



Universidad Central De Venezuela
Facultad De Ciencias
Escuela de Biología

*AISLAMIENTO, PURIFICACIÓN Y MODIFICACIÓN CON PULSO DE LUZ UV E
IRRADIACIÓN MICROONDA DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE OCUMO CRIOLLO
(*xanthosoma sagittifolium*) COMERCIAL.*

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. PIÑANGO NIOCHET
RHAQUEL SHARAI, como requisito
Para optar al Título Licenciada en Biología.
Tutor: Elevina Pérez

Caracas, Venezuela

Agosto del 2011.

Dedicatoria

A mi PADRE CELESTIAL por darme la capacidad, ayuda y guía necesaria para poder cumplir esta meta, a él le debo todo y por el existo, gracias por escuchar mis suplicas y por recordarme que siempre estabas presente y por enseñarme que para ti no hay nada imposible y si pongo mi confianza en ti siempre recibiré tu ayuda.

A mis PADRES (Jesús e Yraima) por sus cuidados, amor, confianza y por motivarme e impulsarme a ser una mejor persona y lograr todo lo que me proponga sin ver los obstáculos como un desafío sino como una oportunidad para aprender y progresar, los amo con todo mi corazón y estoy agradecida infinitamente por todo lo que me han dado en la vida.

A mis HERMANOS por su alegría, motivación y ayuda y por su ejemplo de seguir adelante.

A mi ESPOSO (Edwin) a quien amo más de lo que mis palabras puede expresar, gracias por estar a mi lado, por acompañarme a estudiar, aligerar mis cargas y darme alegría y animo en los momentos más necesarios.

Y a mi personita favorita, el cual es un milagro en mi vida a mi BEBÉ (Elías) y a quien profundamente amo, gracias por existir, contigo conocí el verdadero gozo y felicidad de mi vida, tú eres mi mayor logro y quiero ser un ejemplo para ti a fin de que sepas que todo es posible con trabajo y dedicación.

Acta

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Biología, para examinar el Trabajo Especial de Grado presentado por la bachiller Rhaquel Sharaii Piñango Niochet, C.I: 16.857.441 con el título de “*Aislamiento, Purificación y Modificación con Pulso de Luz UV e Irradiación Microonda del Almidón Extraído de Ocumo Criollo (xanthosoma sagittifolium) Comercial*” a fin de optar por el título de licenciada en Biología, dejando constancia de lo siguiente:

Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 4 de Agosto de 2011 a las 2:00pm; para que la bachiller defendiera en forma pública en el Auditorio del Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos de la Universidad Central de Venezuela, mediante una presentación oral de su contenido, luego de lo cual respondió las preguntas formuladas. Finalizada la defensa pública del Trabajo Especial de Grado, el jurado decidió aprobar.

En fe de lo cual se levanta la presente acta, en Caracas a los 4 días del mes de Agosto del año dos mil once, dejándose también constancia de que actuó como coordinador del jurado la profesora y Tutor Elevina Pérez.

Elevina Pérez
(Tutor)

Mary Lares
(Jurado)

Adriana Izquierd
(Jurado)

Índice de contenido

	Pág.
I. Índice de Contenido.....	i
II. Índice de Tablas.....	vi
III. Índice de Figuras.....	viii
IV. Índice de Esquemas.....	xi
V. Resumen.....	xii
1. Introducción.	1
2. Antecedentes	5
2.1 Ocumo Criollo (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>).....	5
2.1.1 Origen.....	5
2.1.2 Composición química de los almidones de ocumo Criollo (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>).....	6
2.1.3 Investigaciones sobre la utilización del ocumo criollo (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>)....	6
2.2 Almidón.....	9
2.2.1 Estructura química.....	9
2.2.2 Amilosa.....	10
2.2.3 Amilopectina.....	12
2.2.4 Arreglo estructural de amilosa y amilopectina dentro del gránulo.....	13

2.3 Propiedades fisicoquímicas del almidón.....	14
2.3.1 Gelatinización.....	14
2.3.2 Retrogradación.....	15
2.3.3 Propiedades de formación de pasta.....	15
2. 4 Almidones modificados.....	17
2.4.1 Modificación Física.....	19
2.4.2 Irradiación por microonda.....	19
2.5 Modificación por microonda.....	20
2.6 Pulso de luz.....	27
2.6.1 Trabajos realizados empleando tecnología de pulso de luz.....	32
2.6.2 Trabajos realizados empleando tecnología de luz UV aplicado en almidones.....	36
3. Objetivos.....	42
3.1 Objetivo general.....	42
3.2 Objetivo específicos.....	42
4. Materiales y Métodos.....	43
4.1 Material biológico.....	43
4.1.1 Lugar de procedencia de la materia prima.....	43
4.2 Características Morfo anatómicas (físicas y morfológicas) del tubérculo.....	43

4.3 Extracción del almidón.....	44
4.4 Caracterización del almidón	47
4.4.1 Determinación de Humedad.	47
4.4.2 Determinación del Contenido de Proteínas.	47
4.4.3 Determinación del Contenido de Grasa.	47
4.4.4 Determinación de Cenizas en Almidón.....	47
4.4.5 Determinación de la pureza del almidón.	47
4.4.6 Determinación del contenido de fósforo.	48
4.5 Determinación de los parámetros físicos y fisicoquímicos del almidón.....	48
4.6 Propiedades reológicas.	48
4.6.1 Determinación del amilograma, viscosidad y consistencia del gel.....	48
4.6.2 Determinación de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento.....	48
4.7 Propiedades físicas.	50
4.7.1 Color.	50
4.7.2 Densidad.	51
4.7.3 Granulometría.	52
4.7.4 Microscopia.	52
4.8. Modificación física del almidón de ocumo criollo (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>).....	53

4.8.1 Modificación empleando pulso de luz UV.....	53
4.8.2 Modificación por irradiación microonda.....	54
4.9 Análisis estadístico.....	55

5. Resultados Y Discusión

5.1 Determinación de los parámetros del almidón nativo del ocumo criollo (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>).	56
5.1.1 Características Morfo anatómicas (físicas y morfológicas) del tubérculo.....	56
5.1.2 Determinación de pureza del almidón nativo de ocumo criollo.....	58
5.1.3 Determinación de los parámetros físicos y fisicoquímicas del almidón nativo de ocumo criollo.....	63
5.1.4 Características morfométricas del almidón nativo de ocumo criollo.	67
5.1.4.1 Microscopia de luz polarizada del almidón nativo del ocumo criollo.....	67
5.1.4.2 Granulometrías del almidón nativo de ocumo criollo.....	70
5.1.5 Características reológicas.....	70
5.1.5.1 Viscosidad del almidón nativo de ocumo criollo con el viscosímetro de Brookfield.....	70
5.1.5.2 Análisis amilográfico del almidón nativo de ocumo criollo.....	73
5.1.6- Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón nativos de ocumo criollo.....	79

5.2 Determinación de los parámetros del almidón del ocumo criollo (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>) modificado físicamente.....	84
5.2.1 Determinación de pureza del almidón modificado de ocumo criollo en comparación con el nativo.....	84
5.2.2 Determinación de los parámetros físicos y fisicoquímicos del almidón de ocumo criollo modificado.	91
5.2.3. Características morfométricas del almidón de ocumo criollo modificado.....	97
5.2.3.1. Microscopia de luz polarizada del almidón de ocumo criollo modificado.....	97
5.2.3.2 Granulometrías del almidón de ocumo criollo modificado.....	102
5.2.4 Características reológicas.....	103
5.2.4.1 Viscosidad del almidón de ocumo criollo modificado evaluada con el viscosímetro de Brookfield.....	103
5.2.4.2 Análisis amilográfico del almidón modificado de ocumo criollo.....	106
5.2.5- Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón de ocumo criollo modificado.....	113
6. Conclusiones.....	120
7. Recomendaciones.....	122
8. Bibliografías.....	123

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Características físicas de los tubérculos de ocumo criollo.....	56
Tabla 2. Rendimiento obtenido de los tubérculos de ocumo criollo.....	58
Tabla 3. Análisis proximal y pureza del almidón nativo de ocumo criollo.....	59
Tabla 4. Características físicas y fisicoquímicas del almidón nativo de ocumo criollo.....	63
Tabla 5. Perfiles de gelatinización medidos con el viscoamilógrafo Brabender expresado en unidades Bradender (UB) del almidón nativo de ocumo criollo.....	74
Tabla 6. Valores obtenidos para el almidón nativo de ocumo criollo de los parámetros absorción de agua, porcentaje de sólidos solubles y poder de hinchamiento.....	79
Tabla 7. Análisis proximal y pureza del almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV e irradiación microonda, en comparación estadística con el almidón nativo.....	84
Tabla 8. Características físicas y fisicoquímicas del almidón de ocumo criollo modificado y comparación estadística con el almidón nativo.....	92
Tabla 9. Perfiles de gelatinización medidos con el viscoamilógrafo Brabender expresado en unidades Bradender (UB) del almidón de ocumo criollo modificado.....	107
Tabla 10. Valores de absorción de agua, obtenidos para el almidón de ocumo criollo modificado.....	114

Tabla 11.Valores de porcentaje de solido soluble obtenidos para el almidón de ocumo
criollo modificado.....116

Tabla 12.Valores de poder de hinchamiento obtenidos para el almidón de ocumo criollo
modificado.....118

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1. Estructura química de la amilosa.....	11
Figura 2. Estructura química de la amilopectina	13
Figura 3. Aspecto externo del tubérculo o corno de <i>Xanthosoma saittifolium</i> variedad venezolana.....	44
Figura 4. Gránulos de almidón nativo de ocumo criollo visto por Microscopia Óptica con Luz Polarizada (150X).....	69
Figura 5. Cruz de malta de los gránulos de almidón nativo de ocumo criollo visto por Microscopia Óptica con Luz Polarizada (100X).....	69
Figura 6. Granulometría medida con rayos láser de los almidones nativo de ocumo criollo (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>).....	70
Figura 7. Curvas de viscosidad aparente del almidón nativo de ocumo criollo.....	72
Figura 8. Amilograma del almidón nativo de ocumo criollo.....	78
Figura 9. Absorción de agua (g) contra temperatura (°C), del almidón nativo de ocumo criollo.....	81
Figura 10. Sólidos solubles (%) contra temperatura (°C), del almidón nativo de ocumo criollo.....	82

Figura 11. Poder de hinchamiento (%) contra temperatura (°C), del almidón nativo de ocumo criollo.....	81
Figura 12. Almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microonda. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 60X, donde se evidencia la agrupación de gránulos formando aglomerados.	98
Figura 13. Almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microonda. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 300X, donde se observa en detalle la agrupación entre los gránulos, así como la cruz de malta en cada gránulo	98
Figura 14. Almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microonda. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 150X, donde se observa en gránulos agrupados y gránulos aislados que conservan su integridad física.....	99
Figura 15. Almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microonda. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 300X, donde se observa que la forma del gránulo es similar a la mostrada por los gránulos de almidón nativo.....	99
Figura 16. Almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 300X, donde se observa que estos gránulos conservan su forma y tamaño siendo similares a los observados para el almidón nativo.	101
Figura 17. Almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 150X, donde se observa entre los gránulos, la formación de aglomerados.....	101

Figura 18. Almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 300X, donde se observa la cruz de malta sin evidencia de pérdida de la cristalinidad.....	102
Figura 19. Granulometría medida con rayos laser de los almidones nativo y modificados por pulso de luz de irradiación microondas del ocumo criollo (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>).....	103
Figura 20. Curvas de viscosidad aparente del almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microondas.....	105
Figura 21. Curvas de viscosidad aparente del almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV.	105
Figura 22 Curvas de viscosidad aparente de los almidones de ocumo criollo nativo y modificado.	106
Figura 23. Amilograma del almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microonda.....	112
Figura 24. Amilograma del almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV....	113
Figura 25. Absorción de agua (g) contra temperatura (°C), del almidón de ocumo criollo modificado en contraste con el almidón nativo.....	116
Figura 26. Porcentaje de sólidos solubles contra temperatura (°C), del almidón de ocumo criollo modificado en contraste con el almidón nativo.....	117
Figura 27. Poder de hinchamiento contra temperatura (°C), del almidón de ocumo criollo modificado en contraste con el almidón nativo.....	119

Índice de Esquemas

	Pág.
Esquema 1. Extracción del almidón de ocumo criollo.....	45
Esquema 2. Modificación del almidón de ocumo criollo mediante el uso de pulso de luz UV.....	54
Esquema 3. Flujograma de la modificación por irradiación microonda.....	55

Resumen

El ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*), es un tubérculo muy abundante en el trópico; ya que las condiciones climáticas favorecen su cultivo y desarrollo de la planta. El darle valor agregado es una posibilidad de incentivar su cultivo y evitar las cuantiosas pérdidas por cosechas existentes; así como, impulsar el desarrollo de nuevos productos. La porción comestible del tubérculo contiene una fracción considerable de almidón, que es el polímero que sirve como almacén de nutrientes en las plantas, convirtiéndose además en una fuente de alta importancia energética para los humanos. Este polímero además puede ser utilizado como ingrediente en el desarrollo de productos, ya que posee múltiples aplicaciones en la industria alimentaria; conjuntamente con su importancia relevante como constituyente de los alimentos en función a sus propiedades funcionales. Estas propiedades funcionales naturalmente diferentes en función a la fuente botánica, pueden ser diversificadas y mejoradas usando las técnicas de modificación. Entre las técnicas de modificación se menciona las técnicas físicas y entre ellas podría considerarse la novel aplicación de pulsos de luz UV e irradiación microondas. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo lograr el aislamiento, purificación y modificación del almidón del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) por medio de la aplicación de pulso de luz UV y ondas microondas y su posterior caracterización. Así como, la caracterización morfo-anatómica de la materia prima para estimar su rendimiento. Como resultado se observaron en la mayoría de los parámetros evaluados, diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) que se dieron principalmente entre el almidón nativo y el almidón irradiado por microondas ya que el almidón modificado por PL posee comportamiento muy similar al observado para el almidón nativo. En cuanto al

rendimiento este se considero aceptable para la industria de almidón tomando en cuenta el alto contenido de humedad del tubérculo (71,9 % reportado por el INN) y el factor de desecho. Cada valor obtenido para el almidón extraído de ocumo criollo nativo y modificado es comparable con los reportados por otros autores para almidones de ocumo criollo y para almidones de otras fuentes de origen.

Los resultados obtenidos sugiere el uso de PL para descontaminar alimentos que tenga almidón entre sus componentes conociendo que este almidón no sufrirá modificaciones considerables en su estructura que afecte sus características. En cuanto al almidón irradiado con microonda se sugiere su uso a nivel industrial conociendo que confiere al almidón nativo otras propiedades de interés favorables en la elaboración de productos.

1. Introducción

Las raíces y tubérculos forman el principal y más económico recurso energético en la dieta de los pueblos que habitan en áreas tropicales. Su importancia en Venezuela y el mundo es creciente; ya que, aparte de su empleo tradicional en la alimentación humana, hoy día han adquirido, gran valor económico, gracias al desarrollo científico y tecnológico, estratégico y agroindustrial (Montaldo y col, 1992). Mundialmente la industria del almidón y harinas ha estado limitada a unos pocos cultivos tradicionales, maíz, papa, trigo, arroz y yuca. Desde hace algún tiempo se ha venido estudiando la incorporación en productos alimenticios, de materias primas no convencionales, provenientes de raíces y tubérculos de origen local, que sean de importancia comercial y nutricional. La utilización de productos derivados de tubérculos no convencionales en la industria de alimentos en Venezuela es poca y generalmente éstos rubros son preparados y consumidos directamente a nivel doméstico y artesanal.

El almidón se ha usado en la industria de alimentos por sus propiedades funcionales, además de su versatilidad y bajo costo en comparación con otros productos. Este polisacárido contribuye en gran parte a las propiedades de textura de muchos alimentos, ya que actúa, entre otras cosas, como espesante y agente gelificante, enlazante de agua o grasa, controla e influye sobre ciertas características, tales como humedad, consistencia, apariencia y estabilidad en el almacenamiento; además de jugar un papel importante en la aceptabilidad y palatabilidad de numerosos productos alimenticios.

Es del consenso que las raíces y los tubérculos pertenecen a la clase de alimentos que proveen energía en la dieta humana en la forma de hidratos de carbono (FAO, 1998). El

término raíces y tubérculos se refiere a cualquier planta en crecimiento que almacene material comestible en raíces subterráneas, o tallos modificados tales como estolones, rizomas, cormos y se usa para diferenciar las raíces de los otros especímenes. Algunas raíces o tubérculos son excelentes fuentes de almidón (amiláceos), entre ellos papa, yuca y batata; otros son fuentes de azúcar (azucareros) como remolacha y yucón. Ambos grupos (amiláceos y azucareros) están clasificados dentro del grupo I como alimentos que aportan energía (FAO 1998).

El hecho de que los principales constituyentes químicos de estos cultivos sean carbohidratos ha inducido a su menosprecio como proveedores de proteínas (Jayakody y col., 2005).

A pesar de que existe un amplio rango de plantas que desarrollan tubérculos comestibles que acumulan almidón, sólo cinco especies se cuentan entre casi el 90% del total de la producción mundial. Los más significativos económicamente son: *Solanum tuberosum*, *Manihot esculenta*, *Ipomoea batatas*, *Dioscorea* spp; y Aroideas comestibles tales como *Xanthosoma sagittifolium* y *Colocasia esculenta* (Oke 1990, Hoover 2001). Los científicos relacionados con el estudio de los alimentos desean buscar formas de incrementar el consumo de estas raíces y tubérculos y aumentar su aplicabilidad; así como generar modificaciones en sus harinas y almidones que garantice la estabilidad y mejores propiedades en dichos productos (Pérez, 2007).

Es por ello que en Venezuela y otros países que utilizan almidón, requieren ampliar y diversificar la utilización de los recursos alimenticios locales. Una manera de lograrlo es produciendo y explotando productos provenientes de fuentes no convencionales como el ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*), el cual tiene un alto potencial alimentario, es de

fácil cultivo y producción económica (Montaldo y col, 1992). A partir de este tubérculo es posible obtener harinas y almidones, que podrían ser utilizados como sustitutos parciales o totales en la elaboración de productos alimenticios, representando esto una alternativa de uso, ya sea en forma directa o como ingrediente en la formulación de alimentos. Es importante mencionar, que a pesar de la versatilidad de uso de los almidones nativos, estos aun se ven limitados en sus propiedades funcionales y es por ello, que los procesadores de alimentos en la búsqueda de la optimización y el desarrollo de nuevas aplicaciones se enfocan en la tecnología de la modificación de almidones; bien sea física, química o biológica.

Los procesadores de alimentos en la actualidad tienden a realizar investigaciones de nuevas tecnologías basadas en la aplicación de microondas en el procesamiento, para conseguir ventajas en el mercado, reducir costos operacionales, permitir innovación de productos e incrementar la flexibilidad; sin necesidad de grandes inversiones. Las barreras técnicas para el amplio uso del procesamiento con microonda y su aplicación en alimentos se deben enfocar hacia la necesidad de comprender la interacción campo de microonda/material/proceso. Se han diseñado mejoras en los métodos tradicionales de microonda, entre ellos, se puede mencionar la combinación de vacío- microonda (Drouza y col., 1999) y calentamiento de microonda de fase controlada (Bows y col., 1999). En esta investigación se empleará las ondas microonda para modificar muestras de almidón extraído de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) y se realizaran los posteriores análisis para su caracterización.

Por otra parte, la tecnología de pulsos de luz (PL) se usa, en la actualidad, para eliminar o disminuir la flora microbiológica en alimentos o superficies que están en contacto con alimentos ya que usa el principio purificador de la luz UV-C. Poco se conoce del efecto de los pulsos de luz sobre las propiedades funcionales de los almidones. En pocos trabajos

se ha observado el empleo de esta tecnología para modificar moléculas presentes en alimentos como proteínas, enzimas y lípidos, entre otros cuyas modificaciones han sido favorables; por lo que en este trabajo se empleará esta misma tecnología de PL sobre muestras de almidón extraído de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*), evaluando si existe modificación del almidón.

2. Antecedentes

2.1 Ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*).

2.1.1 Origen.

Las Aroideas son plantas que pertenecen a la familia Araceae; son herbáceas erectas, perennes, de largas hojas que se desarrollan en suelos bien drenados. Raramente dan flores ya que su reproducción es vegetativa. Cuando florecen, presentan una inflorescencia sobre un semi-pétalo brillante, algunas veces coloreado, en un semieje floral. Desarrollan cormos (aroides) con cáscara marrón oscura o con bandas blancas, dependiendo del género, y pequeñas raicillas adheridas (Hoover, 2001; Facciola, 1998).

La familia *Araceae* está formada por cinco géneros: *Colocasia*, *Xanthosoma*, *Amorphallus*, *Alocasia* y *Cytosperma*. Por otro lado, *Xanthosoma sagittifolium* está incluida en la subtribu *Caladinae*. *Xanthosoma sagittifolium* se considerada la principal especie cultivada, existen otras especies relacionadas tales como *X. brasillense*, *X. atravirens*, *X. violaceum*, *X. robustum*, *X. auriculatum*, *X. roseum* y *X. varacu*. Estas especies son generalmente llamadas también *new cocoyam* (Hoover, 2001; Facciola, 1998).

Xanthosoma sagittifolium es nativa de América Tropical, denominada comúnmente ocumo criollo, malanga, yautía, ape, old cocoyam o tannia, su cultivo requiere menos humedad y los cormos son más delgados y de menor peso (promedio 250 g) que los de *sp*, con gran variación en el tamaño. También se le aprecian, pero en menor cantidad los restos de hojas en forma de túnica, sobre todo en la región apical. Estas plantas están bien adaptadas a las condiciones agroclimáticas tropicales, lo que permite su crecimiento en abundancia; sin embargo, su cosecha se realiza de manera artesanal (Pérez, 2007).

