperature of potato starch at the equilibrium state. . *Agricultural Biological Chemistry*, 1-7.
- Sing, J., MCarthy, O., & Sing, H. (2006). Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. *Carbohydrate Polymers*, 569-581.
- Singh, N. I. (2006). Structural, thermal and viscoelastic characteristics of starches separated from normal, sugary and waxy maize. . *Food Hydrocolloids*, 923-935.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, S., & Gill, S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 129-231.
- Snoch, T. (1964c). Swelling power and solubility of granular starches. . *Methods in Carbohydrate Chemistry*, 106-109.
- Sopade, P., Halley, P., & Junming, L. (2004). Gelatinization of starch in mixtures of sugars. . *Journal of Food Engineering*, 439-448.

- Sousa, S., Pinto, J., Rodrigues, S., Pereira, C., Tavora, F., Malcata, F., . . . Pacheco, M. (2015). Antioxidant properties of sterilized yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour. *Food Chemistry*, 504-509.
- Stintzing, F. H. (2005). Color, Betalain Pattern, and Antioxidant Properties of Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Clones. *Agricultural and Food Chemistry*, 442-451.
- Svensson, E., & Eliasson, A. (1995). Crystalline changes in native wheat and potato starches at intermediate water levels during gelatinization. . *Carbohydrate Polymers* , 171-176.
- Tang, C. H. (2009). Formation of soluble aggregates from insoluble commercial soy protein isolate by means of ultrasonic treatment and their gelling properties. . *Journal of Food Engineering*, 432e437.
- Tester, R. (1997). *Starch: The polysaccharide fractions*. . Cambridge: Starch structure and functionality .
- Tester, R., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. *Starch/Stärke*, 217-222.
- Tian, J., Rickard, J., & Blanshard, J. (1991). Physico-chemical properties of sweet potato starch. . *Journal of Science of Food and Agriculture*, 459-491.
- Tian, S., Rickard, J., & Blanchard, J. (1991). Physicochemical properties of sweet potato starch. *SciFood Agric*, 459-461.
- Vaclavik, V. A. (1998). *Essentials of Food Science* . Nueva York: Kluwer Academic/Plenum publisher.
- Van Hal, M. (2000). Quality of sweet potato flour during processing and storage. *Journal of Food Reviews International*, 1-37.
- Wang, T., Tanya, Y., & Hedley, C. (1998). Starch: as simple as A, B, C? *Journal of Experimental Botany* , 481-502.
- Wani, A., Wani, I., Hussain, P., Gani, A., Wani, T., & Masoodi, F. (2015). *International Journal of Biological Macromolecules*, 360-368.
- Wani, I., Sogi, D., Wani, A., & Gill, B. (2013). Physico-chemical and functional properties of flours from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *LWT - Food Science and Technology*, 278-284.
- Waramboi, J., Dennien, S., Gidley, M., & Sopade, P. (2011). Characterisation of sweetpotato from Papua New Guinea and Australia: Physicochemical, pasting and gelatinisation properties. *Food Chemistry*, 1759-1770.
- Witczak, T. Z. (2014). Effect of inulin and pectin on rheological and thermal properties of potato starch paste and gel. *Journal of Food Engineering* , 72-79.

- Wolfgang, B., Willi, W., & Hans, P. (1999). Potato starch technology. *Starch*, 235-242.
- Yadav, B., Yadav, R., Kumari, M., & Khatkar, B. (2014). Studies on suitability of wheat flour blends with sweet potato, colocasia and water chestnut flours for noodle making. *LWT - Food Science and Technology*, 352-358.
- Zhengong, C. (2003). Physicochemical Properties of Sweet Potato Starches and Their Application in Noodle Products. *Starch*, 23-28.
- Zobel, H. (1988). Starch crystal transformations and their industrial importance. *Starch/Stärke*, 1-7.
- Zobel, H., & Stephen, A. (1995). *Starch: structure, analysis and application*. New York: Food polysaccharides and their applications. .