2.1.2 Composición química de los almidones de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*).

Estudios realizados han permitido conocer la composición química del almidón extraído de ocumo criollo, teniéndose valores de 10,02 % de humedad, 2,10% de proteínas, 0,26 % de grasa cruda, 1,71% de fibra dietética total, 1,40 % de ceniza y 1,17% de azúcar total (Perez,2001). Se conoce además que los almidones de ocumo criollo poseen una humedad que se encuentra alrededor del 12% (Thomas y Atwell, 1999)

Palomino y col. (2010), reporta para el almidón extraído de ocumo criollo: 10,82 % de humedad, 0,28% de grasa cruda, 0,09 % de ceniza, 0,05% de azúcar total y 26,17% de amilosa. Los autores comentan que la diferencia encontrada al comparar este contenido de amilosa con otras investigaciones, podría atribuirse a que estos parámetros son característicos e inherentes a la especie, siendo el contenido de amilosa relativo a la fuente de almidón.

2.1.3 Investigaciones sobre la utilización del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*).

Laurentín, (1999) en la caracterización fisicoquímica y digestibilidad *in vitro* de diferentes almidones de maíz, ocumo y lenteja, reportó para el ocumo criollo valores de humedad 12%; lo cual es ventajoso ya que a menor cantidad de agua se dificulta el ataque por microorganismos y hongos; en cuanto a la morfología de los gránulos del almidón de este ocumo mostró formas de huevo truncado con 10,4 μm de longitud de eje mayor.

Pérez y col. (2005) realizaron un estudio en donde caracterizaron y compararon los almidones nativos aislados de *Xanthosoma sagittifolium* y *Colocasia esculenta*. Los autores reportaron que el contenido de humedad de estos almidones es similar al rango

de humedad generalmente aceptada para productos secos, a fin de obtener una mayor vida útil y almacenamiento seguro. Así mismo reportaron, un contenido de proteína cruda en los dos almidones superior a la mostrada por el almidón de *Manihot esculenta* Crantz. En cuanto al contenido de ceniza los autores encontraron, que este se encuentra entre el rango de la literatura para almidones comerciales, además de esto los autores señalan que debido a los métodos de aislamiento para la obtención de almidones, la composición química y el menor contenido mineral depende no sólo del origen botánico, sino también del método de extracción. Para la cuantificación de la concentración de fósforo (P) en los almidones reportados, los autores exponen que el contenido de fosforo es un parámetro importante para definir las propiedades funcionales de los almidones, reportando para el almidón *Xanthosoma sagittifolium* un mayor contenido que lo encontrado en los almidones *Colocasia esculenta* y *Manihot esculenta* Crantz. En cuanto al contenido de amilosa en el almidón se conoce que este análisis es de suma importancia por su efecto en las propiedades funcionales; el contenido de amilosa en ambos tipos de almidones según lo determinado por Pérez y col., 2005 fue mayor que la mostrada por el almidón de *Manihot esculenta* Crantz.

Los autores señalan diferencias en las propiedades funcionales y morfométricas de los almidones de estos dos aroideas; el almidón de *Xanthosoma sagittifolium* desarrolla ligeramente mayor viscosidad que los otros dos almidones (*Colocasia esculenta* y *Manihot esculenta* Crantz). Por otra parte, la ruptura y la coherencia son más bajos en el almidón *Xanthosoma sagittifolium* que en los otros dos; además presenta una mayor tendencia a la retrogradación. En cuanto a las características morfométricas de cada almidón son bastante diferentes en tamaño y forma, para el almidón de *Xanthosoma sagittifolium* se observo gránulos elipsoidales pequeños, redondeados y algunos grandes truncados con un diámetro que oscila entre 2 a 10 μm .

Molina, (2007) en su investigación sobre el aprovechamiento integral del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) observó que los gránulos de almidón del ocumo criollo son resistentes a la desintegración mecánica y por ende muy estables durante la cocción, además de resultar muy consistente (325 UB). Alegando el autor que el grado de estabilidad del almidón de ocumo criollo, constituye una propiedad novedosa y funcional en el desarrollo de productos usando estos ocumos. Por otra parte, en cuanto a la consistencia de gel los resultados obtenidos (150 mm/ 40 min) sugiere pensar que el almidón se comporta como una pasta fluida a temperatura ambiente y forma geles relativamente débiles. Así mismo, el autor reportó valores de “set-back” el cual mide la tendencia a retrogradar, indicando que si existe esta condición para dicho almidón.

Palomino y col.,(2010) plantearon como objetivo caracterizar físicamente los tubérculos de ocumo criollo y ocumo chino, elaborar y caracterizar harinas a partir de la cáscara y la parte comestible de dichas aráceas y extraer, purificar y caracterizar su almidón nativo. Los autores describen las características físicas del ocumo criollo como de mayor tamaño y de color oscuro con franjas más claras alrededor del mismo y los tubérculos de ocumo criollo también fueron de color marrón oscuro, aunque más pequeños y angostos. Aunque las harinas crudas resultaron con valores bajos de proteína y grasa, constituyen una excelente fuente de energía y fibra dietética insoluble (Monte-Neshich y col., 1995). No obstante, debe subrayarse que la harina de la fracción comestible de ocumo criollo presentó un mayor ($p < 0,05$) contenido de proteína cruda, en comparación con la harina de ocumo chino. Siendo reducido el contenido total de lípidos en ambos tubérculos, es de suponerse que las aráceas no son fuente de vitaminas liposolubles (Njintang y col., 2006). La evaluación del perfil mineral de las cenizas de ambas harinas indicó la presencia de un

alto valor de estos minerales. El contenido de humedad de ambas harinas se ubicó dentro del rango aceptado para productos deshidratados, este intervalo proporciona un nivel reducido de actividad de agua y en consecuencia un mayor tiempo de vida útil. En ambas especies los valores de pH estuvieron cercanos a la neutralidad, mientras que el porcentaje de acidez fue sumamente bajo, lo cual coincide con lo señalado por Pérez y col., 2007, para el mismo rubro. El contenido de proteínas crudas no fue detectado en ambos almidones, por lo cual se les consideró como traza, y el contenido de materia grasa y las cenizas se encontraron en exiguas cantidades. El contenido de amilosa en ocumo chino fue significativamente bajo al compararlo con el almidón de ocumo criollo, siendo estos resultados similares a los referidos en la literatura (Jane y col., 1992; Pérez, 2001). Los perfiles de gelatinización de cada uno de los almidones evaluados presentaron diferencias ($p \leq 0,05$) en el comportamiento amilográfico, que deben ser consideradas para su uso en la industria de alimentos. Asimismo, se observó una tendencia a la retrogradación de ambos almidones, siendo mayor en el almidón de ocumo criollo, mostrando un asentamiento ("setback") de 500 UB, mientras que el almidón de ocumo chino presentó 150 UB.

Una elevada retrogradación se atribuye a un elevado grado de asociación entre las moléculas de almidón, causado por la fuerte tendencia a la formación de puentes entre los grupos hidrógeno presentes en moléculas de almidón adyacentes, una vez que ha concluido el proceso de gelatinización y "pasting" (Hoover, 2001).

2.2 Almidón

2.2.1 Estructura química

Estructuralmente, el almidón consiste principalmente de dos polisacáridos: amilosa y amilopectina, a pesar de que estas dos moléculas tienen básicamente la misma

estructura, tienen diferentes tipos de enlaces, lo que provoca el arreglo espacial en forma helicoidal (alfa-hélice) para el caso de la amilosa y de doble hélice en el caso de la amilopectina, las cantidades relativas de estos dos polímeros y su organización física dentro de la estructura granular, el grado de polimerización (GP), así como su longitud y distribución de cadena le confieren propiedades fisicoquímica y funcionales (Bello – Pérez, 1995).

2.2.2 Amilosa

La amilosa es un polímero esencialmente lineal, formado por unidades de D- glucosa unidas por enlaces α (1-4); sin embargo, se ha demostrado que existen algunas ramificaciones las cuales están unidas a la cadena lineal por enlaces α (1-4) (Thomas y Atwell, 1999), dicha ramificaciones se encuentran de manera espaciada e infrecuente, lo que permite observar que se comporta como un polímero lineal (Lineback y Rasper, 1988). Esta molécula forma una hélice o tubo con seis moléculas de glucosa por giro (Figura 1). El acomplejamiento de la amilosa con el yodo produce una coloración azul oscuro, lo cual es usado para cuantificar el contenido de amilosa en los almidones. La amilosa tiene la capacidad de enlazar 20 mg de yodo por 100 mg de amilosa a una longitud de onda de máxima absorción entre 620 y 640 nm, dado que la hélice tiene dimensiones ideales para ubicar en el centro molecular hidrofobias o iónicas (Stick, 2001). Los alcoholes de longitud de cadena larga y los lípidos, también pueden formar complejos con la amilosa, los cuales evitan la retrogradación, estos complejos pueden utilizarse para separar la amilosa de la amilopectina y para modificar sus propiedades (Schoch, 1942,1964). La masa molar de la amilosa es de aproximadamente 1×10^5 a 1×10^6 Da con un promedio de 500 a 6000 unidades de D-glucosa, repetidas en un numero de cadenas que va de 1 a 20. Cada cadena presenta un GP 500 (GP ó grado de polimerización: es el

número de unidades de glucosa que se encuentran unidas para formar la molécula) (MacAllister, 1979). Los almidones pueden clasificarse en base a su contenido de amilosa como son los almidones cerosos que tienen muy poca cantidad de amilosa, alrededor de 1-2 %, los normales que contienen entre 17-24% de amilosa y los altos en amilosa que contienen 70% o más de este polímero (Moore y col.,1984). Sin embargo, en relación a la conformación granular es improbable encontrar almidones con 100% amilosa.

Muchas de las propiedades fisicoquímica, como la formación de pastas y geles, así como los cambios producidos en los productos que contienen almidón a causa de la retrogradación, tienen efecto en la digestibilidad y la textura, y todo esto depende del contenido de amilosa y de su organización dentro de la estructura granular (Swinkels, 1985).

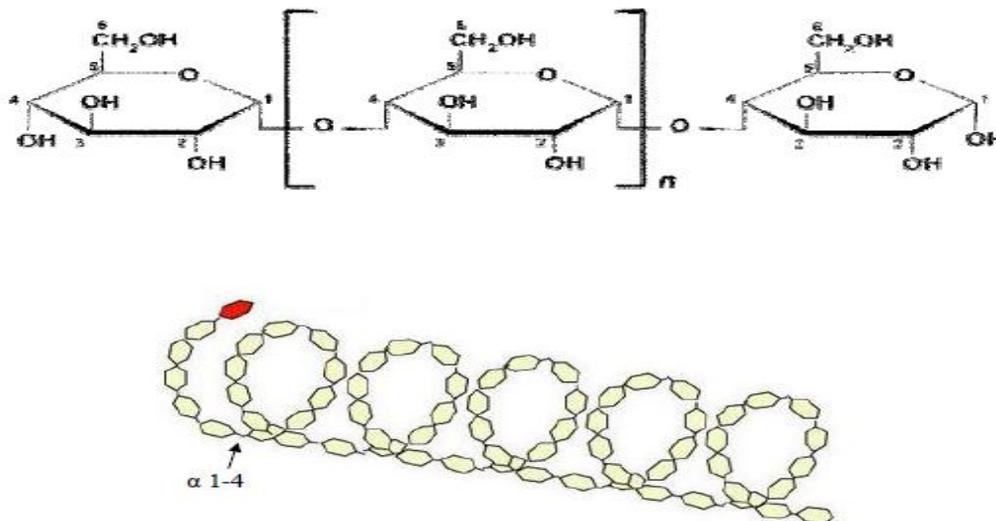


Figura 1. Estructura química de la amilosa. (Fuente: Zugriff, 1997)

2.2.3 Amilopectina

Este componente ramificado del almidón, está formado por cadenas de residuos α -D-glucopiranosidos unidos por enlaces $\alpha(1-4)$, y presentan enlaces $\alpha(1-6)$ en los puntos de ramificación (MacAllister, 1979) (Figura 2). Normalmente se encuentra en una proporción de 70-80%, en ciertos casos alcanza niveles de hasta un 98-99% en los almidones tipo cerosos, todo depende de la fuente botánica del almidón (Zobel, 1988). La masa molar de la amilopectina varia entre 1×10^6 a 1×10^8 Da, estas variaciones dependen del origen botánico del almidón, de las condiciones de separación de la amilosa y la amilopectina y del método utilizado para determinar la masa molar (Bello – Pérez y col., 2002).

La distribución de las cadenas de amilopectina es distintiva de cada especie y esta genéticamente controlada (Hizukuri, 1985). Sin embargo en algunas plantas que acumulan almidón, existen diferencia entre la estructura de la amilopectina, lo cual puede influir en sus propiedades fisicoquímicas como la gelatinización y retrogradación (Hizukuri, 1985; Asoaka y col., 1986).

La desramificación de la amilopectina produce cadenas lineales, de esta forma se puede conocer el grado de polimerización o longitud de las cadenas de la amilopectina, que conduce a la creación de modelos, mediante los cuales se pretende explicar la forma en que esta molécula se encuentra dentro de los gránulos de almidón y las repercusiones que tendría en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y de digestibilidad del almidón (Meyer y col., 1940).

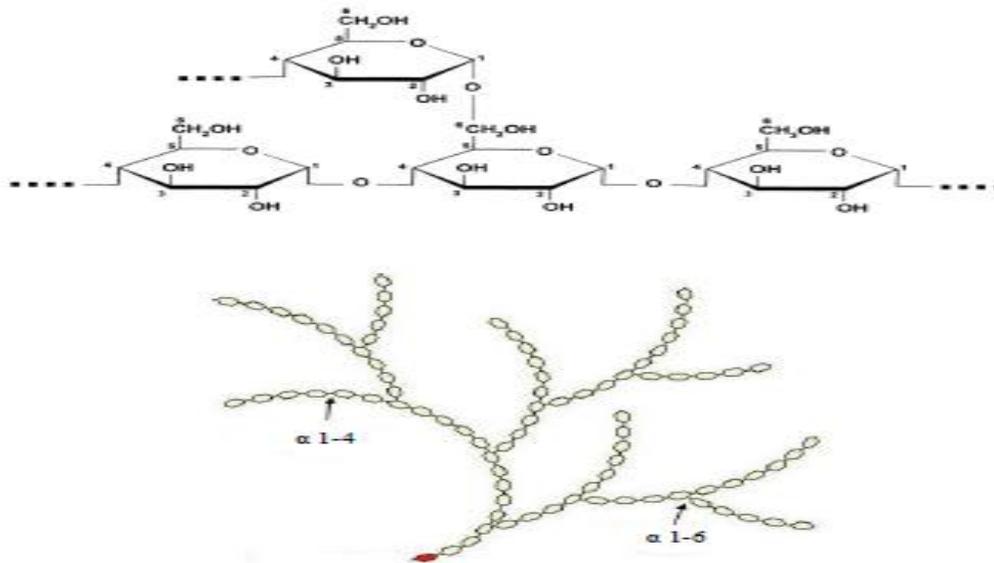


Figura 2. Estructura química de la amilopectina. (Fuente: Zugriff, 1997).

2.2.4. Arreglo estructural de la amilosa y amilopectina dentro del gránulo.

Dentro de los gránulos, el almidón tiene un arreglo semicristalino, y la cristalinidad se debe al ordenamiento y longitud de las cadenas de amilopectina (Robin y col., 1974; Hizukuri, 1986). El arreglo estructural de los componentes amiláceos dentro del gránulo origina dos regiones principales, la región cristalina formada por cadenas de racimos de la amilopectina y la región amorfa está formada por los puntos ramificados de la amilopectina y por la amilosa (Zobel, 1988). La región cristalina ha sido la más estudiada y es por tanto la más entendida, ya que proporciona la estructura y soporte, además de la conformación a los gránulos de almidón debido a las doble hélices de la amilopectina (Tester y Karkalas, 2004). La estructura del gránulo de almidón y el arreglo de sus componentes en diferentes niveles de organización, permite explicar las propiedades fisicoquímicas y funcionales, así como, la digestibilidad de los diferentes almidones. Kuakpetoon y Wang, (2007) analizaron almidones de maíz con diferentes contenidos de amilosa-amilopectina, reportando que los almidones con mayor contenido de amilosa

requerían de menor energía para desorganizar su estructura que aquellos que presentaban mayor contenido de amilopectina. Las cantidades de las cadenas con diferente longitud, están genéticamente controladas y reguladas por la selectividad de las enzimas biosintéticas, además de los efectos físicos ocasionados por la cristalización de cadenas cortas durante la síntesis del gránulo de almidón.

Los gránulos de almidón, cuando son observados bajo luz polarizada muestran una “Cruz de Malta” (Katz y col., 1993). Este fenómeno es conocido como birrefringencia, el cual indica que existe un alto grado de orientación molecular dentro del gránulo, sin referencia a ninguna forma cristalina (Zobel, 1988).

2.3 Propiedades fisicoquímicas del almidón

2.3.1 Gelatinización

La baja solubilidad de los gránulos de almidón a temperatura ambiente es debida a su estructura semicristalina. Cuando el almidón se encuentra con suficiente agua, los gránulos absorben una pequeña cantidad de esta y se hincha hasta cierto límite (30-50% del peso seco) (French 1984). Este proceso es reversible antes de que se alcance la temperatura inicial de gelatinización. Una vez que se ha sobrepasado la temperatura inicial de gelatinización, los gránulos de almidón pierden su orden molecular y ocurren cambios irreversibles en las propiedades del gránulo tales como: pérdida de la estructura cristalina nativa (solubilización) y pérdida de la birrefringencia, es decir, la molécula se encuentra desorganizada (Atwell, 1999). Este proceso es conocido como gelatinización. La gelatinización del almidón es un proceso endotérmico que corresponde a la disociación de las moléculas de almidón, las cuales se encuentran en una conformación con doble hélices y pasan a una conformación amorfa.

2.3.2 Retrogradación

Al almacenar las deposiciones de almidón gelatinizado, en la cual, las moléculas de almidón, gradualmente se reasocian, la amilosa retrograda mucho más rápido que la amilopectina. Las cadenas de amilosa interactúan entre sí por puentes de hidrogeno, formando mayas tridimensionales y son responsable de los cambios reológicos iniciales de la pasta de almidón. Por su parte, la retrogradación de la amilopectina es más lenta, y puede presentarse a lo largo de días o semanas, debido a su estructura altamente ramificada. La velocidad de retrogradación depende de varios factores como: longitud de las cadenas de la amilopectina, de la concentración de lípidos, así como la presencia de derivados monoéster y fosfatos (Srichuwong y Jane, 2007).

2.3.3 Propiedades de formación de pasta.

Desde el punto de vista de la viscosidad, la molécula de amilopectina con una mayor masa molar genera pasta más viscosa a altas temperaturas. Mientras que la amilosa es la responsable de altas viscosidades cuando la pasta se enfría (Swinkels, 1985). La formación de pastas de almidón se lleva a cabo en varias etapas: hinchamiento de gránulo, lixiviación de componentes a partir del gránulo, y eventualmente la desintegración del gránulo, los puentes de hidrogeno entre las cadenas de almidón se disocian y son reemplazados con puentes de hidrogeno que se forman con las moléculas de agua , lo cual incrementa la captación de agua y con ello el desarrollo de la viscosidad (Millán,2009).

La amilosa es el principal componente que lixivia el granulo y su concentración en la fase continua se incrementa conforme la temperatura aumenta. En general, las propiedades de formación de pasta de los almidones son afectadas por la concentración de almidón, velocidad de crecimiento y esfuerzo de corte aplicado, contenido de amilosa, estructura

molecular de la amilopectina, tamaño de gránulo y contenido de componentes minoritarios como el fósforo y otros minerales (Srichuwong y Jane, 2007). Los cambios de viscosidad en las dispersiones de almidón durante el calentamiento, comúnmente son medidos con instrumentos llamados viscoamilografos (Brabender) y analizadores rápidos de la viscosidad (RVA). Estos aparatos llevan a cabo programas de mezclado, calentamiento y enfriamiento, que generan perfiles de gelatinización y retrogradación altamente reproducibles. Las unidades de medidas son unidades brabender (UB) y unidades de rapidez rpm (revoluciones por minutos) (Thomas y Atwell,1999). Durante la fase inicial de calentamiento se registra un aumento de la viscosidad, como indicativo de que los gránulos de almidón comienzan a hincharse. En este punto los polímeros con bajo peso molecular, particularmente las moléculas de amilosa, comienzan a lixiviar a partir del gránulo. Durante la formación de pasta, se obtiene un pico de viscosidad, lo cual representa que la mayoría de los gránulos se han hinchado. Durante el rompimiento (breakdown), la temperatura se mantiene a 95°C, registrandose una disminución de la viscosidad, debido al rompimiento de los gránulos hinchados, a la disociación de la amilosa y a que las moléculas de almidón continúan solubilizándose. Por último, en la fase de enfriamiento, la amilosa y amilopectina solubilizadas empiezan a reasociarse, manifestándose otro incremento en la viscosidad, el cual es conocido como la viscosidad de recuperación (Setback) (Thomas yAtwell, 1999). Debido a que la amilopectina es el componente principal en la mayoría de los almidones, las variaciones en su estructura producen gránulos de almidón con diferentes propiedades fisicoquímicas, funcionales y de digestibilidad (Millán, 2009).

2. 4 Almidones modificados.

Los almidones nativos de cada planta tienen sus propias y únicas propiedades y en lo posible estas características inherentes son explotadas por la industria de alimentos para necesidades específicas. Los almidones nativos; sin embargo, carecen de versatilidad para funcionar adecuadamente en el rango de productos alimenticios, corrientemente encontrados en el mercado. La diversidad de la industria moderna de alimentos requiere que los almidones sean capaces de tolerar un amplio rango de técnicas de procesamiento; así como también el manejo durante la distribución, almacenamiento y las condiciones finales de preparación del alimento. Estas demandas son satisfechas cuando los almidones nativos son modificados por métodos químicos o físicos (Pérez y col., 2001). A medida que son desarrollados nuevos alimentos, se requieren nuevas modificaciones y nuevas técnicas para aplicar estas modificaciones (Rogol, 1986).

Debido a que los almidones nativos presentan ciertas limitaciones de uso, los almidones modificados se han tornado de relevante importancia en la industria; no solo de alimento, sino otras tales como; papel, textil fármacos, etc. (Thames, 1992, Wurzburg, 1970 y 1986, Rogols, 1986). Se puede definir almidón modificado como cualquier producto derivado el almidón, cuya preparación involucre la modificación de una o más propiedades del mismo; por la incorporación de un componente ajeno a su estructura básica (CFR, 1995).

Wurzburg y Szymansky en 1970, señalan que para expandir el uso de almidones en la industria, se debe usar una variedad de técnicas para modificar las características que gobiernen las propiedades del almidón. Esta técnica ha dado origen a numerosos tipos de almidones, los cuales se han vuelto el principal factor en la industria de alimentos, donde ellos se usan como aditivos, para espesar, estabilizar o dar características texturales a

una amplia variedad de sistemas alimenticios que van desde relleno para pie y pudines hasta salsas de ensaladas.

Dependiendo de la modificación que se efectuó, los almidones modificados pueden espesar, suspender sólidos, proveer textura, estabilizar emulsiones, facilitar el procesamiento o proteger los productos durante la distribución y el almacenamiento (Wurzburg, 1986) o dar propiedades especiales a los productos desarrollados. Estos almidones generalmente muestran, mejor claridad de pasta y estabilidad, imparten diversos grados de viscosidad, menor tendencia de retrogradación y aumento en la estabilidad al congelamiento-deshielo, entre otras ventajas (Agoola y col. 1991; Amani y col. 2005; Schmitz y col. 2006).

Los almidones se pueden modificar por las siguientes razones (Light, 1990, Thomas, 1999):

1. Proveen atributos funcionales a los productos donde son usados que no le son conferidos por los almidones nativos.
2. Son abundantes y fácilmente disponibles.
3. Son más económicos que las gomas.

Se han desarrollado numerosos métodos de modificación que cambian la estructura granular y/o macromolecular, induciendo a una propiedad funcional específica. Tales tratamientos pueden ser físicos, químicos o biológicos (Pérez, 2001). En la industria de alimentos los principales esquemas de modificación de almidones están fundamentados en principios físicos y químicos (Thomas, 1999). Colonna, (1987) y Rogols, (1986)

señalan que la modificación de almidones nativos involucra un cambio en la forma física, una degradación controlada y/o la introducción de un grupo químico.

2.4.1 Modificación Física

Entre los tipos de modificaciones físicas que se pueden emplear en almidones nativos se tienen: irradiación (microonda, pulso de luz, gama), aplicación de calor húmedo o seco, congelación, entre otras.

2.4.2 Irradiación por microonda

Laurentín, (1999) señala que el calentamiento de alimentos utilizando microonda tiene casi 50 años descritos; sin embargo, no es sino hasta la década de los 80 que comenzó la comercialización a gran escala de alimentos para microonda. No obstante, este auge solo duró una década, pues en 1991 disminuyó significativamente este mercado. De esta manera, el aparato que revolucionaría nuestra manera de calentar pasó a ser un electrodoméstico dedicado fundamentalmente a recalentar (Anónimo 1995).

Según Shukla (1995), este fenómeno se debe al escaso conocimiento que existe sobre el comportamiento de los alimentos dentro de un campo magnético. Aunado a esto, la falta de estandarización en la fabricación de los hornos caseros complica la situación, ya que existen docenas de marcas y modelos, cada uno de ellos con potencias diferentes, lo que hace que el nivel alto de un aparato sea diferente al nivel alto de otro (Anónimo, 1995)

Las microondas son radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda ubicadas entre el infrarrojo y las ondas de radio. Un horno microonda es una cavidad metálica cerrada (caja de resonancia) en la cual, un dispositivo (magnetrón) genera y acelera electrones a una frecuencia de 2,45 GHz. Estos electrones al pasar a través del alimento (compuesto dieléctrico), interacciona con los componentes del mismo y son capaces de

orientar a dipolos (agua) e iones (sales) presentes en el alimento. De esta manera, el vertiginoso cambio en la polarización de estas moléculas produce fricción y, por lo tanto, el calor; el cual es, a su vez, transmitido al alimento por conducción (Davis, 1987; Shukla, 1995).

Las propiedades dieléctricas del alimento (constante dieléctrica y factor de pérdida) determinan la transmisión y disipación como calor de la energía en microonda; mientras que, la transferencia de calor a través del alimento depende de sus propiedades físicas como: densidad, calor específico, pH, fuerza iónica, conductividad eléctrica y polaridad, forma y relación superficie/área de alimento (Giese, 1992; Shukla, 1995) todos estos factores hacen que los productos para microonda respondan de manera variable a la irradiación (Laurentín, 1999).

A pesar de que la irradiación con microonda no es popular a escala industrial, esta ofrece interesantes ventajas en comparación con el horneado convencional: rapidez en la operación, ahorro de energía, control preciso del proceso y la posibilidad de utilizar envases desechables (papel o plástico) (Giese, 1992).

2.5 Modificación por irradiación microonda.

Los procesadores de alimentos en la actualidad tienden a la búsqueda de nuevas tecnologías basadas en microondas, para conseguir ventajas en el mercado, reducir costos operacionales, permitir innovación de productos e incrementar la flexibilidad sin necesidad de grandes inversiones (Pérez, 2001). En algunos caso el secado de algunos productos se puede hacer por irradiación por microonda y este proceso modifica el almidón y por ende puede ser usado como tal (Pérez, 1994), La irradiación de microonda se realiza en un horno microonda a diferentes condiciones de humedad, potencia y temperatura (Heldman y Sing, 1984, Goebel, 1984, Buffler, 1992; Heldman y Hartel 1999).

Goebel y col., en 1984 investigaron el grado de hinchamiento en un rango de niveles de agua comúnmente usado en sistemas alimenticios, cocidos por calentamiento por convección. Los autores concluyen que el agua es muy importante en el calentamiento por microonda, pero no es ella sola como especie molecular la que interactúa en la radiación.

También señalan que la pérdida de peso y encogimiento de la muestra cocida con convección y que no hubo diferencias en estos parámetros al variarse la intensidad de irradiación del microonda. Las observaciones realizadas en el microscopio señalaron que el calentamiento por convección fue estructuralmente homogéneo, ya que pocas diferencias en los patrones de hinchamiento y desarrollo de matriz se evidenciaron en relación a la muestra tratada con radiación microonda; en donde la estructura observada fueron bastantes complejas por encima de un valor de 1:2 almidón: agua.

Schweizer y Reimann en 1986, indica que el uso de calentamiento por microonda ha incrementado grandemente en los últimos años con el desarrollo de nuevas formulaciones y de cocción rápida. También podría pensarse en el uso de la energía microonda para obtener cambios en la estructura granular y/o macromolecular del almidón en función de darle mayor espectro de uso al mismo. Es decir, usando esta técnica en el campo de la modificación física de almidones. Aunque muchos alimentos aceptables se producen por calentamiento con microonda, muchas formulaciones a base de almidón han presentado características no satisfactorias. Los problemas relacionados en obtener un desarrollo aceptable de la estructura de los productos horneados es un ejemplo de estos. La razón para estas diferencias se puede relacionar con la rápida rata de calentamiento, diferencias en los mecanismos de transferencia de calor y de masa o a una específica interacción de los componentes de la formulación con las radiaciones de microondas. Es por ello, que si

se quiere usar esta novedosa técnica se debe orientar las investigaciones en el sentido de evaluar el efecto de esta energía sobre las características de los almidones extraídos de la materia prima, para obtener criterios de comportamiento funcional de los mismos, bien sea como ingrediente en formulaciones o como parte del sistema. El calentamiento por microonda ocurre como resultado de la irradiación causada por la fricción molecular del acoplamiento dieléctrico de las moléculas, porque ellas se reorientan con frecuencia en la región de microonda en función a mantener su acoplamiento. El calentamiento de un objeto depende de su constante dieléctrica, la cual determina como un material se conecta con la radiación microonda, el factor pérdida dieléctrica expresa la habilidad del material de absorber energía microonda y transformarla en calor.

Brain y Zaille, 1990 señalan que ha mayor relación de agua: almidón el sistema se calienta más rápido durante la cocción por microonda, sin embargo existen un nivel crítico para muchos almidones por debajo del cual la gelatinización no se produce y esta es alrededor del 30% de humedad para muchos almidones; este nivel de humedad o por debajo de él parte del agua existente absorberá o enlazará al almidón.

Algunas investigaciones se han reportado empleando modificación por microonda sobre de almidones, entre ellos se pueden mencionar los siguientes trabajos:

Lawandowicz y col., 1997, estudiaron el efecto de la irradiación microonda sobre las propiedades fisicoquímicas y estructurales de los almidones nativos de papa y yuca. Ellos determinaron los parámetros de procesamiento para la irradiación de los almidones usando diferentes humedades y tiempo de irradiación, evidenciando que la irradiación afecta el contenido de humedad de los almidones irradiados. Estos autores señalaron que existe una fuerte correlación entre el aumento de las temperaturas en el almidón y el contenido de humedad en el mismo. La irradiación produjo una transformación isotérmica

en la muestra con 20% de humedad, que produjo una elevación de la temperatura de gelatinización y disminución de la solubilidad en agua (Pérez, 2001).

Bello-Pérez y col., 1998, usaron irradiación microonda para disolver el almidón de maíz. Los autores reportaron aumento de la degradación de la estructura del almidón, cuando se incrementa el calentamiento. Evidentemente, estos cambios incidieron en las propiedades funcionales del almidón.

Laurentín, (1999) modificó por irradiación microonda almidones extraídos de maíz, ocumo criollo y lenteja. El autor señala que el efecto de la irradiación sobre el almidón, produjo una disminución en la humedad del almidón nativo (12,2% humedad) en un 26% reportando valores de 9,2%. Por otra parte, la irradiación con microonda efectuada en varios almidones, cada uno a diferentes condiciones de humedad (25 y 40%), produjo un aumento en la magnitud final de alfa-amilosis (desde 7-12% para los almidones nativos, hasta 16-34% para los modificados) como consecuencia de un aumento en el grado de gelatinización, conservándose la temperatura de gelatinización la cual no varió por efecto de la irradiación por microonda. La irradiación microonda, no varía la distribución molecular de los polímeros de almidón.

Maska, (2000) (citado por Pérez, 2001) evaluó el comportamiento de las harinas de banana una vez que fueron sometidos a irradiación microonda y observó que el color de las harinas de banana mostraron menos oscurecimiento que las harinas secadas por convección. Berecz ,(1999) (citado por Pérez, 2001) reporta que mejores resultados se obtienen en el secado de levaduras cuando se usa la combinación de microonda- secado convencional, ya que se disminuye la formación de costras, desnaturalización de proteínas, encontrando productos con una actividad fermentativa por encima de 89%. La cocción de la harina de maíz nixtamalizada usando irradiación microonda, produjo una

masa con un contenido de proteína, firmeza y adhesividad comparable con las obtenidas con la mezcla comercial (Martínez y col. 2000, citado por Pérez, 2001). La irradiación de productos horneados produce bajo volumen, falta de oscurecimiento y firmeza en la textura (Summu, 2001, citado por Pérez, 2001).

González, (2002) realizó un estudio para evaluar los efectos de dos tratamientos como es la cocción por extrusión y la radiación microondas en el almidón extraído de lentejas y evaluó las características físicas, químicas, funcionales, reológicas y morfológicas del mismo. Ambos tratamientos provocaron una disminución ($p < 0,05$) en la humedad, contenido de proteína cruda, fibra cruda, absorción de agua, solubilidad y el poder de hinchamiento y un aumento ($p < 0,05$) de cenizas, azúcares reductores y la densidad absoluta en comparación con el almidón nativo de lenteja. Así mismo el autor expone que todas las viscosidades amilográficas fueron menores en los almidones modificados, donde se tiene que a la muestra que se trató con extrusión mostró los valores más bajos. Ambos tratamientos redujeron la tendencia de retrogradación del almidón de lentejas lo cual el autor considera interesante, ya que esta es una de las razones que han limitado el uso comercial de almidones de lenteja. Entre los dos tratamientos aplicados, la cocción por extrusión produjo modificaciones más pronunciadas en el almidón de lenteja en todas las características evaluadas, con excepción de la morfología granular, que se vio más afectada por irradiación con microondas.

Szepes y col., (2005) utilizaron la irradiación microonda en almidones extraídos de papa y maíz para estudiar su influencia sobre algunas propiedades físico-químicas y farmacéuticas. Los autores observaron disminución en el contenido de humedad causada

por la radiación electromagnética; así mismo, se verificó un cambio en las estructuras cristalinas y los parámetros micromorfológicos de los almidones que se afectaron por el efecto de la irradiación microonda de diferentes maneras y a su vez estas variaciones dependieron del origen botánico de las muestras. La resistencia a la tracción de los compactos que contienen almidones se redujo y sus propiedades humectantes fueron mejoradas por el proceso térmico aplicado. Por otra parte, los autores señalan que la irradiación microonda reduce la energía libre en la superficie y la polaridad de los compactos de manera significativa. Cada una de las muestras tratadas por microonda fue comparada a los resultados con muestras que fueron tratadas mediante calentamiento convencional.

Palav col., (2006) tomo como objetivo de su investigación el estudio del proceso de gelatinización, hinchazón de gránulos, y después de la lixiviación de polímero empleando calentamiento por microonda en almidón de trigo en suspensión. La lixiviación del polímero fue investigado en función de la velocidad de calentamiento, la temperatura final y la concentración del almidón y se observó que a diferentes tasas de calentamiento, temperaturas final y masa del almidón tratadas en el horno microonda se consiguió que la hinchazón de los gránulos y la lixiviación de los polímeros se produjo sólo después de la pérdida completa de birrefringencia en el gránulo, así mismo, la cantidad de carbohidratos solubles y de amilosa en el sobrenadante aumentó con el aumento de la temperatura y el contenido de amilosa lixiviados en el sobrenadante disminuyó con el aumento de las tasas de calentamiento.

Nuevamente Palav col., (2007) realizó otro estudio, donde el objetivo principal fue entender los cambios físico-químicos inducidos en almidón de trigo por la acción de la calefacción e irradiación microonda. El almidón de trigo fue dispersó en agua lográndose

un contenido final de sólidos de 33%, 40% o 50%, y se calentó en un horno microonda. Después de calentar las muestras fueron almacenadas a 25°C durante un máximo de 120 horas y se analizaron de forma periódica. Los geles formados durante el tratamiento por irradiación microonda fueron significativamente diferentes a los geles de conducción con calefacción en todos los parámetros medidos. Las diferencias en las propiedades son un reflejo de las diferencias en la transferencia de calor y masa de los diferentes modos de calefacción. La falta de hinchamiento del gránulo y el gel suave que resulta son dos observaciones fundamentales. Los resultados de este estudio sugieren un mecanismo diferente de gelatinización en almidones en comparación con el calentamiento por conducción. El movimiento de vibración y el rápido aumento de la temperatura también resultar en la ruptura del gránulo y la formación de película que recubren la superficie de los gránulos.

Tiempo después, Matsumoto y col (2011) en su investigación, utilizaron carbón activado dado el efectos catalíticos de calor, cuyo uso sugiere mejorar la sacarificación del almidón por auto hidrólisis en agua bajo el campo electromagnético del microonda. Los resultados fueron comparados con los nano tubos de carbono y grafito, indicando que tanto la capacidad de adsorción de malto-oligosacáridos y los efectos catalíticos de los puntos calientes surgido en la estructura de la superficie irregular de carbón activado puede contribuir a la mejora de la sacarificación de almidón.

2.6 Pulso de luz ultravioleta (PL).

Los pulsos de luz son producidos utilizando tecnologías de ingeniería que multiplican la potencia de la luz varias veces. La potencia se magnifica por la acumulación de energía eléctrica en un condensador que almacena energía por tiempos relativamente largos (fracciones de segundos). Esta energía almacenada se utiliza para realizar el trabajo en tiempos mucho más cortos (millones o miles de segundos con ayuda de lámparas de Xenón que convierte la energía eléctrica en luminosa). El resultado es una potencia elevada durante el ciclo de trabajo, con un gasto moderado en el consumo de energía (Dunn, 1996).

Cada pulso de luz dura solamente millonésimas de segundos. Durante cada pulso que pasa la intensidad de la luz es de unas 20.000 veces la intensidad de la luz del sol en la superficie terrestre (Dunn, 1996).

Esta técnica ha recibido varios nombres en la literatura del campo científico: la luz ultravioleta pulsada (Sharma y col., 2003), luz pulsada de amplio espectro de intensidad (Roberts y col., 2003), la luz pulsada (Rowan y col., 1999) y pulsado de luz blanco (Marquenie, Geeraerd y col., 2003).

Cudemos, 2010 señala que el sistema PL consta de tres componentes principales: la fuente de alimentación, el dispositivo de configuración de pulso y la lámpara. La energía es almacenada en un condensador de alta potencia por un periodo relativamente largo (una fracción de segundo) de la que se libera a una unidad especial de lámpara de xenón en un tiempo mucho más corto (nanosegundo a milisegundos). La energía que entra a la lámpara produce un pulso de luz intenso que se concentra en el área de tratamiento, que suele durar unos pocos cientos de microsegundos. La luz producida incluye radiaciones electromagnética ultravioleta de onda corta (UV-C) (Elmnasser y col., 2007). Este sistema

trabaja con lámparas de xenón que pueden producir destellos varias veces por segundo (Gómez- López y col. 2007) solo se requiere de pocos destellos para producir un alto nivel de inactivación microbiana (Mirriott, 1999).

Las radiaciones electromagnéticas son emitidas y propagadas por medio de ondas que poseen las siguientes características: longitud de onda (λ), la frecuencia (ν) y energía (E). El termino luz se utiliza generalmente para referirse a las radiaciones del espectro electromagnético, que van desde 180 a 1100nm, que incluye a los rayos ultravioleta (UV, $\lambda= 180-400\text{nm}$ aproximadamente, que a su vez se subdivide en UV-A (onda larga), de 315 -400, UV-B (onda media), de 280 a 315 nm y UV-C (onda corta), de 180 a 280 nm, luz visible y luz infrarroja ($\lambda= 700$ a 1100 nm). La luz puede ser emitida por diferentes fuentes y por diferentes mecanismos, debido a la transición espontanea de algunos átomos de un estado excitado a un estado de menor energía (Palmieri y Cacace, 2005).

Cuando la energía de la luz irradiada E_0 golpea la superficie de un cuerpo material, una parte de su energía (rE_0 , donde r es el coeficiente de reflexión del material) se refleja en la superficie, una parte de ella es absorbida por las capas de material a través de la cual penetra y la otra parte se transmite a las capas internas. La energía $E(x)$ (Ecuación 1) de la luz transmitida a una distancia x por debajo de la superficie a un cuerpo material disminuye con x de acuerdo con la ley de Lambert-Beer (Dunn y col., 1989).

$$\text{Ecuacion1. } E(x) = (1-r) E_0^{-\alpha x} \quad (1)$$

Donde α es el coeficiente de extinción, que mide la transparencia o la opacidad del material dado. La mayoría de los sólidos son opacos ($\alpha \rightarrow \infty$) y no transmiten radiación, mientras que una gran cantidad de líquido y todos los gases son transparentes ($\alpha \rightarrow 0$) y no absorben toda la energía. Por lo general, en la mayoría de los materiales (incluyendo a los alimentos), la intensidad de la luz disminuye rápidamente (Palmieri y Cacace, 2005).

La energía absorbida **Ed** (ecuación 2) por una capa de profundidad **d** por debajo de la distancia **x** es:

$$E_d = E(x) (1-r) E_0 e^{-(\alpha) d} \quad (2)$$

La energía de luz absorbida en general se disipa como calor, generando un aumento de temperatura (**ΔT**) igual a:

$$\Delta T = E_d / \rho \text{ cp } A d \quad (3)$$

Donde **ρ** y **cp** son la densidad y el calor específico del material respectivamente y **A** es el área de la superficie. **T** es un gradiente de temperatura entre el exterior y las capas más internas del material que da lugar a una transferencia de calor por conducción dentro del material. La tasa de transferencia de calor y el aumento de la temperatura depende de la intensidad y la duración de la radiación incidente y de las propiedades térmicas del material (Palmieri y Cacace, 2005).

El efecto de la radiación sobre un cuerpo puede ser mejor evaluado mediante la densidad de energía **F** fluencia, definida como la energía recibida de la lámpara por la muestra por unidad de superficie durante el tratamiento , que se mide en joule/metros² o cm² (Gómez-López y col.,2007).

La luz puede ser irradiada de forma continua o en forma púlsar. Grandes cantidades de irradiación de luz deben ser aplicadas con el fin de comprender mejor la transferencia de energía a un material por medio de una serie de pulsos de luz. Si un proceso consiste en un numero **n** de pulsos y cada uno de ellos tiene una duración **t** y una densidad de energía o fluencia **F**, la duración total es de **T_{tot} = n* t**, definido como la duración del tiempo del tratamiento, la frecuencia es **f = 1/ T**, la fluencia o energía total **F_{tot} = n* F** (Palmieri y Cacace, 2005).

Finalmente, la densidad de potencia de pulso o tasa de flujo de energía $Fr = Ft$, se puede definir como la energía recibida de la lámpara por la muestra en unidad de área por segundo y es medida en Watt/metros² (W/m²) (Gómez –López y col.; 2007).

Los pulsos de luz ultravioleta que se utiliza para la aplicación sobre alimentos normalmente emiten 1 a 20 flashes por segundo en una densidad de energía en el rango de 0,01 a 50 J cm⁻² en la superficie (Barbosa-Cánovas y Col., 1998).

Gómez-López y col., 2007 expresan que la determinación adecuada de la influencia que recibirá un cuerpo al que se aplica PL, es el factor más importante en la caracterización de un tratamiento con PL, sin embargo, a veces es ignorado o mal informado. La determinación de la fluencia puede ser compleja, lo que requiere un buen conocimiento de las propiedades de la luz. Debe tomarse precaución en la presentación de informes de la energía recibida por la muestra, que es sustancialmente diferente de la energía suministrada por la luz de origen.

Las características más importantes que posee la liberación de energía por pulsos de luz es que, aparte del número y la duración de la energía proporcionada por este tratamiento es mayor que la proporcionada por la radiación continua, en cuanto a la energía total equivalente. Mientras más corta es la duración, mas alta es su energía. Por esta razón, si se compara con la radiación continua, los pulsos de luz muestran una capacidad de penetración mucho mayor a través de los materiales (Dunn y col., 1989). Además, los PL proporcionan enfriamiento en el periodo entre cada destello y por lo tanto reduce la acumulación de temperaturas de irradiación continua de la luz UV (Mc Donald y col., 2000).

El autor comenta que entre las ventajas del tratamiento PL ultravioleta se encuentra en la falta de compuestos residuales, y la ausencia de la aplicación de productos químicos que

pueden causar problemas ecológicos y/o potencialmente dañinos para los seres humanos. Las lámparas de xenón flash son más amigables que las lámparas UV porque no utilizan mercurio. Entre las desventajas se tiene el calentamiento que se produce al aplicar PL sobre las muestras, que aunque es leve, es el factor más importante que limita PL para aplicaciones prácticas. El calor puede originarse por la absorción de la luz por el alimento o por el calentamiento de la lámpara.

Otra desventaja de los tratamientos de PL es la posibilidad de sombra o efecto de sombreado. Además de esto la profundidad de penetración es pobre para bajo emisiones de baja potencia, mientras que la esterilización PL tiene comparativamente mayor penetración de profundidad y potencia de emisión.

Por otra parte, Gómez-López y col. (2007), recomiendan que es importante tomar algunas consideraciones cuando se diseña un tratamiento PL para los productos alimenticios, el número de pulsos, la distancia de la fuente de luz, y espesor del producto son parámetros críticos para el proceso optimización, a fin de maximizar la eficacia contra la microorganismos y para reducir al mínimo la alteración del producto. Dunn y Col., (1989) trabajando con muestras de pan tratadas con pulsos de 16 J/cm^2 , encontraron un aumento de temperatura en la superficie del pan, la cual es insignificante cuando se utiliza 1 pulso y alcanza valores cerca de 5°C cuando se utilizan dos pulsos. Sin embargo, cuando la duración de la intensidad de la luz o el tratamiento es relativamente alta, el aumento de la temperatura del producto puede ser mayor de lo deseado, causando el quemado de las capas superficiales de los alimentos.

2.6.1 Trabajos realizados empleando tecnología de pulso de luz ultravioleta.

Actualmente muy pocos trabajos se han reportado sobre la aplicación de la tecnología de Pulsos de Luz en almidones para modificar su estructura. Los trabajos más abundantes, recientes y de mayor frecuencia en donde se aplica esta tecnología son sobre alimentos para lograr la inactivación microbiológica. A continuación, mencionaremos trabajos de investigadores que lograron este objetivo, proponiendo que así como ocurre una modificación en las células de los alimentos y de los microorganismos bajo el efecto de los Pulsos de Luz, podrían ocurrir posibles modificaciones en los compuestos amiláceos (principalmente la amilosa y amilopectina) que cambiarían considerablemente las propiedades funcionales y características del almidón.

La luz pulsada (PL) es una técnica para descontaminar superficies eliminando a los microorganismos mediante pulsos intensos de un amplio espectro, rico en luz UV-C.

Según Wekhof (2000), los primeros trabajos sobre la desinfección con lámparas de destello se realizaron a finales de 1970 en Japón, y las fechas de la primera patente de 1984 (Hiramoto, 1984). Banco, Juan, Schmehl y Dracht (1990) (citado por Wekhof 2000), publicaron el que parece ser el primer trabajo en la literatura científica sobre la aplicación de los PL para inactivar los microorganismos. Mediante el uso de una fuente de luz UV-C de 40 Wat teniéndose un pico de máxima potencia, se logró una disminución de 6 a 7 registros del número de células viables. La técnica de tratamiento UV-C para conservar los alimentos fue descubierta en la década de 1930 (Arte y de Allende, 2005).

Gómez y Col., (2005) no observaron ningún patrón de sensibilidad entre los diferentes grupos de microorganismos, después de estudiar 27 levadura bacteriana, y especies de moho, empleando mecanismo de inactivación UV-C como la parte más importante del espectro ya que las lámparas de xenón flash tienen un espectro de emisión que van desde el ultravioleta a la luz infrarroja, pero la parte de UV-C es la más importante para la inactivación microbiana. La acción letal del PL puede ser debido a un efecto fototérmico y/o un mecanismo fotoquímico. Es posible que ambos mecanismos coexistan, y la importancia relativa de cada uno dependería de la influencia de microorganismos. La mayoría de los autores explican sus resultados sobre la base del efecto fotoquímico. Cambios estructurales en el ADN es la principal causa de la inactivación de microorganismos por PL y posibles daño en las membranas, proteínas y otros macromoléculas juega un papel menor. Sin embargo, existe evidencia de que el efecto fototérmico también puede ocurrir. Hiramoto (1984), al trabajar *A. niger* encontró que al ser absorbidos los rayos en la superficie del moho este se calentó de forma instantánea, lo que proporciona una especie de esterilización térmica. Dunn y col., (1989) explican la inactivación de microorganismos con PL por ambos mecanismos, haciendo hincapié en que los pulsos de luz calientan una capa superficial de los alimentos de tal manera que el calor que se produce en la superficie finalmente se llevará a cabo en el interior del producto. Sin embargo, la cantidad total de calor que se produce puede ser pequeña en relación con la cantidad de calor esencial que se necesita para elevar la temperatura de la totalidad del producto.

De acuerdo a McDonald y col., (2002) varias teorías predicen una muerte más rápida de las células vegetativas con PL. La más probable de la teoría postula que un alto flujo de fotones procedente de una fuente pulsada simplemente abruma los mecanismos de reparación celular antes de que la reparación pueda ser completada. En alguna

proporción la profundidad de la luz puede penetrar en el alimento, es decir, el carácter superficial del proceso de descontaminación con PL no debe considerarse limitada a una pequeña capa superficial de los alimentos debido a que un cierto grado de inactivación se puede producir por debajo de la superficie del alimento.

Por otra parte McDonald y col., (2002), comentan que para la descontaminación de los alimentos sólidos, la situación se divide en tres casos. El primero y más importante de los casos, es que los componentes de los alimentos absorben la luz pulsada y no se logra inactivar los microorganismos debido a que la luz es absorbida en la superficie, por lo que mientras más opaca y más gruesa sea la pieza de comida, menor es la inactivación por debajo de la superficie. La inactivación de microorganismos por debajo de la superficie se ha demostrado por el modelo de Gardner y Shama (2000) para UV. El segundo caso es que toda la superficie de los alimentos debe ser irradiada con el fin de lograr la descontaminación de su superficie total, en caso de irregularidades en la superficie de los alimentos se tiene otra complicación para lograr la inactivación. El último caso es que los trozos de alimento pueden hacer sombra unos sobre otros cuando se trata junto. En ambos casos se requieren soluciones de ingeniería (Gardner y Shama, 2000).

Otros trabajos señalan que la eficacia de la inactivación de PL es mayor cuando la muestras están más cerca de la lámpara (Hillegas y Demirci, 2003; Ozer y Demirci, 2006). Una ecuación para describir el efecto de distancia, teniendo en cuenta tanto la fotoquímica y los efectos fototérmico fue descrito por Gómez- López y col., (2005a). Los autores demostraron que cuando un grupo de muestras se coloca a una distancia verticalmente corta de la lámpara, los situados directamente debajo de la lámpara son descontaminados, mientras que el resto se someterá a casi nada de descontaminación. Cuando la distancia vertical es mayor, la descontaminación será menos intensa en las

muestras: así esté situada directamente debajo de la lámpara, pero el resto de las muestras también será descontaminado.

Gómez-López y col., (2005b) trabajaron con *Photobacterium phosphoreum*, *L. monocytogenes* y *Candida lambica* inoculado en superficies de agar suplementado con varios componentes de los alimentos. Los resultados demostraron que las proteínas y aceite empleados como suplementos disminuyeron la eficacia de la descontaminación por PL, mientras que cuando el agua o el almidón se añadieron al agar como suplemento, ninguna tendencia particular, se observaron.

Los PL también han sido probados para descontaminar alimentos en polvo y semillas. Junio y col., (2003) (reportado por Gómez-López y col., 2005b) reportaron una reducción de 4,96 log de esporas de *A. niger* inoculado en la harina de maíz. Fine y Gervais, (2004) encontró una reducción de 1 log en células de *S. cerevisiae* inoculada en la harina de trigo y pimienta negra concluyendo que el color de los alimentos puede ser modificado por PL, lo que pudo ser evidente al trabajar las muestras tratadas con PL con el método de colorimetría, obteniéndose resultados que mostraron una rápida modificación del color en el producto mucho antes de que se llegara al umbral de descontaminación, siendo más evidente en la pimienta negra que en la harina de trigo. Esta modificación del color se atribuye al recalentamiento combinado con la oxidación de los componentes del alimento; así mismo, se observó una diferencia significativa de color entre la harina de trigo y la pimienta negra, esta última es un producto de color oscuro por lo que absorbe más energía y modificó más su color, que la harina de trigo que es un producto de color esblancuzco y refleja con facilidad la luz.

Por otra parte, la tecnología de PL como tratamiento para los alimentos ha sido aprobada por la FDA (1996) bajo el código de 21CFR179.41. Según Dunn y col., (1997), en la evaluación de la inocuidad de los alimentos tratados con todas las formas de radiación, la agencia considera que los cambios en la composición química de los alimentos que pueden ser inducidos por el tratamiento propuesto, también puede incluir posibles cambios en los niveles de nutrientes.

Otro aspecto que es importante señalar el efecto de sombreado que perjudica la efectividad de la radiación. Los alimentos con asperezas o superficies irregulares, grietas o poros no son adecuados para PL.

PL no es una tecnología adecuada para los cereales, granos, y especias, debido a su naturaleza opaca, pero puede ser un método eficaz para descontaminar el material de embalaje.

Por último, Rodríguez, (2011) modifico con PL el almidón de apio y evaluó sus características, físicas, químicas, fisicoquímicas y los parámetros de viscosidad, pero no encontró para ninguno de los parámetros evaluados diferencias significativas ($p \geq 0,05$), por lo que considera que los pulsos de luz no producen un efecto modificador en el almidón de apio.

2.6.2 Trabajos realizados empleando tecnología de luz UV aplicado en almidones.

La mayoría de los trabajos de investigación sobre la modificación del almidón por irradiación UV han empleado una fuente artificial UVC (Bertolini y col., 1998; Fiedorowicz y col., 1999). Varios investigadores han afirmado que la luz solar, en particular ciertas longitudes de onda UV son esenciales para la capacidad de expansión de la cocción del almidón de yuca (Bertolini y col., 2001; Cárdenas y col., 1980; Dufour y col., 1996).

En un estudio sobre la modificación oxidativa de almidón de yuca con ácido láctico junto con el secado al sol, se observó un aumento de volumen en las muestras de galletas elaboradas con almidón de yuca modificado, pero este aumento de volumen no se produce cuando el almidón fue secado en el horno (Mestres y col., 1997; Plata-Oviedo y col., 1998). Por otra parte, se encontró que la acidificación láctica del almidón de yuca expuesta a la irradiación UV de una lámpara de vapor de mercurio de banda ancha 250 a 600 nm produjo cambios marcados en la capacidad de expansión (Bertolini y col., 2000).

Se conoce que la luz solar ultravioleta (UV) se pueden clasificar en UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) y UVC (100 - 280 nm), las longitudes de onda corta son menores de 290 nm sometidos a una absorción significativa por la atmósfera en la capa de ozono (Nee, 1996; Organización Mundial de la Salud, 1994).

Vatanasuchart y col., (2005) al realizar pruebas para evaluar la viscosidad, alguno de los resultados obtenidos muestran que los picos de viscosidades de los almidones irradiados con UVB de 7 y 9 h, los irradiados con UVC y almidones secado con aire caliente; muestran que la irradiación UVB en almidones poseen la capacidad de expansión deseada mostrando menos cambios en los picos de viscosidad en relación a la mostrada por los almidón comercial. Junto con la acidificación láctica y la suficiente energía ultravioleta, se produce como resultado una despolimerización parcial de las moléculas de almidón de yuca. Así mismo, cuando la pasta de almidón se calienta, las moléculas de almidón modificado se asocian más fácilmente con las moléculas de agua, dando lugar a un pico de viscosidad más alto en especial en las muestras irradiadas con UVB que en los tratados con la irradiación UVC o los que fueron tratados al secado en aire caliente que muestra demasiado almidón despolimerización.

En otro estudio realizado por los mismos autores para examinar los efectos del almidón de yuca que previamente pasó por un proceso de acidificación-láctica y fue sometido a diferentes longitudes de onda UV evidenciaron cambios en las propiedades moleculares responsable del comportamiento de expansión durante la cocción. Características térmicas, perfiles aparentes de amilosa y distribuciones del tamaño de amilopectina en el almidón modificado se determinaron y compararon.

Por otra parte, los comportamientos reológicos de la masa de almidón de yuca y su aumento de volumen al momento de ser horneada, pueden estar relacionados por la irradiación ultravioleta y tratamiento con ácido láctico. Ventilador y col., (1999) (citado por Vatanasuchart y col., 2005) presentó un modelo para la expansión de la masa y las etapas del crecimiento de la burbuja de viscosidad líquida. Sus resultados mostraron que el aumento de la viscosidad está asociado a la presión interna de las burbujas de la masa que aumentó dramáticamente y esto dio lugar a mayores tensiones de tracción en la superficie de las celdas lo que resultó la ruptura de células al final de la subida del horneado. Además, Bertolini y col., (2001) encontraron que la expansión del almidón de yuca durante la cocción se puede atribuir a que aumenta la presión por la evaporación del agua, y existe por lo tanto una baja viscosidad debido a la despolimerización del almidón lo que reduciría la fuerza de resistencia a la expansión. El crecimiento de la burbuja finalmente condujo a una estructura celular con una matriz formada por un tamaño reducido de almidón de yuca. Por lo tanto, en donde se ha despolimerizado la pasta de almidón habrá una baja viscosidad de la pared de la burbuja y una resistencia al crecimiento de la burbuja debido a esa baja viscosidad, por lo tanto la expansión al hornear fue producida por la formación amorfa de la estructura de la matriz con los enlaces de hidrógeno. Cuando la degradación era demasiado amplia en las paredes de la

burbuja se pierde su integridad inicial, se rompen en menores capas sin causar expansión de los almidones tratados con la energía de alta intensidad.

En la investigación realizada de las temperaturas de gelatinización de los almidones de yuca que tiene una capacidad de expansión para hornear, se encontró que los almidones acidificados e irradiados con UVB y UVC para 9 h tuvieron una temperatura inicial de gelatinización más alta que aquellos almidones irradiados durante 7 h respectivamente.

Estos almidones modificados fueron significativamente mayores que los del almidón comercial. El hallazgo de un ligero aumento de la aparición y el pico de temperatura de los almidones podría deberse a la estabilidad de la estructura cristalina inducida por reacciones de modificación. Se concluye que la aparición y temperaturas máximas no se modificaron en un 1% para la acidificación láctica y UVA, UVB o UVC para irradiación con cortos períodos de 7 horas, mientras que se vieron afectados en el largo períodos de 9 a 15 h ya que las temperaturas tienden a aumentar con un aumento en el período de irradiación.

Por otra parte, Vatanasuchart y col., (2005) al evaluar los cromatogramas de las muestras observaron patrones de tres picos distintivos similar a la del almidón comercial; estos son: fracción I, que consiste de alto peso molecular, principalmente moléculas de amilopectina, fracción II, que consta de tamaño intermedio moléculas y la fracción III, integrado por los de bajo peso molecular peso o moléculas lineales de amilosa. Cuando los almidones tratados con acidificación láctica fueron irradiados con la UVA, UVB o UVC para 9 h, fracción I no se había desplazado a un mayor tiempo de retención, o un menor peso molecular. Pero almidones irradiados con la energía de alta intensidad de los rayos UV, especialmente con UVC mostraron picos más grandes del de la fracción I, al aplicar los otros tratamientos de radiación las moléculas llegaron a ser de tamaño intermedio de la

fracción II tendió a aumentar de tamaño. Fracción III de los almidones acidificados expuestos a cualquiera de los tratamientos de radiación UV, desplazado a un mayor tiempo de retención o menor tamaño molecular, en particular, UVC provocan un cambio distintivo en la distribución de tamaño molecular.

Además de lo anterior, Vatanasuchart y col., (2005) explican que los resultados obtenidos indican que tanto las moléculas de amilosa y amilopectina que son irradiadas con UVC logra degradado las moléculas de amilosa, estos cambios moleculares son los responsables de la capacidad de expansión al hornear la masa que contiene almidón de yuca. Wang y Wang (2001) encontraron que las moléculas de ambos, amilosa y amilopectina, se reducen simultáneamente por hidrólisis ácida de los distintos almidones similares al presente estudio, pero su resultado indicó que el tamaño molecular de la porción de amilosa aumentaba debido a la hidrólisis de las moléculas de amilopectina.

Entre las conclusiones de este estudio los autores encontraron que el almidón de yuca modificado con hidrólisis ácido láctica durante 15 minutos y la exposición a la radiación UVB o UVC de 7, 9, 11 h fue eficaz en proporcionar propiedades de expansión para hornear. Dado que las moléculas de almidón en las regiones amorfas se han despolimerizado en parte por la hidrólisis ácido láctica y la irradiación UV efectuó la reducción del tamaño de las moléculas de almidón que eran responsables de la expansión durante la cocción. En cuanto a las propiedades térmicas, los almidones modificados de yuca mostraron patrones similares a la del almidón comercial. Los cambios estructurales que contribuyen a la expansión de hornear no se ven afectados por la entalpía de transición para el almidón de yuca. Sin embargo, un ligero aumento de las temperaturas de los almidones irradiados con UVB o UVC de 09.15 h afecta la estabilidad de la estructura cristalina. El estudio cromatográfico indicó que las moléculas de

amilosa, principalmente fueron degradados por la radiación UVB y que tanto amilosa y las moléculas de amilopectina fueron degradados por irradiación UVC, observándose cambios durante períodos de irradiación de 7 a 9 h siendo los responsables de la expansión de cocción del almidón de yuca. El grado de polimerización (DPN) mostró claramente una reducción en las moléculas de amilosa en los almidones acidificados irradiado con UV. Por lo tanto, una reducción en las moléculas de amilosa y amilopectina en el almidón de yuca acidificada e irradiados con UVB o UVC de 7 y 9 h causa despolimerización parcial de pequeños fragmentos lineales lo que facilitó la formación de una estructura de matriz amorfa de pasta de almidón durante la horneada. En consecuencia, una expansión del almidón de yuca se ha logrado. Por el contrario, una excesiva y prolongada exposición de 15 horas a la energía radiante de UVC no proporcionar una estructura eficaz para la expansión.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General:

- Aislar, purificar y modificar con pulso de luz UV e irradiación microonda el almidón extraído del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*).

3.2 Objetivos Específicos:

- Caracterizar morfo- anatómicamente tubérculos del ocumo criollo.
- Aislar y purificar el almidón del ocumo criollo.
- Modificar el almidón nativo de ocumo criollo con el empleo de pulso de luz UV.
- Modificar el almidón nativo de ocumo criollo con el empleo de irradiación microonda.
- Caracterizar la composición proximal, propiedades reológicas, física y fisicoquímicamente del almidón nativo y modificado por pulso de luz e irradiación microondas.
- Caracterizar funcionalmente, los almidones nativos y modificados y compararlos.

4. Metodología

Para la caracterización del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) se trabajo con una muestra representativa de ocumo obtenido de un mercado público de procedencia conocida y se analizó su composición proximal siguiendo los protocolos que se mencionaran a continuación.

4.1 Características de la Materia Prima

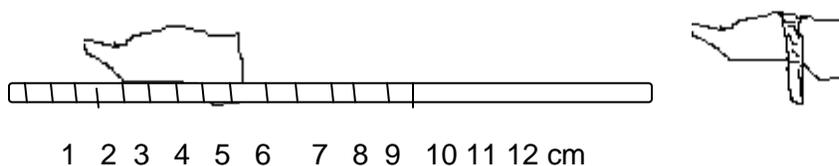
Materia prima: 5 kg de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) procedentes de un mismo cultivo y que se expende en el mercado público de Charallave, Estado Miranda.

4.1.1 Lugar de procedencia de la materia prima: Altagracia de Orituco, ciudad situada en el estado Guárico, capital del Municipio José Tadeo Monagas, esta región es apropiada para el cultivo del ocumo criollo; ya que es una planta exigente que requiere de temperatura entre 25-30°C y precipitaciones entre 1800 a 2500 mm, además de adaptarse muy bien a suelos con pH entre 4,5 y 6,0. Existen variedades que se cultivan bajo inundación y también en suelos bien drenado; no es exigente en fertilidad del suelo, pero responde a la aplicación de fertilizantes.

4.2 Características Morfo anatómicas (físicas y morfológicas) del tubérculo.

Se caracterizaron los 5Kg ($n \geq 18$) de tubérculos de ocumo criollo de la siguiente manera:

1: Se midieron sus dimensiones; tanto largo, como ancho con la ayuda de una cinta métrica.



2: Se realizará la evaluación visual del color del tubérculo.

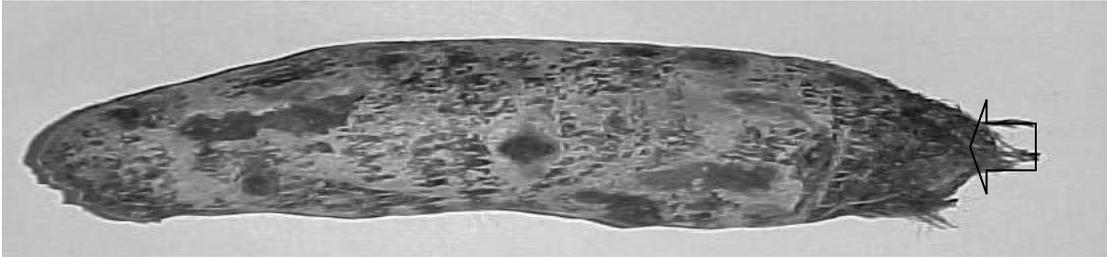


Figura 3. Aspecto externo del tubérculo o cormo de *Xanthosoma saittifolium* variedad venezolana. La flecha indica la presencia de hojas secas en forma de túnica y raicillas características del órgano. Fuente Pérez, 2001.

4.2.1 Determinación del Rendimiento del almidón

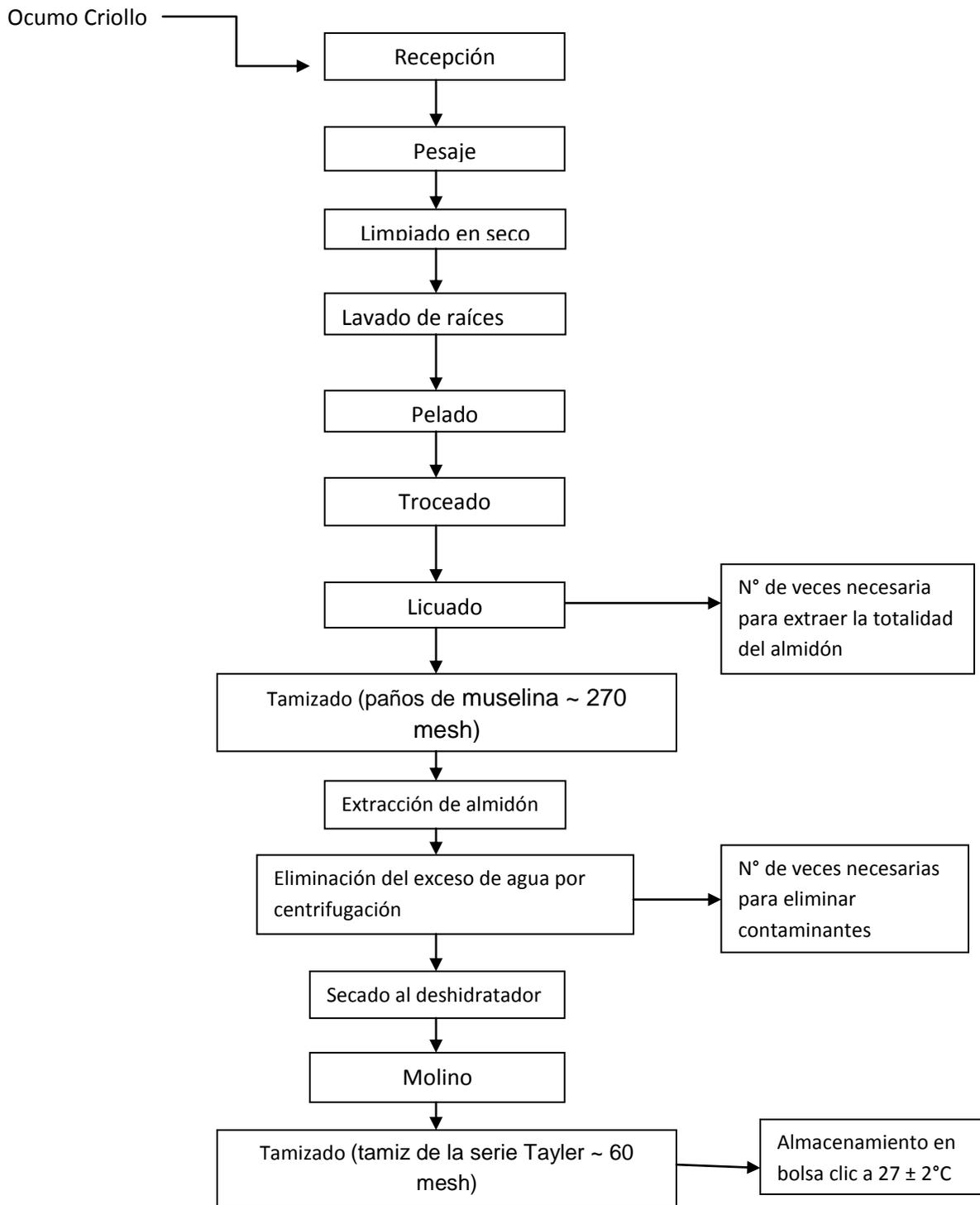
1: Se procedió a pesar en una balanza analítica cada tubérculo con cáscara y luego el conjunto (cáscara y parte comestible) para obtener el peso total.

2: Se retiró la cáscara de cada uno de los tubérculos manualmente y se procedió a pesar cada uno por separado, en una balanza analítica y luego el conjunto (tubérculo con cáscara) para obtener el peso total sin cáscara.

3: Se pesó el total de cáscara retirada de todos los ejemplares para cuantificar la cantidad de producto a procesar.

4.3 Extracción del almidón:

La extracción del almidón de la parte comestible de los tubérculos de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*), se realizó de acuerdo al método descrito por Pérez y col, 2003, siguiendo el siguiente esquema:



Esquema 1. Extracción del almidón de ocumo criollo

Una vez que la materia prima se evaluó morfológicamente, se procedió a picar manualmente en trozos pequeños (± 1.0 a 2.5 cm los tubérculos ya pelados previamente). Estos trozos fueron introducidos en una licuadora industrial (marca Oster, modelo 567) con una cantidad suficiente de agua destilada que permitió licuarlo para producir la liberación del almidón por ruptura o maceración del tejido. Este paso, de licuando, se repitió cuantas veces fue necesario (usualmente 3 a 4 veces) para que así, fuese extraída la mayor cantidad de almidón posible. Seguidamente este homogeneizado se pesó a través de tamices (paños de muselina ~ 270 mesh) los cuales fueron prensados para logra la extracción del almidón en medio acuoso y retener en el tamiz la fracción fibrosa del tubérculo la cual fue desechada. El almidón extraído (lechada) pasó por un proceso de centrifugado (centrifuga marca DAMON/IEC-División Modelo CRV-5000 A 4000 R.P.M) y lavado cuantas veces fue necesario para eliminar la capa superior con los contaminantes y el exceso de agua (aproximadamente unas 4 veces). La pasta de almidón obtenida fue puesta en capas delgadas en bandejas de aluminio, las cuales fueron colocadas en la bandeja del deshidratador (Michell dryers, modelo 700H, New York). Estas bandejas se introdujeron en la cámara del deshidratador a un flujo constante de aire caliente a 45°C por 24 horas o hasta que estuvo completamente seco. El almidón fue molido en un molinillo para obtener un polvo suelto y se tamizó (60 mesh) (se uso tamices ASMT de 20, 30, 40, 50 y 60 mesh). Luego se empacó en bolsas clic con cierre hermético. El almidón fue empaquetado y almacenado a temperatura ambiente ($27 \pm 2^{\circ}\text{C}$) para los análisis posteriores.

4.4 Caracterización del almidón.

4.4.1 Determinación de humedad

La determinación del contenido de humedad del almidón extraído del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) se realizó de acuerdo a la técnica: AACC, 2003, sección N°44-19.

4.4.2 Determinación del contenido de proteínas.

La cuantificación del contenido del almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) se determino de acuerdo a el método de Micro-KJELDAHL, técnica: AACC, 2003, Sección N°46-13 usando el factor N x 6, 25.

4.4.3 Determinación del contenido de grasa.

La determinación del contenido de grasa del almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*), se de acuerdo al método de Schoch, 1964.

4.4.4 Determinación de cenizas en almidón.

La determinación del contenido de cenizas del almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*), se realizó de acuerdo a la técnica: AACC, 2003 sección N° 08-17.

4.4.5 Determinación de la pureza del almidón.

Se realizó mediante la siguiente fórmula:

% de pureza= $100 - (\% \text{ proteína cruda} + \% \text{ grasa cruda} + \% \text{ ceniza})$

4.4.6 Determinación del contenido de fósforo.

La cuantificación del contenido de fósforo en el almidón ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*), se determino de acuerdo el método colorimétrico según lo descrito por la AOAC (2000).

4.5 Determinación de los parámetros físicos y fisicoquímicos del almidón.

La determinación de pH y acidez del almidón del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) se realizó de acuerdo al método de Smith y col, (1967). Se pesó para esta determinación 10 g de almidón nativo en un beacker de 250mL, se le añadió 100mL de agua destilada, agitando con una varilla de vidrio, hasta suspensión homogénea; se dejó en reposo por 30 min (agitación ocasional). Se decantó el sobrenadante y se determinó el pH en un pHmetro; posteriormente se tituló el sobrenadante con NaOH 0,01N empleando como indicador fenolftaleína y se cuantificó el contenido de acidez según la ecuación:

$$\text{Acidez (meq/g)} = \frac{A \times N}{\text{Peso de muestra (g)}} \times 100$$

4.6 Propiedades Réológicas

4.6.1 Determinación del amilograma, viscosidad y consistencia del gel.

Las determinaciones de amilografía, viscosidad y consistencia del gel del almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) se realizaron de acuerdo a los métodos descritos en AACC, 2003, sección n° 22-10, Smith y col., 1967. Estos análisis se realizaron con el Viscosímetro de Brokfield y el de consistencia con el método de Cagampang y col 1973.

5.6.2 Determinación de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento.

Se determinó según los procedimientos descritos por Whistler R.L. 1964 modificado por González Z., Pérez E. 2002. Se pesó exactamente 4 g de almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) en el balón de tres cuellos, al cual se le agregó 200 mL de agua destilada y se introdujo un agitador de magneto que permitió mantener en suspensión el almidón, seguidamente se colocó el balón en una manta de calentamiento, se ajustó el termostato para que la temperatura aumentara 1,5°C por minuto y en una de las bocas se colocó un termómetro, en la del medio un refrigerante y se mantuvo la tercera boca del balón tapada, excepto en el momento de tomar las alícuotas. En ese momento se tomo la alícuota a intervalos de 5 °C entre 60 °C y 90 °C, por el cuello del balón con el tapón. Previamente a la toma de alícuotas se identificaron y pesaron los tubos de centrifuga, así como las cápsulas de porcelana, llevadas a peso constante. Una vez comenzado el proceso y llegado al primer valor de temperatura deseado se tomó con pipetas volumétricas las alícuotas de 10 mL de la suspensión y se colocaron en los tubos de centrifuga. Se dejó enfriar en agua corriente, los tubos se secaron con papel de seda y se procedió a pesar (A) cada uno de los tubos; se centrifugaron a 12000 rpm durante 20min, en una centrifuga con cabezal en ángulo. Una vez centrifugado se decantó el líquido sobrenadante, de cada uno de los tubo, en las cápsula de porcelana tarada e identificada, se evaporaron a sequedad en una plancha de calentamiento hasta no observar humedad y luego se colocaron en un desecador al vacio a 60 °C durante 16 horas, luego se dejaron enfriar en un desecador a vacio y se procedió a pesarlas (b). Se peso, asimismo, el sedimento dejado en cada uno de los tubo (a).

Se realizaron los siguientes cálculos y determinaciones:

W1= porcentaje de almidón (base seca) en la suspensión

$$W1 = \frac{\text{Peso (g) almidón (base seca)}}{\text{Peso (g) almidón (base húmeda) + 200}} \times 100$$

W2= peso del almidón en cada alícuota (g)

$$W2 = \frac{A \times W1}{100}$$

W3= peso del almidón residual (sedimento) de cada alícuota (g)

$$W3 = W2 - b$$

A.A.= g de agua absorbida/ g de almidón %

$$A.A. = \frac{a - W3}{W3}$$

% S.S= porcentaje de sólidos solubles

$$S.S = \frac{b}{W2} \times 100$$

P.H= poder de hinchamiento

$$P.H = \frac{a \times 100}{W2 (100 - \% S.S.)}$$

4.7 Propiedades físicas.

4.7.1 Color.

Para la determinación de este parámetro, se uso un equipo de colorimetría marca HUNTERLAB, colorímetro de triestimulo, modelo Color Flex, que se maneja a través de un software versión 410, empleando la escala CIELAB, con un observador de 10° y un iluminante D65.

Para evaluar el color de, los almidones, se determinaron los siguientes parámetros L*, a*, b*. (Good, 2002). Estas determinaciones se realizaron siguiendo el método descrito por Giese, (1995) y Manual Hunter Lab. (2001). Para él se colocó cierta cantidad de muestra en el porta muestra del equipo, previamente calibrado de acuerdo a las especificaciones

del equipo y se midió color, estas mediciones se realizaron en replicas de tres para cada una de las muestras.

Se obtuvieron los valores de los siguientes parámetros:

L*: Índice de claridad y luminosidad (Blanco 100%, Negro 0%).

a*: Matiz, indica lo longitud de onda predominante (Rojo + Verde-).

b*: Intensidad del color (Amarillo +, Azul-).

Se calculó además el índice de blanco (IB), el cual representó la blancura total de la muestra de acuerdo a la ecuación usada por Chin-Lin (2003):

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

4.7.2 Densidad.

Se realizó según el método descrito por Smith RJ, 1967. Se pesó aproximadamente 1g de almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) y se colocó en un picnómetro previamente limpio y tarado que se llevó a peso constante, se añadió el xileno (densidad= 0,865 g/mL) hasta llenar el picnómetro evitando las burbujas de aire, se pesó y se reportó la temperatura. Por otra parte, se pesó el picnómetro con xileno.

Para la determinación de la densidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$D(\text{g/ml}) = a \times D_x / (b + a - c)$$

Donde:

Dx= Densidad del xileno.

a= peso del almidón

b= peso del picnómetro lleno de xileno.

c= peso del picnómetro con almidón y xileno.

4.7.3 Granulometría

El análisis de distribución de tamaño de partícula se realizó según el método de difracción láser descrito por Malvern Mastersizer, (2000) en el Laboratorio de Separaciones Mecánicas de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central de Venezuela. Para esto se suspendió 100 mg de muestra de almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) en 100 ml de agua destilada y se colocó la muestra en un equipo ultrasonido (15 a 30 minutos dependiendo de la muestra) para lograr la uniformidad en la muestra, antes de ser introducidas en el equipo y de este modo se evita la gelatinización del almidón. El rango en el que se opero el equipo está comprendido entre 0,020 a 2000 μm . Su funcionamiento está basado en la teoría completa de difracción de Mie y Fraunhofer (Pérez y González, 2010).

4.7.4 Microscopía

Para evaluar la forma de los gránulos y la cruz de malta, se utilizó un microscopio óptico estándar Nikon Optihot.2 con dispositivo fotográfico incorporado marca Nikon FX – 35D y filtro de luz polarizada de 100x según el método descrito por Sivoli y Col., (2005). El procedimiento consistió en esparcir el almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) en un portaobjetos de vidrio, se le agrego 1-2 gotas de agua destilada los cuales se mezclaron con almidón y posteriormente se cubrió con un cubre objeto, (tanto el porta como el cubre objeto fueron limpiados muy bien y secados con un paño de tela para evitar los artefactos que se puedan producir al preparar las muestras), luego de esto las

muestras fueron examinadas variando los objetivos de observación y fotografiado con una cámara digital (marca Samsun) las imágenes de interés.

4.8. Modificación física del almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*).

4.8.1 Modificación empleando Pulso de Luz UV.

Para la modificación del almidón se pesaron aproximadamente 9 g de almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) y se colocaron en bandejas de aluminio (cuyas dimensiones son 5 cm de ancho x 18 cm largo y 2 cm de altura). Se introdujo la bandeja en el equipo de Pulso de Luz, marca SleriBeam, modelo XeMaticA1XL-SA (con una distancia de 30cm entre lámpara y base) y se realizaron los ajustes del voltímetro 2,5KV =25V y luego se aplicó el pulso de luz. A cada bandeja se le aplicaron 17 pulsos de luz. Este proceso se realizó repetidas veces (33 veces) con cada bandeja de almidón hasta lograr modificar aproximadamente 300 g de almidón, luego que se modificó la cantidad de almidón deseada, esta se empaquetó en bolsas clic de doble cierre y previamente identificadas. El almidón empaquetado se almacenó a temperatura ambiente ($27 \pm 2^{\circ}\text{C}$) para los análisis posteriores.

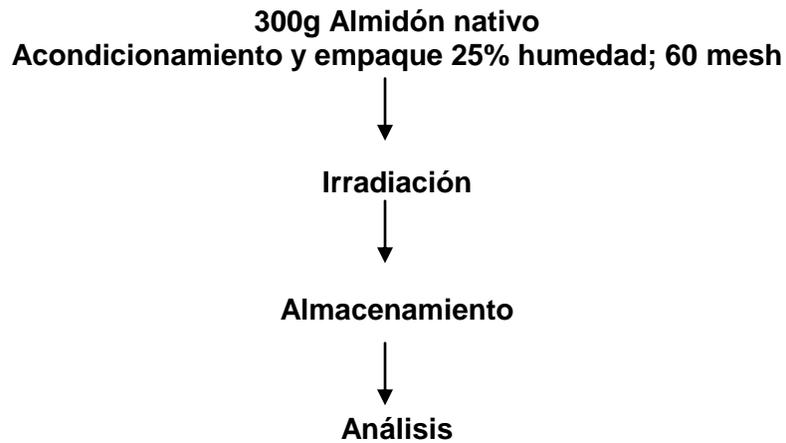
La cantidad de pulsos aplicados fue de 17 a 2,5Kv para lograr tener una irradiación de $12,22 \text{ J/cm}^2$ este valor se obtiene al multiplicar $0,7191 \text{ J/cm}^2$ (que es la energía emitida por cada pulso) por el n° de pulsos que se desea aplicar que dando que $0,7191 \text{ J/cm}^2 \times 17 = 12,22 \text{ J/cm}^2$ el numero de pulso se determino según lo permitido por la FDA (en un comunicado emitido el 15 Agosto de 1996) indica que el acumulado del tratamiento total no deberá exceder 12 J/cm^2 .



Esquema 2.Modificación del almidón de ocumo criollo mediante el uso de pulso de luz UV.

4.8.2 Modificación por irradiación microonda

El almidón de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) fue deshidratado por irradiación microonda según el método propuesto por Pérez y González, (2010). Para ello, se tomó 300 g de almidón nativo acondicionada a 25% de humedad, con una granulometría de 60 mesh, se colocó en una bolsa de polietileno, dentro del horno microonda a una temperatura ajustada de 85 °C (introduciendo una termocupla en el interior de la bolsa) (65 Watt, 50% power), por 6 min; según condiciones establecidas por Goebel y col., 1984. El almidón modificado, fue almacenado en la misma bolsa plástica con cierre hermético para ser analizado posteriormente.



Esquema 3. Flujograma de la modificación por irradiación microonda

4.9. Análisis Estadístico.

El Análisis estadístico aplicado a los datos obtenidos de la muestras de almidón nativo así como para el almidón modificado se realizó usando el programa estadístico Statigraphis Vs. 8 (Graphis SoftwareSystems Inc., USA, 1997). Para establecer la existencia de diferencias significativas entre las muestras se realizó un análisis de varianza de una y de dos vías (según los resultados), así como la prueba *T-student* $p \leq 0,05$.

5. Resultados y discusión.

5.1 Determinación de los parámetros del almidón nativo del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*).

5.1.1 Características morfo- anatómicas (físicas y morfológicas) del tubérculo

Las características morfo-anatómicas de los tubérculos permiten obtener valores de importancia en los procesos industriales que determinaran el equipo a utilizar, los procesos por los cuales será tratada la materia prima, entre otros. La Tabla 1 resume los resultados de las características físicas de los tubérculos, describiendo al ocumo criollo como un tubérculo de color marrón oscuro, pequeño y angosto en relación a otros tubérculos.

Tabla 1. Características físicas de los tubérculos de ocumo criollo.

Especie	N° Total de ejemplares		Peso (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)
Ocumo criollo	24	Valor promedio	347,08	20,01	20,04
		SD	78,27	3,79	1,56

La Tabla 1 muestra los resultados cuantitativos de las características físicas de los tubérculos de ocumo criollo. Se observan en la Tabla valores promedio de peso de 347,08g, largo de 20,01cm y ancho de 20,04cm en los especímenes estudiados. Pérez (2001), expuso que los cormos de ocumo criollo son más delgados y de menor peso que los de ocumo chino (*Colocasia esculenta*), con gran variación en el tamaño y un peso

promedio de 250 g, por lo que los resultados obtenidos en esta investigación, discrepan en cuanto al peso por lo reportado con esta autora. Esta diferencia en peso, puede deberse a las diferentes fuentes de donde se obtuvieron los tubérculos, además de las condiciones de cultivo de los mismos; en el ocumo criollo también se aprecian, pero en menor cantidad los restos de hojas en forma de túnica, sobre todo en la región apical.

Así mismo, Palomino (2010), en su caracterización de los ocumos criollos y ocumo chinos encontró diferencias ($p \leq 0,05$) entre los tubérculos de ambas especies las cuales se hicieron notorias al observar los elevados pesos obtenidos para los tubérculos de ocumo chino, los cuales en la mayoría de los casos fueron superiores ($p \leq 0,05$) a 1 kg. Dimensiones similares o mayores han sido indicadas por Pérez (2001), quien señala un valor promedio de 897,5 g, mientras que Espinoza (1974) obtuvo un peso promedio de 2,14 kg. El conocer estas características resulta de utilidad en los procesos tecnológicos de extracción de almidón y obtención de harinas (Espinoza, 1974), ya que son de interés para la selección e implantación de los equipos para el procesamiento industrial de dichos tubérculos (Pérez, 2001).

El rendimiento es otro parámetro primordial en el área industrial, ya que permite determinar el total de materia a utilizar para obtener una determinada cantidad de materia prima con valor agregado. En la Tabla 2 se observan los valores de rendimiento obtenidos para el almidón extraído del ocumo criollo.

Tabla 2. Rendimiento del almidón obtenido a partir de los tubérculos de ocumo criollo.

Fracción de la materia	Peso (g)	Parámetros de rendimiento	% Rendimiento del almidón
Pulpa + cáscara	8330	Rendimiento del almidón en base a la materia con cáscara	12,75
Cáscara	1478	Rendimiento del almidón en base a la materia sin cáscara	15,50
Pulpa	6852		
Almidón extraído	1062		

La Tabla 2 resume el rendimiento del almidón de ocumo criollo por cada 100 g de pulpa (expresada en base seca) el cual fue 15,50 %, teniéndose que estos valores son bastante aceptables tomando en cuenta el factor de desecho y el contenido de humedad de la materia prima (71,9 % INN, 2000).

5.1.2 Determinación de la pureza del almidón nativo de ocumo criollo.

El análisis proximal describe al producto en cuanto a sus componentes químicos y las proporciones en que estos se encuentran dentro del alimento. En la Tabla 3 se muestra los distintos valores para cada uno de los parámetros químicos evaluados que caracterizaron al almidón nativo del ocumo criollo extraído en este ensayo.

Tabla 3. Análisis proximal y pureza del almidón nativo de ocumo criollo.

Parámetros	Valores
Humedad (%)	9,31±0,03
Nitrógeno (%)	0,06±0,01
Proteína cruda (%)	0,37±0,01
Grasa cruda (%)	0,28±0,02
Ceniza (%)	0,26±0,01
Pureza (%)	99,09
Carbohidratos totales (%)	89,78
Fósforo (%)	ND

En la Tabla 3, se muestran los resultados obtenidos de la composición proximal del almidón nativo de ocumo criollo, con un contenido de humedad reportado es de 9,31±0,03%. Palomino (2010), obtuvo un valor de humedad de 9,47% el cual es comparable con el resultado obtenido en esta investigación; por otra parte se conoce que los almidones comerciales nativos contienen entre 10 y 20% de humedad (Swinkels, 1985); y que típicamente, la humedad de los almidones se encuentra alrededor del 12% (Thomas y Atwell, 1999). Un menor contenido de humedad en este tipo de producto se considera favorable para su almacenamiento, en virtud que existe menos posibilidad de ataque microbiano, y por ende, una mayor vida útil (Espinoza, 1974; INN, 1999; Thomas y Atwell, 1999). Laurentín (1999), reportó un valor de humedad de 12,0% para almidón nativo de ocumo criollo y Pérez (2005), obtuvo una humedad de 13,43% presentando que el contenido de humedad de estos almidones se encuentran entre el rango de humedad generalmente aceptado para productos secos a fin de obtener una vida útil conveniente para almidones y féculas convencionales (Brown, 1995; INN, 1999; Sriroth,

Piyachomkwan y col, 2000; Swinkels, 1985; Thomas y Atwell, 1999). En cuanto al significado de este parámetro y su importancia, Caraballo, (2011) señala que la humedad de equilibrio de los mismos depende del tipo de almidón, y que el contenido de humedad de los alimentos se utiliza frecuentemente como índice de calidad y estabilidad. Así mismo, este parámetro condiciona el tiempo de vida de un producto en almacenamiento, el tipo de empaque a utilizar, el tipo de procesamiento que se puede aplicar al producto, etc. (Joslyn, 1970; citado por Becerra, 1983).

El contenido de proteínas fue de $0,37 \% \pm 0,01$ (Tabla 3), por lo que corrobora que el porcentaje de proteínas en almidones de tubérculos es bajo. Las proteínas forman parte de los componentes minoritario junto con la grasas y la cantidad que se obtenga depende de la eficiencia del proceso de extracción, por esta razón es que la estimación de estos constituyentes pueden considerarse como un criterio de la pureza del almidón extraído. Por otra parte, Palomino, (2010) no detectó contenido de proteínas en las muestras analizadas, por lo cual se les consideró como traza, junto con el contenido de materia grasa y las cenizas que también se encontraron en exiguas cantidades. Estos constituyentes con frecuencia son designados como “contaminantes” en la industria de almidón (Whistler y Paschall, 1967; Thomas y Atwell, 1999), lo que indica que los almidones fueron extraídos con alta pureza. En el trabajo de Pérez (2005), se indica que por lo general, el almidón recuperado contiene menores cantidades de proteína. Sin embargo, en sus resultados el contenido de proteína cruda fue de $0,56 \%$ lo que corrobora lo antes expuesto sobre el bajo contenido de proteínas.

El contenido de grasa obtenido de la muestra de almidón nativo fue de $0,28 \% \pm 0,02$ (Tabla 3) lo que corrobora la idea de que tanto las proteínas como grasas se encuentran en porciones significativamente bajas debido a la eficiencia en la extracción,

considerándosele a estos componentes como trazas. Pérez, (2005) obtuvo un contenido de grasas de 0,1% para almidón de ocumo criollo y 0,27% para almidón de ocumo chino (*Colocasia esculenta*) los cuales fueron inferior al obtenido en este ensayo, lo que indica que la materia prima utilizada en este ensayo posee un contenido mayor de grasa que el reportado por la autora. El contenido de grasa de cada tubérculo incluso entre especies similares es un factor intrínseco de cada cultivo y lugar de origen; por otra parte, la fracción de grasa obtenida en este ensayo es muy baja y no significativa para aportar un valor nutricional al producto en base a este criterio; así mismo, la autora expone que junto con cantidades traza de otro componente, como pequeñas cantidades de ácidos grasos glicéridos, normalmente menos del 0,1%, la mayoría de otros almidones también contienen alrededor de 0,5-0,6% de los ácidos grasos libres, que parecen formar complejos con los compuestos moleculares de los gránulos de almidón nativo (Whistler, 1964). Palomino, (2010) en su análisis obtuvo un 0,28% lo que concuerda con el resultado obtenido en este ensayo y por ser este valor tan pequeño se considera como contaminante.

En relación a la determinación de cenizas esta es referida como el análisis de residuos inorgánicos que quedan después de la incineración u oxidación completa de la materia orgánica de un alimento, además de indicar la calidad de los almidones y de los productos obtenidos a partir de él, así como su pureza. Por lo general, los almidones extraídos de cereales y tubérculos contienen cantidades minoritarias de materia inorgánica, el cual puede provenir de las fuentes de donde se extrajo el almidón y, en menor proporción del agua utilizada en dichos procesos; el valor obtenido experimentalmente fue de 0,26 % (ver Tabla 3) para el ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*), este valor fue menor en relación con el obtenido por Pérez, (2001) que fue de 1,71%, la diferencia pueden deberse a las diferentes fuentes de donde se obtuvo las muestras de ocumo criollo, la

riqueza del suelo y del agua de riego en cuanto a minerales. En otros análisis que realizó Pérez, (2005) el ocumo criollo obtuvo un contenido de ceniza de 0,20% comentando que este contenido de cenizas de los almidones de tubérculo tropicales están entre el rango que se encuentran en la literatura para almidones comerciales (Pérez, 1996; Sriroth y col., 2000.; Swinkels, 1985). Evaluando el valor reportado por Pérez, (2005) y el obtenido en este análisis se observa una similitud, aunque las diferencias que puedan existir pueden deberse a los métodos de extracción para la obtención del almidón, su composición química y su contenido mineral; el cual depende no sólo de origen botánico. Palomino, (2010) obtuvo un porcentaje de cenizas menores que los mencionados anteriormente (0,09%) lo que reafirma su consideración en la eficiencia del método de extracción.

El contenido de fósforo es un parámetro importante para definir las propiedades funcionales de los almidones, ya que la presencia del fósforo como éster varía la respuesta reológica. El contenido de fósforo en el almidón nativo de ocumo criollo no fue detectado por el método empleado, se puede hacer énfasis en que quizás, el almidón en estudio solo presentaba trazas de este compuesto no significativas que no fue detectado por el método usado. Por su parte, Pérez, (2005) obtuvo un contenido de fósforo de 0,07 mg/100g para este almidón indicando que las diferencias en el contenido mineral con respecto a las variedades venezolanas pueden ser debidas a las condiciones de cultivo (suelos y agua) y origen botánico. Palomino, (2010) reportó un contenido de fósforo de 0,09 mg/100g contrastándolo con los resultados obtenidos por Pérez, (2005) y los obtenidos en este ensayo se tiene que aunque son todos almidones de ocumo criollo reflejan que el primero contiene otras fuentes minerales diferentes y mayor a los otros.

Por último, la pureza es un parámetro calculado en base a la composición proximal del almidón nativo, y su consideración es importante al momento de evaluar las propiedades

funcionales, ya que estas pueden verse afectadas por ciertas impurezas presentes (Caraballo, 2011). El grado de pureza del almidón de ocumo criollo fue de 99,09 % (Tabla 3) el cual es superior en pequeña diferencia al reportado por Pérez, (2005) de 99,06 % y menor que el valor los reportado por Palomino, (2010) 99,58%. Cabe destacar que el resultado mostrado posee un porcentaje de pureza elevado, lo que indica un proceso de extracción adecuado que eliminó la mayor cantidad de contaminantes.

5.1.3 Determinación de los parámetros físicos y fisicoquímicas del almidón nativo de ocumo criollo.

Las características físicas y fisicoquímicas de los almidones son otro tipo de parámetros que los identifica, ya que cada especie posee valores diferentes que dependen propiamente de su especie y su origen botánico. En la Tabla 4 se encuentran los parámetros fisicoquímicos más significativos que pueden describir el almidón nativo de ocumo criollo.

Tabla 4. Características físicas y fisicoquímicas del almidón nativo de ocumo criollo.

Parámetros	Valores
Acidez titulable (%)	4,09 x 10 ⁻³
pH	6,53
Color	
L*	97,2
a*	0,04
b*	2,03
IB	96,54
Densidad relativa (g/ml)	1,5603
Consistencia de gel (mm)	97.00

El pH y la acidez en los almidones, son indicadores del uso de aditivos, fermentación o aplicación de algún tipo de modificación. Los ácidos orgánicos presentes en los alimentos influyen en el sabor, color y en la estabilidad de los mismos. Asimismo, la acidez es uno de los índices comunes de la materia prima vegetal, y la misma se debe a la presencia de diversos ácidos orgánicos, en proporciones variables, principalmente: cítrico, málico, tartárico, oxálico, fórmico, succínico, galacturónico, entre otros. Por lo tanto, la determinación de la acidez constituye un índice de calidad importante, que además, permite determinar si un producto ha sufrido o no algún deterioro, ya sea de tipo físico-químico o microbiológico. En la Tabla 4 se observa que un valor de pH cercano a la neutralidad (6,53) y valor de acidez de $4,09 \times 10^{-3}$ meq NaOH/g (Tovar, 1999 y Requena, 2003). El valor de pH obtenido corresponde con el reportado por Palomino, (2010) cuyo valor fue de 6,5 y Molina, (2007), con un valor de 6,79 y una acidez de 0.007%, ambos valores tanto de pH y de la acidez titulable correspondientes al almidón evaluado están dentro de los parámetros estipulado por la industria y, en general, a lo correspondiente para los almidones comerciales (Thomas y Atwell, 1999).

Se conoce que el sistema Hunter se basa en la determinación de los denominados colores oponentes presentes en un material. De acuerdo a este sistema, existen dimensiones que el ojo humano no puede percibir de un material, la primera dimensión se refiere a la oposición de los colores rojo-verde, la segunda está referida a la oposición de los colores azul-amarillo y la tercera a los colores blanco y negro (Sivoli, 1995)

Caraballo, (2011) en el ensayo de color realizado al almidón nativo de yuca explica el significado del color como parámetro de identidad de los almidones con el cual se puede predecir la efectividad del proceso de extracción y la presencia de algunos contaminantes.

Good, (2002) define al parámetro L^* como la luminosidad donde el valor 100 representa al blanco, mientras que el 0 representa el color negro. El parámetro a^* lo relaciona al matiz rojo o verde, en donde los valores positivos representan al rojo, los negativos al verde y el cero es neutro. El autor señala que el parámetro b^* refleja el matiz amarillo y azul, siendo los valores positivos correspondientes al amarillo y los negativos al azul siendo cero neutro.

La Tabla 4 muestra el perfil de color del almidón nativo. El valor de L^* obtenido para el almidón nativo de ocumo criollo fue de 97,2 indicando que el almidón es de color blanco. Para a^* el valor es positivo y de $0,04 \pm 0,01$ lo que indica una tonalidad roja en el almidón. Así mismo, se tiene que el valor de b^* es positivo e igual a $2,03 \pm 0,01$ (Tabla 4) reflejando una tonalidad amarilla. En cuanto al índice de blancura el valor para este fue de $96,54 \pm 0,23$ (Tabla 4); considerando al índice de blancura como un factor importante de la calidad (Caraballo, 2011). Estos valores obtenidos para L^* , a^* y b^* son representativos de la calidad y eficiencia en el método de extracción del almidón en estudio. Molina (2007), obtuvo valores de L^* entre 97,5 considerándose bastante blanco, resultado similar al obtenido en este ensayo, pero con diferencias significativas en los valores de a^* (0,12) y b^* (0,85) los cuales son diferentes a los obtenidos pero igualmente fueron positivos, lo que indica que el almidón de ocumo criollo presenta ligeros matices rojos y amarillos.

En el estudio de la consistencia de gel del almidón nativo de ocumo criollo, se obtuvo una fluidez de 97,00 mm (Tabla 4) a temperatura ambiente; Molina (2007), obtuvo un valor superior de 150mm/40min, la autora sugiere que el almidón se comporta como una pasta fluida a temperatura ambiente y en vista de que el recorrido del gel en frío fue largo, podría decirse que, de acuerdo a este método, el mismo desarrolla un gel relativamente débil. La consistencia está asociada con la cantidad de amilosa y de amilopectina; la

amilosa es el componente principal implicado en la producción de la estructuras de la red que da a los geles la firmeza durante el proceso de enfriamiento (Zhou y col., 1998), entre más cantidad de este componente esté presente más consistencia tendrá el almidón. En los gránulos de almidón este polímero está presente bajo la forma cristalizada, debido principalmente al gran número de enlaces de hidrógeno existente entre los grupos hidroxilos. Los enlaces de hidrógeno de la amilosa también son responsables de la absorción de agua y de la formación de geles (originan redes tridimensionales), en el curso de la retrogradación después de la gelatinización (Caraballo, 2011). Pérez, (2005) señala que el contenido de amilosa en el almidón tiene un efecto importante en sus propiedades funcionales, por lo que se hace necesaria su cuantificación. En sus análisis la autora obtuvo un 35,34% de amilosa y un 64,66% de amilopectina lo que sugiere una consistencia mayor a la obtenida. Así mismo, Palomino, (2010) obtuvo un 26,17% de amilosa y un 73,83% de amilopectina valores que indican menor consistencia. Cabe destacar que la composición de amilosa y amilopectina en un tubérculo dependerá de su origen botánico por lo que es aceptable encontrar diferencias.

En cuanto a la densidad, el valor obtenido en este ensayo fue de 1,5603 g/ml. Molina, (2007) señala que las diferencias entre el tamaño y forma de las partículas junto con los grados y tipos de modificaciones afectan la densidad de los almidones. La densidad es importante particularmente para los productos de almidón debido a su relación con el diseño del empaque, tamaño de los silos donde se almacena el almidón y la tipificación del producto (Smith, 1967). Pérez, (2001) señala que al igual que para las harinas, la densidad es de suma importancia para el manejo durante el transporte y almacenamiento en silos de estos almidones y reporta valores de densidad relativa para ocumo criollo muy similares a los obtenidos en este estudio de (1,5754 g/ml), así mismo, Molina (2007),

obtuvo el valor 1,5678 g/ml para el almidón nativo de ocumo criollo similar al aquí reportados.

5.1.4 Características morfométricas del almidón nativo de ocumo criollo.

El tamaño de los gránulos es funcionalmente importante como criterio de identidad y en la disolución del mismo durante el proceso de gelatinización, mientras la forma y superficie de éstos son factores críticos cuando se utiliza el almidón como portador de transportador de sabores en saborizantes y condimentos. El tamaño y la distribución de los gránulos del almidón son variables de interés en ciertas aplicaciones, como por ejemplo, los gránulos pequeños del almidón son adecuados para el acabado de las telas finas y en los cosméticos para la piel. Por otro lado, la utilización de almidón en la elaboración del papel sin carbono exige un almidón de dimensión y uniformidad determinadas, mientras los almidones con distribución bimodal no se podrían utilizar (Palomino, 2010). Laurentín, (1999) observó en la fotomicrografía del almidón nativo de ocumo criollo que tiene forma de huevo truncado de 10,4 μm de longitud del eje mayor.

5.1.4.1 Microscopia de Luz polarizada del almidón nativo del ocumo criollo

La muestra de almidón nativo de ocumo criollo fue observada en un microscopio óptico de luz polarizada, lo que permitió examinar los efectos del procesamiento sobre los gránulos de almidón (Sefa-Dedeh y Agyr- Sackey, 2002) y tipificar algunas de sus propiedades funcionales. Caraballo, (2011) muestra que el estudio microscópico de los gránulos de almidón puede ser empleado para juzgar la calidad (presencia de granos dañados) y grado en la gelatinización. Gregová y col. (2006), señalaron que, todas las características de los almidones nativos, incluyendo tamaño y forma, exhiben una relativa variabilidad, que depende además del proceso de extracción del almidón, del tipo genético de la planta

y de las condiciones de siembra (clima y humedad entre los más importantes). Aún cuando los almidones de varias fuentes exhiben estructuras fundamentales similares, Huber y Miller, (2001) difieren en detalles específicos de su micro y ultraestructura.

La observación en el microscopio de luz polarizada emite un detalle en cuanto a aspectos de tamaño, formas de los gránulos, la asociación entre gránulos y su organización molecular además de cómo están orientadas las moléculas de almidón dentro del granulo la cual se ve reflejado por la cruz de malta, el centro de la cruz se corresponde con el hilum, el centro de crecimiento del gránulo. La naturaleza birrefringente del almidón indica el alto grado de orientación molecular dentro de los gránulos (Caraballo, 2011).

En la micrografía tomada para almidón nativo de ocumo criollo se observó una población bastante homogénea con gránulos que varían entre grandes, pequeños y medios, pero de forma muy similares entre sí (Figura 4), mostrándose redondos con formas elipsoidales y aplanados, con su cruz de malta y bordes bien definidos (Figura 5). Esta observación bajo luz polarizada se corrobora por lo observado por Pérez, (2005) donde pudo ver gránulos redondos y forma elipsoidales para ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*).

Palomino, (2010) observó que la distribución del tamaño granular en el almidón de ocumo criollo fue más homogénea, con formas predominantes las cuales fueron redondeadas para los gránulos grandes, mientras los pequeños presentaron forma poliédrica. Se notó una pequeña aglomeración en los gránulos menores a 4 mm.

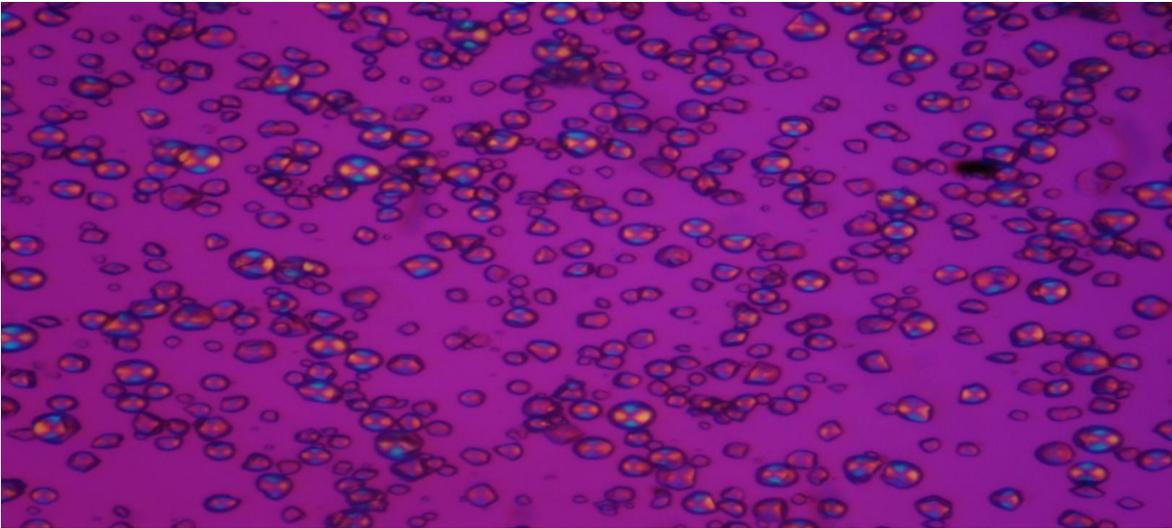


Figura 4. Gránulos de almidón nativo de ocumo criollo visto por Microscopia Óptica con Luz Polarizada (150X) donde se observa sus formas, tamaños y distribución entre gránulos.

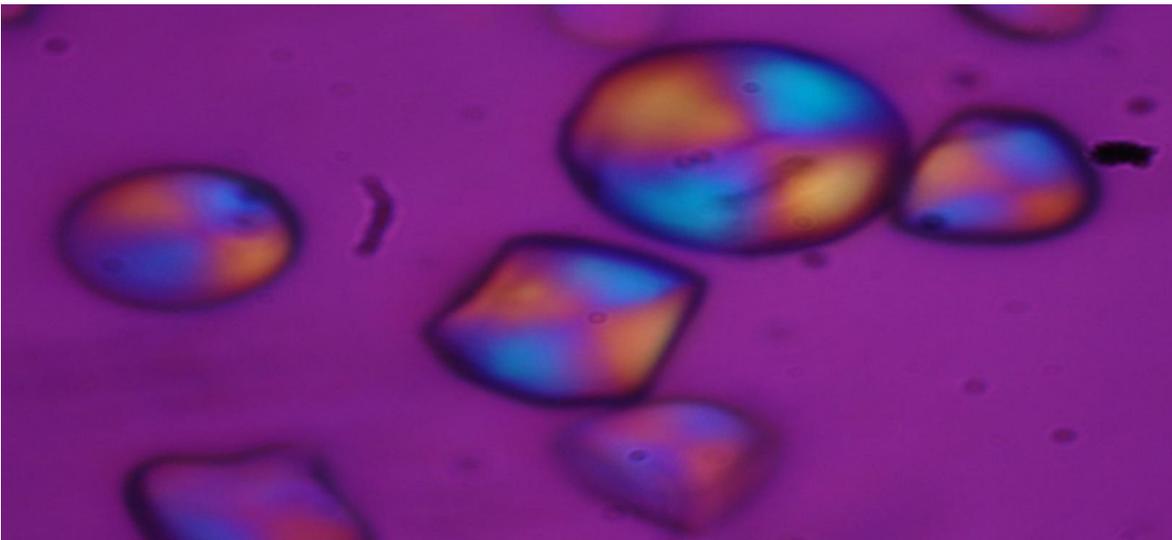


Figura 5. Cruz de malta de los gránulos de almidón nativo de ocumo criollo visto por Microscopia Óptica con Luz Polarizada (100X).

5.1.4.2 Granulometrías del almidón nativo de ocumo criollo.

La granulometría es la medición que se lleva a cabo y se realiza a los gránulos de almidón, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica (Lambe, 1997). En la Figura 6 se muestra la distribución granulométrica del almidón nativo de ocumo criollo donde se tiene una población bastante homogénea donde la mayoría de los gránulos tienen el mismo tamaño entre 6 a 16 μm .

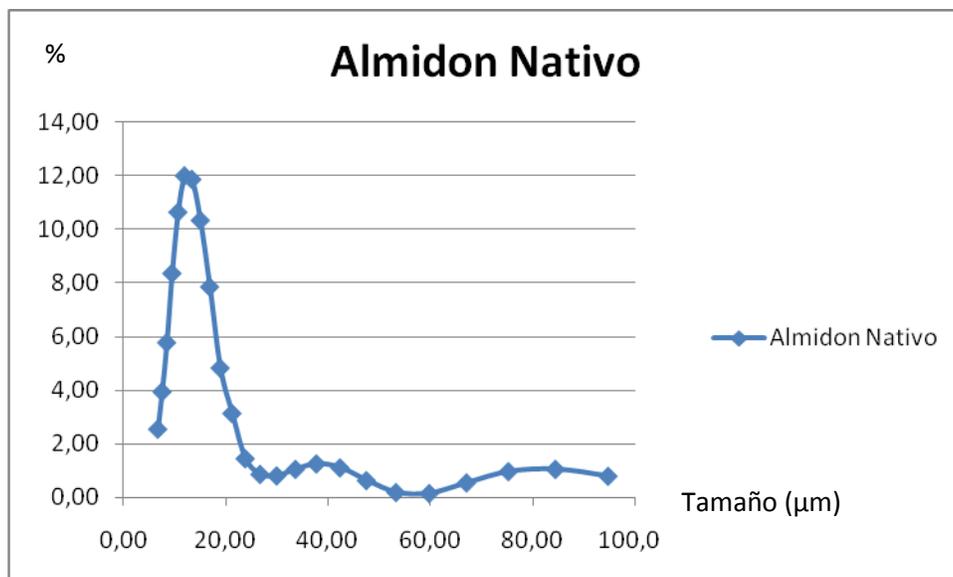


Figura 6. Granulometría medida con rayos laser de los almidones nativo de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*).

5.1.5 Características reológicas.

5.1.5.1 Viscosidad del almidón nativo de ocumo criollo con el viscosímetro de Brookfield.

Viscosímetro Brookfield es un instrumento de medición y control de viscosidad, indispensables en el control de calidad de innumerables productos. Todos los viscosímetros Brookfield utilizan el conocido principio de la viscosimetría rotacional; miden

la viscosidad captando el par de torsión necesario para hacer girar a velocidad constante un husillo inmerso en la muestra de fluido. El par de torsión es proporcional a la resistencia viscosa sobre el eje sumergido, y en consecuencia, a la viscosidad del fluido. La viscosidad es el principal parámetro que caracteriza las propiedades de los fluidos tales como líquidos, semisólidos y gases. Los fluidos no newtonianos se caracterizan porque su viscosidad no permanece constante cuando la temperatura y la composición permanecen invariables, sino que depende del esfuerzo cortante o gradiente de velocidad y, a veces, del tiempo de aplicación del esfuerzo y de la historia previa del producto o muestra. Ello es debido a que la constitución física varía al someter el producto a los efectos de rozamiento a lo largo del tiempo (Fennema, 2000).

La viscosidad es una función del peso molecular y la estructura ramificada de la amilopectina, que con todas sus cadenas unidas posee una molécula mucho más grande que la amilosa, por lo tanto más pesada (Hegenbert, 1996). También se conoce que la viscosidad aparente incrementa después que los gránulos de almidón son sometidos a un hinchamiento inicial, y depende de la especie botánica y los tratamientos previos; así como, de la presencia de otras sustancias circundantes en el medio acuoso (Juliano, 1985).

En este trabajo, el ensayo de viscosidad se realizó utilizando como parámetros: mediciones de viscosidad a 30 y 50 °C y una aguja n°4 y velocidades desde 60, 30, 12 y 6 rpm, al analizar la Figura 7, se observa que la suspensión de almidón nativo de ocumo criollo presenta el mayor valor de viscosidad a 30 °C y una viscosidad menor a 50 °C; este hecho probablemente se debe al rearrreglo lineal que adquieren las moléculas de amilopectina que fueron liberadas por los gránulos durante el calentamiento. Pérez, (2005) señala que el desarrollo de la viscosidad depende de factores en el sistema como

concentración, temperatura, velocidad de corte y otros factores intrínsecos del gránulo y la especie en estudio.

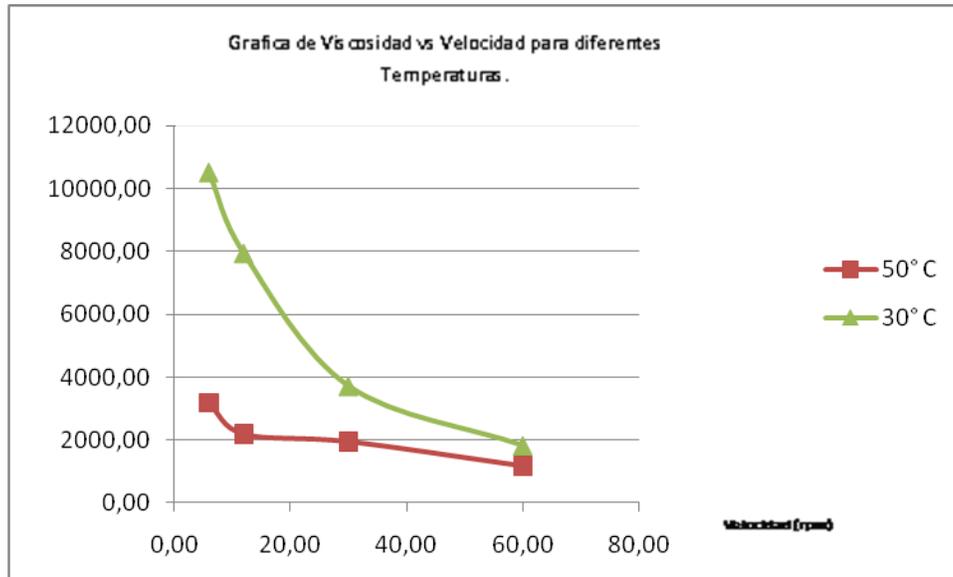


Figura 7. Curvas de viscosidad aparente del almidón nativo de ocumo criollo.

Por otra parte, de acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que la suspensión de almidón de ocumo criollo presenta el comportamiento de un fluido no newtoniano pseudo-plásticos, que es aquél cuya viscosidad varía con la temperatura y velocidad. Cuando la suspensión se acerca a la concentración crítica es cuando las propiedades de este fluido no newtoniano se hacen evidentes, la aplicación de una fuerza con la cucharilla hace que el fluido se comporte de forma más parecida a un sólido que a un líquido y se formen geles. Así mismo, se observa (Figura 7) una disminución de la viscosidad a medida que aumenta la velocidad de corte. Caraballo, (2011) expone que este comportamiento indica una ruptura o reorganización continua de la estructura, dando como resultado una menor resistencia al flujo, y es debido a la presencia de sustancias de alto peso molecular del almidón así como a la dispersión de sólidos en la fase sólida.

Estos resultados obtenidos experimentalmente fueron comparados con los de Palomino, (2010) quien observó que los valores de viscosidad en el almidón nativo de ocumo criollo eran mayores a temperaturas menores (30°C) ya que se da tiempo para la reorganización de las estructuras, además observó que disminuían cuando aumentaba la velocidad de corte, comportamiento que se obtuvo tanto en temperaturas de 50°C y 30°C, todo esto mostró el comportamiento pseudo-plástico de este fluido siendo mayor la viscosidad para el ocumo criollo que para el ocumo chino.

5.1.5.2 Análisis amilográfico del almidón nativo de ocumo criollo.

El viscosímetro de Brabender es un método simple y muy utilizado que permite simular el comportamiento del almidón durante la cocción y el enfriamiento (Molina, 2007). El amilógrafo registra la fuerza de corte, en función al tiempo y la temperatura, cuando el almidón en forma de pasta es agitado. La pasta se calienta a una tasa de 30-150 °C/min, los gránulos se hinchan e interfieren unos con otros, incrementando la viscosidad de la pasta (Lund, 1984). Carcea y col. (1992) establecen que los patrones de viscosidad de los almidones obtenidos a través del viscosímetro de Brabender, dependen principalmente de la extensión del hinchamiento de los gránulos de almidón, de la resistencia a la disolución de los gránulos hinchados por efecto del calentamiento o fragmentación por corte, y de la tendencia de los gránulos disueltos a retrograda. La temperatura inicial de “pasting”, por su parte, depende de la concentración del almidón en suspensión.

Las propiedades reológicas de la pasta de almidón nativo de ocumo criollo fueron medidas y evaluadas a través del amilógrafo Brabender. Los resultados se observan en la Tabla 5 y la curva amilográfica en la Figura 8.

Tabla 5. Perfiles de gelatinización medidos con el viscoamilógrafo Brabender expresado en unidades Brabender (UB) del almidón nativo de ocumo criollo.

Muestra	TIG (°C)	TF (°C)	Pico de Viscosidad (P)	Viscosidad Temp.90°C (H)	Viscosidad Temp.50°C (C)	Fragilidad (P-H)	Consistencia (C-H)	Retrogradación (C-P)
Nativo	76,9	90,0	803,0	793,5	753,5	9,5	-40,0	-49,5

TIG: temperatura inicial de gelatinización. TF: temperatura final de gelatinización.

La temperatura de gelatinización es un índice del ordenamiento (asociación) intragranular, por lo que mientras mayor sea este valor, mayor será el grado de asociación entre las macromoléculas en el interior del gránulo de almidón (Hoseney, 1986). En este estudio, el almidón de ocumo criollo tiene una temperatura de gelatinización inicial (TGI) de 76,9°C (Tabla 5) levemente menor a los reportados por Palomino, (2010) y Molina, (2007) cuyo valor fue de 78,9°C y mucho menor a el valor obtenido por Pérez, (2005) el cual fue de 84,5°C; temperaturas en la gelatinización del almidón superiores a 80°C y estabilidad térmica, sugieren la presencia de fuertes enlaces en el interior del gránulo (Sefa- Dedeh y Agyr-Sackey, 2002); luego de esta temperatura inicial se verifico un aumento considerable de la misma a lo largo de todo el registro, a medida que aumenta la temperatura, aumenta el agua absorbida y comienza la lixiviación de los componentes solubles, de esta manera y a medida que progresa el hinchamiento, la viscosidad de la suspensión/disolución aumenta drásticamente (Badui, 1981; Coultate, 1987). Así mismo, Caraballo, (2011) describe que durante este fenómeno, estas temperaturas ocasionan un colapso o rompimiento del orden molecular dentro del gránulo de almidón (gelatinización), con cambios irreversibles en las propiedades, tales como hinchamiento granular, disolución de

los cristales nativos, pérdida de birrefringencia y solubilización de los componentes amiláceos. El *pasting*, o fenómeno siguiente a la gelatinización (pérdida del orden molecular) cuando el almidón está en disolución, incluye al hinchamiento del gránulo, exudación de sus componentes moleculares y eventualmente el rompimiento total de los mismos. Esto se ve reflejado en el incremento de la viscosidad como resultado de la absorción de agua por parte de los gránulos de almidón con el subsecuente hinchamiento, deformación de los mismos y liberación de la amilosa. Este fenómeno de *pasting* puede mantenerse según Hosney, (1986) durante una hora y cuya intensidad depende del tipo de almidón utilizado, debido a que las moléculas de almidón soluble se orientan por sí mismas en la dirección en que el sistema está siendo agitado fenómeno llamado *shear thinning*; el mismo autor relaciona un pronunciado de este fenómeno con almidones más solubles.

La máxima viscosidad fue de 803,0 UB (Tabla 5) mientras que Molinas (2007) reportó un pico de viscosidad para el almidón nativo de ocumo criollo de 502 UB. Pérez, (2010) por su parte, observó un valor de pico de viscosidad de 300 UB, lo que hace suponer que la suspensión de almidón nativo de ocumo criollo obtenida en este ensayo no es de muy fácil cocción en relación a la muestra de Pérez, (2005) el cual tiene un pico de viscosidad más bajo. De acuerdo a los resultados, se puede concluir que los gránulos de la suspensión de almidón nativo de ocumo criollo de este ensayo, tienen menor capacidad de hinchamiento al compararlo con el de Pérez, (2005), lo cual se corresponde con que posee menor capacidad de absorción de agua obtenida y por ende una menor disrupción granular, produciéndose menos componentes lixiviados hacia el medio circundante y una menor viscosidad en la pasta formada, el almidón en estudio necesita más tiempo para alcanzar la viscosidad que el almidón de ocumo criollo evaluado por Pérez, (2005).

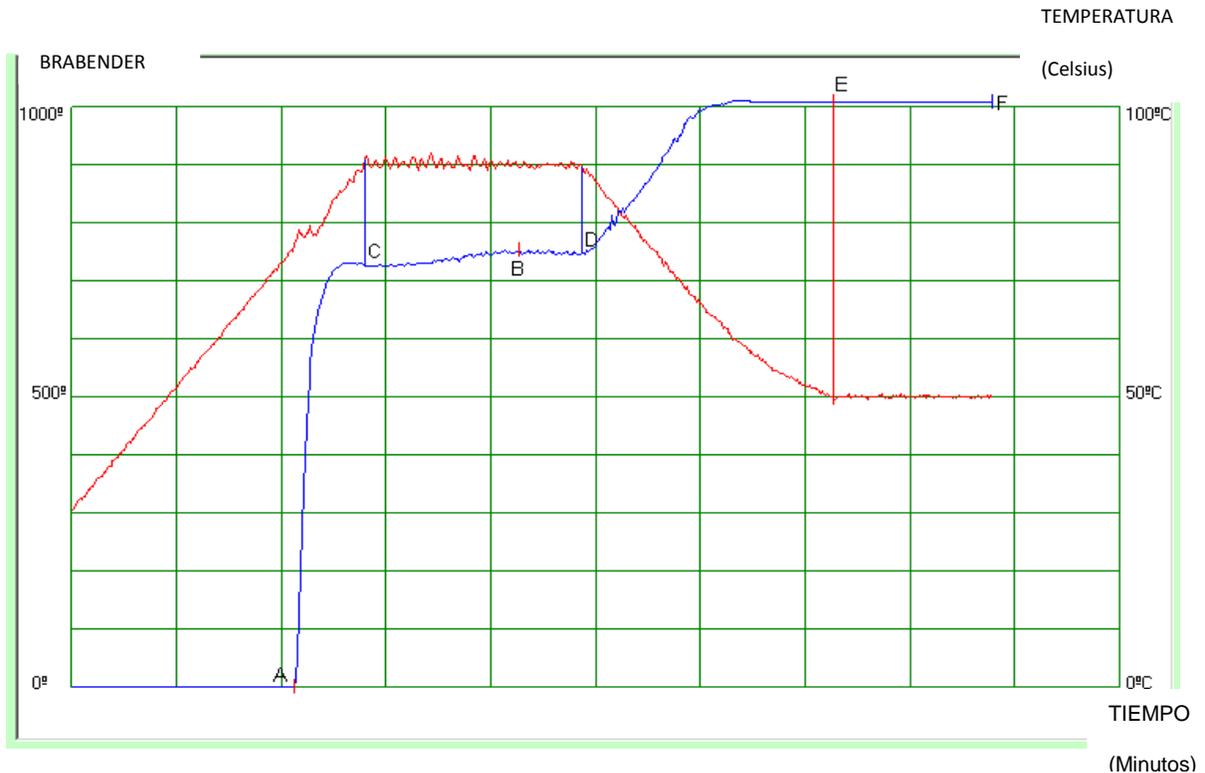
Durante el tiempo en el cual la temperatura se mantuvo a 95°C (*holding time*), la viscosidad del sistema disminuyó gradualmente alcanzando 793,5 Unidades Brabender (UB) (Tabla 5). Esto es debido posiblemente a que las moléculas de almidón solubles se orientan en la dirección en la cual es agitado el sistema, originándose una disminución en la viscosidad, o "*shear thinning*" (Hoseney, 1986). En cuanto a la fragilidad se obtuvo el valor de 9,5 (UB) (Tabla 5), Laurentín, (1999) describe este parámetro como un índice de la magnitud de desintegración del gránulo. Este autor, obtuvo en sus ensayos valores de fragilidad para almidón de ocumo criollo de 12 (UB), lo que señala la alta resistencia de los gránulos hinchados respecto a la fuerza de corte. Comparando el valor de fragilidad obtenido en este ensayo con el de Pérez, (2005), el valor aquí obtenido fue superior que el reportado por el autor (-60 UB), esto indica una mayor capacidad de hinchamiento que tiene y denota su menor estabilidad durante la cocción. Este hecho se ve reflejado, al mostrar una marcada disminución de la viscosidad una vez alcanzado el valor máximo (Figura 8). De ello se puede inferir, que los gránulos son muy frágiles, poseen débiles fuerzas internas y se destruyen fácilmente con la pérdida de viscosidad en el sistema. Los gránulos poseen mayor fragilidad ya que son más susceptibles a la ruptura por las fuerzas térmicas o mecánicas aplicadas, indicando que las fuerzas de enlaces entre los gránulos de almidón no son tan fuertes. Si por el contrario los gránulos son muy resistentes como lo muestran los resultados obtenidos por Pérez, (2005), estos se hinchan progresivamente, hasta que el sistema alcanza su mayor temperatura; valores negativos y similares a los de Pérez, (2005) fueron obtenidos Molina, (2007) (fragilidad de -33 UB) lo que indica que es muy resistente a la desintegración mecánica y por ende es estable durante la cocción. La solubilidad de los almidones sólo depende de la temperatura y no del tiempo en que se aplica el calor, por esto una vez que los almidones de gránulos resistentes alcanzan la máxima temperatura, la viscosidad se mantiene constante (Molina,

2007). La fragilidad de los almidones es un parámetro muy importante, en la predicción de los regímenes de cocción, aquellos en los cuales debe ser sometido el gránulo de almidón e inclusive podría predecir el grado de digestibilidad de los mismos, sino se aplica el tratamiento calórico adecuado (Caraballo, 2011). Por otra parte, es importante señalar que se mantuvo la viscosidad al final del período de enfriamiento y al final del proceso, para cada una de las réplicas de las suspensiones de los almidones en estudio.

Así mismo, se observa una tendencia a retrogradación con un valor de -49,5 (UB) (Tabla 5) menor al reportado por Pérez, (2005); el cual fue de 190 (UB). Este parámetro es causado por la disminución de la energía del sistema, durante el período de enfriamiento debido a que se restablecen los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de amilosa y amilopectina, dando lugar a la consistencia tipo gel, además se debe a la pérdida de calor en el sistema y al proceso de retrogradación o cristalización del sistema que se genera. Pérez, (2005) si obtuvo un valor de retrogradación positivo, por lo que obtuvo un incremento de la viscosidad durante el período de enfriamiento lo que indica una tendencia de varios constituyentes presentes en la pasta caliente (gránulos hinchados, fragmentos de gránulos hinchados, moléculas de almidón coloidal y molecularmente dispersas) para asociar o retrogradar, mientras la temperatura de la pasta disminuye (Singh y col., 2003). Palomino, (2010) comenta que una elevada retrogradación se atribuye a un elevado grado de asociación entre las moléculas de almidón, causado por la fuerte tendencia a la formación de puentes entre los grupos hidrógeno presentes en moléculas de almidón adyacentes, una vez que ha concluido el proceso de gelatinización y “*pasting*” (Hoover, 2001). Propiedades tales como firmeza del gel y pérdida de la claridad en pastas de almidones, han sido asociadas con la retrogradación (Sefa-Dedeh y Agyr-Sackey, 2002). Por esta razón, Rocioli (1983) recomienda la utilización del almidón

de ocumo nativo en la industria del papel, y en productos alimenticios donde se deseen geles firmes, más no claros.

En cuanto a la consistencia del gel para el almidón nativo de ocumo criollo el valor obtenido fue de -40 (UB) (Tabla 5), menor al reportado por Pérez, (2005) cuyo valor es de 10 (UB) siendo este más consistentes.



A= Temperatura inicial de gelatinización

B= Pico de máxima viscosidad

C= Temperatura inicial de gelatinización

D= Temperatura final de gelatinización

E= Gelatinización inicial a una temperatura de 50°C F= Gelatinización al final del proceso

Curva roja= perfil de temperatura

Curva azul= perfil de viscosidad del almidón nativo del ocumo criollo.

Figura 8. Amilograma del almidón nativo de ocumo criollo.

5.1.6- Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón Nativos de ocumo criollo.

La absorción de agua, el porcentaje de sólidos solubles y el poder de hinchamiento de los gránulos de almidón, son específicos para cada almidón en particular y ayudan a identificarlos y a conocer su comportamiento frente a diferentes condiciones. A medida que aumenta la temperatura, el almidón se hincha aumentando su solubilidad, la cual es mayor al alcanzar la temperatura de gelatinización. En la Tabla 6 se tiene los valores correspondientes a cada parámetro a medida que varía la temperatura gradualmente desde 60°C hasta 95°C. La Tabla 6, resume los valores obtenidos para el almidón nativo de ocumo criollo de los parámetros absorción de agua, porcentaje de sólidos solubles y poder de hinchamiento y en las Figuras 9,10 y 11 muestra gráficamente la relación de cada parámetro con respecto a la temperatura para el almidón nativo de ocumo criollo.

Tabla 6. Valores obtenidos para el almidón nativo de ocumo criollo de los parámetros absorción de agua, porcentaje de sólidos solubles y poder de hinchamiento.

Temperatura (°C)	Absorción de agua (g agua/g almidón)	Sólidos solubles (%)	Poder de Hinchamiento (%)
60	0,6992	1,0393	1,6992
65	0,6240	1,3130	1,6240
70	0,9760	1,3255	1,9760
75	2,0768	1,9519	3,0768
80	9,8233	11,9178	10,8233
85	10,2905	11,5511	11,2905
90	10,9255	9,4804	11,9255
95	12,6931	11,3242	13,6931

El estudio de los patrones de hinchamiento y solubilidad proporcionan una idea de cómo están asociadas las fuerzas de enlace dentro del gránulo (Carcea y col., 1992).

La capacidad de absorción de agua y la temperatura de gelatinización son características específicas de cada almidón y dependen de diversos factores como por ejemplo el tamaño de los gránulos, relación amilosa/amilopectina, fuerzas intra e intermoleculares, entre otras. En este estudio, la capacidad de absorción de agua de los gránulos de almidón aumentó con el incremento de la temperatura, presentándose mayor valores entre 75 y 95°C. Así mismo, Molina (2007) describe que los gránulos de almidón nativo de ocumo criollo absorbieron agua y se hincharon lentamente hasta que la solución alcanzó la temperatura de 75°C, a partir de allí la absorción de agua, incrementó drásticamente hasta alcanzar su punto máximo a los 95°C.

Las variaciones en la capacidad de absorción de agua de los gránulos de almidón, podrían ser atribuidas a la existencia de proporciones diferentes de regiones cristalinas y amorfas dentro de los gránulos de almidón donde los puentes de hidrogeno son menos numerosos y los polímeros son más susceptibles a la disolución (Molina, 2007), por lo que, los gránulos con muchas zonas amorfas, débilmente asociadas por la fuerza de las uniones intermoleculares, presumiblemente deberían absorber más agua y viceversa; por otra parte, si se considera el tamaño del gránulo de almidón, se tiene que a menor tamaño del gránulo, mayor será la absorción del agua (Niba y col., 2001). Por lo tanto, cuando la estructura comienza a debilitarse, el granulo se embebe de agua, se hincha y eventualmente se produce lixiviación del material soluble hasta la fase acuosa (Whistler y Miller, 1997).

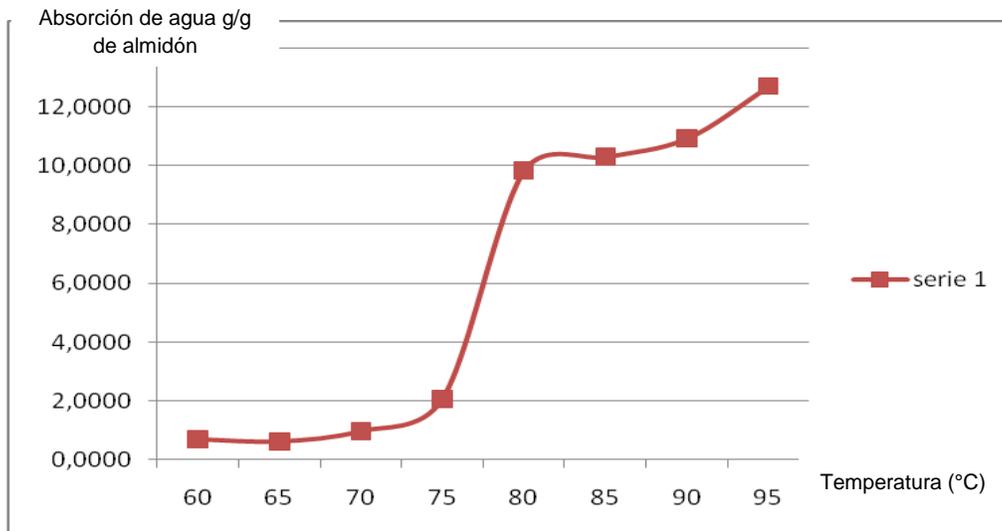


Figura 9. Absorción de agua (g) contra temperatura (°C), del almidón nativo de ocumo criollo. Se evidencia el aumento progresivo del índice de absorción de agua con de la temperatura, observándose para las primeras temperaturas aumentos graduales y un incremento brusco al alcanzar la temperatura de 75 °C, luego al llegar a 80 °C continua aumentando de forma sucesiva.

En relación a la solubilidad de los gránulos de almidón nativo de ocumo criollo En la Tabla 6 se observa que el porcentaje de sólidos solubles en la suspensión fue aumentando paulatinamente hasta alcanzar la temperatura de 75°C, luego de lo cual continua incrementándose a la par del aumento de la temperatura, alcanzando el punto máximo en 80°C (Figura 10), donde las moléculas de amilosa y amilopectina se han solubilizado y salen al exterior del gránulo de almidón hinchado (Rincón, 2000). Por otra parte, se evidencia un declive a 90°C que puede deberse a error experimental más que al comportamiento las estructuras del almidón. Molina, (2007) obtuvo resultados similares en relación al porcentaje de sólidos solubles en su ensayo con gránulos de almidón nativo de ocumo criollo, en donde observo que el porcentaje de sólidos solubles en la suspensión

fue aumentando lentamente hasta alcanzar los 80°C, donde la lixiviación de las moléculas de amilosa y amilopectina fue en ascenso hasta llegar al punto máximo a los 90°C.

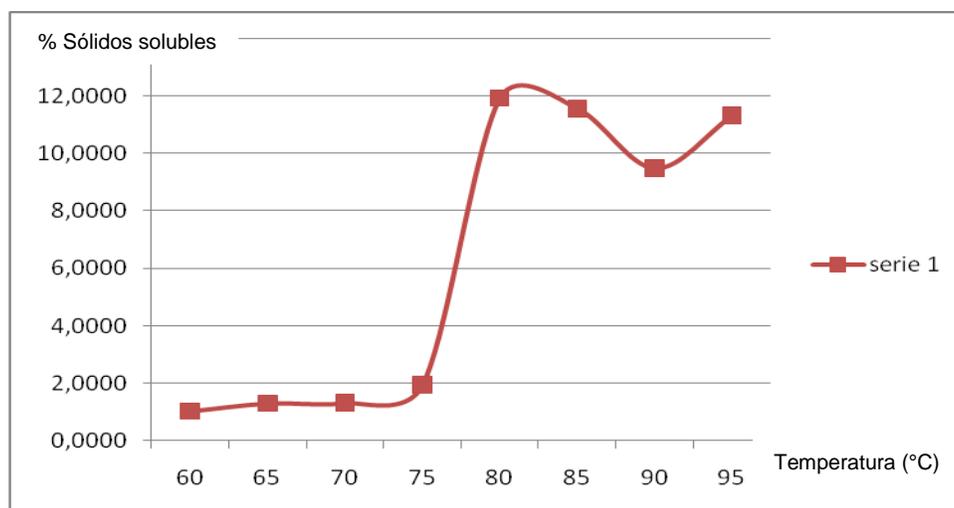


Figura 10. Sólidos solubles (%) contra temperatura (°C), del almidón nativo de ocumo criollo. Se evidencia un incremento del %S.S con la temperatura, siendo mayor o más pronunciado a partir de 80°C y un descenso a 90°C.

En cuanto al poder de hinchamiento del almidón, en la Tabla 6 se observó que los valores de poder de hinchamiento incrementaran con el aumento de la temperatura, presentándose el mayor valor a los 95 °C (Figura 11). El hinchamiento del almidón es una propiedad relacionada con su contenido de amilopectina, actuando la amilosa como un diluyente e inhibidor del hinchamiento (Karim y col., 2000). El hinchamiento del gránulo de almidón se evidencia por el aumento de volumen del mismo y las regiones amorfas adyacentes a la zona cristalina (Yeh y Li, 1996). Así mismo, se conoce que existe una relación entre la solubilidad y el hinchamiento, estos incrementan debido a la disociación de los enlaces de H₂ de la molécula lineal del almidón; al elevarse la temperatura se acelera la relajación de las fuerzas dentro del gránulo, la molécula adquiere una disposición que facilita la penetración del agua dentro de la matriz granular, lo que resulta

en un incremento del poder de hinchamiento del almidón. Wankede y Umadevi, 1981; citado por Caraballo, 2011).

Caraballo, (2011) expone que el hinchamiento comienza en las regiones intercristalinas amorfas y menos organizadas. A medida que esta fase progresa, se ejerce una tensión sobre los cristales vecinos y los mismos tienden a desorganizarse. El calentamiento adicional conduce a la disociación de las regiones con doble hélice y se rompe la estructura cristalina de la amilopectina. Las cadenas liberadas de la amilopectina se hidratan e hinchan lateralmente, causando la desorganización adicional de la estructura cristalina (Hari y col. 1989 citado por Pereira (2004) y por Clemente, (2005).

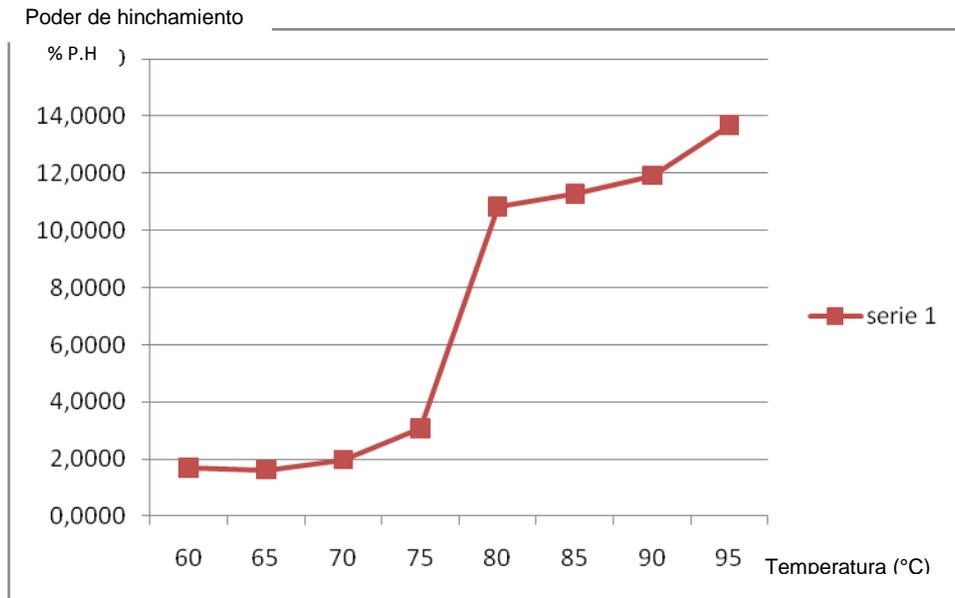


Figura 11. Poder de Hinchamiento (%) contra temperatura (°C), del almidón nativo de ocumo criollo. Se observa un incremento del poder de hinchamiento de los gránulos de almidón con el aumento de la temperatura y con un mayor incremento de la misma a partir de los 80°C.

5.2. Determinación de los parámetros del almidón del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) modificado físicamente.

5.2.1 Determinación de pureza del almidón de ocumo criollo modificado y comparación con el nativo.

Una vez extraído el almidón de ocumo criollo y realizado los análisis en su forma nativa se dividió el lote y se le aplicó a cada uno diferentes tratamientos físicos para evaluar su modificación. En el tabla 7 se observan la composición proximal del almidón de ocumo criollo modificado por el método de pulso de luz UV e irradiación microonda en contraste con el almidón nativo.

Tabla 7. Análisis proximal y pureza del almidón modificado por pulso de luz UV e irradiación microonda de ocumo criollo, en comparación estadística con el almidón nativo.

Parámetro	Almidón nativo	Almidón modificado Pulso Luz UV (PL)	Almidón modificado por microondas
Humedad (%)	9,31 ^a	8,70 ^a	4,05 ^b
Nitrógeno (%)	0,06 ^a	0,05 ^a	0,05 ^a
Proteína cruda (%)	0,37 ^a	0,36 ^a	0,31 ^b
Grasa (%)	0,28 ^a	0,27 ^a	0,23 ^a
Cenizas (%)	0,26 ^a	0,29 ^a	0,27 ^a
Pureza (%)	99,09 ^a	99,08 ^b	99,19 ^c
Carbohidratos totales (%)	89,78 ^a	90,38 ^b	95,14 ^c
Fósforo (%)	ND	ND	ND

Letras iguales en la misma fila indica que no existe diferencia significativa (p= 0,05). Letras diferentes en la misma fila (a, b y c) indican que existen diferencias significativas.

En la tabla 7 se señalan los valores de humedad para el almidón nativo y los almidones modificado, observaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de humedad ($p \leq 0,05$) entre el almidón nativo y el tratado con irradiación microonda siendo 9,31% y 4,05% respectivamente; esto se debe a que durante el proceso de calentamiento hay evaporación de las moléculas de agua de los gránulos de almidón. Pérez, (2001) observó el mismo fenómeno de disminución de humedad, al modificar almidón de ocumo criollo por irradiación microonda. La autora, reporto valores de 10,31% para nativo y 10,18 % para el almidón modificado por microondas. Así mismo Laurentín, (1999) obtuvo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los valores de humedad de 12,0% para el almidón nativo de ocumo criollo y 9,2 % para el almidón modificado por microonda; el autor comentó que era de esperarse en un procedimiento en donde se involucra, calor una disminución en el contenido de humedad, (para su ensayo la disminución de humedad fue de 26%). Trabajando con almidón extraído de batata (*Ipomoea batatas L. Lam*) y su modificación por irradiación microondas, Semprún, (1999) señaló que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en cuanto a la humedad, que probablemente se debieron al grado de interacción de las moléculas del agua a nivel intragranular. La autora comenta que esto podría indicar que un acondicionamiento a 40% de humedad al que fue sometido el almidón antes de la modificación, pudo también incidir en este hecho. Igualmente González, (1999) obtuvo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre la humedad del almidón nativo de ñame (*Dioscorea alata*) (11,87%) y el almidón modificado por irradiación microonda (11,17) %. Todos estos estudios se corresponden con los resultados obtenidos en este estudio y se puede decir que una disminución en el resultado de humedad puede ser ventajosa al momento de almacenar los almidones, ya que una menor humedad dificulta el ataque por microorganismos y hongos en el almidón.

Ahora, al comparar los valores de humedad para el almidón nativo (9.31%) y el almidón modificado por PL (8,70%) se observa una disminución tenue en el porcentaje de humedad ya que el impacto de los PL sobre el alimento no es tan agresivo como el observado para irradiación microonda, esto puede deberse a que los PL no ocasionan un aumento significativo de temperatura sobre el cuerpo irradiado y las moléculas de agua asociadas al almidón se conservan en su mayoría en estado líquido si existir suficiente energía intermolecular para que estas pasen a su estado gaseoso. Aunque hay diferencias entre los valores de humedad del almidón nativo y PL los resultados estadísticos consideran que estas no son significativas ($p \geq 0,05$), además de indicar una homogeneidad en la media. Rodríguez, (2011) en su estudio con almidón extraído del apio obtuvo resultados similares, la autora comenta que de acuerdo al porcentaje de humedad presente en el almidón tratado con pulso de luz, se puede notar que este tratamiento no ejerció ningún efecto sobre este parámetro, al compararse con el almidón nativo y que esto se debió a que el aumento de la temperatura dentro de los grupos no fue suficiente como para ser evaporados o para que se pierdan grandes cantidades de moléculas de agua en la muestra. Además de que el tiempo por el que se aplicaron los 17 pulsos fue relativamente corto (7 minutos por bandeja), estando entonces los valores muy cercanos entre sí, donde el almidón nativo presentó una humedad de 9,87% y el almidón tratado con PL un valor de 9,82%, por lo que la autora concluye que el tratamiento con PL no ejerce ningún efecto en el almidón nativo seco.

En este estudio, si se comparan los tratamientos aplicados al almidón de ocumo criollo los resultados reflejan el tratamiento por irradiación microonda fue muy efectivo para la humedad logrando disminuciones considerables en este parámetro. Mientras que para el almidón tratado con PL la cantidad de pulsos no fue lo suficiente para lograr una diferencia en el almidón con relación a la humedad.

El análisis de cenizas es otro parámetro que conforma el análisis proximal e igualmente es característico y descriptivo de cada almidón. En la Tabla 7 se observan los valores de cenizas obtenidos para el almidón nativo (0,26%), el almidón modificado por PL (0,29%) y el modificado por irradiación microonda (0,27%), estadísticamente no se observó una diferencia significativa entre el almidón nativo y el almidón modificado por estos dos tratamientos ($p \geq 0,05$), las medias (para un nivel de confianza de 95,0%) de cada grupo son homogéneas no existiendo diferencias. En términos generales el que el valor de la cenizas sea muy pequeño se debe al proceso de extracción del almidón, ya que durante el mismo se remueve casi totalmente los constituyentes presentes, eliminando posiblemente al máximo los elementos minerales o cenizas contenidas en la parte comestible del tubérculo (González, 1999).

En cuanto al contenido de ceniza del almidón nativo de ocumo criollo (0,26%) y el tratado por microonda (0,27) se observa un ligero aumento (Tabla 7); Silva, (2000) en su análisis realizado al almidón de plátano y amaranto, observó el mismo fenómeno, la autora comenta que estas diferencias son relativamente pequeñas y podrían deberse a las características particulares de cada proceso de modificación. Igualmente González, (1999) obtuvo valores de ceniza ligeramente mayor para el almidón de ñame (*Dioscorea alata*) modificado por microonda, que para el almidón nativo. Por otra parte, Pérez, (2001) evaluando el almidón extraído del ocumo criollo obtuvo que el contenido de ceniza fue disminuido significativamente por efectos de la irradiación microonda, mostrando valores de cenizas para el almidón nativo de 0,39% y para el almidón modificado de 0,29%.

Ahora, si se evalúa el contenido de cenizas en el almidón nativo del ocumo criollo (0,26%) y el modificado por PL (0,29%) se observa un ligero aumento, el cual no es significativo estadísticamente se evidencia un leve efecto en el contenido mineral cuando se aplica PL.

Rodríguez, (2011) en su evaluación del almidón extraído del apio obtuvo valores idénticos para el almidón nativo (0,122%) y para el almidón tratado con PL (0,120%), exponiendo que no hubo efecto por PL en este parámetro y que estadísticamente se comprobó que no son diferentes ($p \geq 0,05$).

Las proteínas corresponden a una fracción muy pequeña en los almidones, pero de importancia para representar la composición química de los almidones. En la Tabla 7 se observa que para este ensayo con el almidón de ocumo criollo se tiene 0,37% para el almidón nativo, un 0,36% para el almidón modificado por pulso de luz y un 0,31% para el almidón modificado con irradiación microondas. Como es de notar se obtuvo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), teniendo medias homogéneas y similares las muestra de almidón nativo y la tratada con PL, siendo estadísticamente iguales; y existe diferencia de media entre las dos anteriores (almidón nativo y modificado PL) y el tratamiento con irradiación microonda con diferencias significativas, lo cual es de esperar por la intensidad de la irradiación microonda sobre la estructura del almidón.

En cuanto a la irradiación por microondas la disminución que existe en el contenido de proteína (Tabla 7) puede estar relacionada al calor aplicado, el cual causa la pérdida o desnaturalización de las proteínas presentes en la estructura del granulo de almidón. González, (1999) en su evaluación química del almidón de ñame nativo y modificado por microondas valores de porcentaje de proteína superiores en el almidón nativo y ligeramente menor para el tratado por microonda, aunque estas diferencias no fueron significativas estadísticamente ($p \geq 0,05$). Silva,(2000) observó el mismo fenómeno al tratar el almidón de plátano y amaranto con irradiación microondas, el tratamiento se tradujo en un descenso del tenor proteico significativo, el autor señala que normalmente las proteínas representan una fracción pequeña en el almidón aislado, ubicándose

alrededor del 0,5%, lo que no influye en las propiedades funcionales del almidón (Mestre,1996), y que las mismas pueden estar asociadas a la estructura granular del almidón, y su evaluación sirve como criterio de pureza. Pérez, (2001) en su trabajos de modificación física por irradiación microonda sobre el almidón del ocumo criollo, no obtuvo diferencias significativas entre el almidón nativo y el modificado (0,20%). En el estudio de Pérez, el porcentaje de proteínas se mantuvo igual, luego del tratamiento, lo que puede estar asociado a la naturaleza u origen botánico del tipo de almidón, cuya estructura granular tiene la capacidad de conservar su fracción de proteínas sin ser afectadas por la aplicación de microondas. Por otra parte, Semprún, (1999) en la modificación, que realizó al almidón extraído de batata por irradiación microondas, observo diferencias estadísticamente significativas, teniendo mayor porcentaje de proteínas en el almidón modificado por microonda (0,37%) y menor para el almidón nativo (0,25%). Además, el autor expone que durante el proceso de extracción del almidón se remueve casi la totalidad de la proteína presente en la parte comestible de la batata.

En relación a la modificación por PL y el almidón nativo, lo encontrado en este experimento señala valores iguales estadísticamente entre estos parámetros (0,36 y 0,37% respectivamente) una tenue disminución pero no representativo; lo cual se corrobora con lo obtenido por Rodríguez, (2011), quien obtuvo valores iguales para el almidón de apio nativo y tratado por PL.

En cuanto al contenido de grasa que contiene la muestra de almidón de ocumo criollo analizada, no se verificaron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) existe homogeneidad de media entre las tres muestras analizadas, los valores obtenido son para el almidón nativo 0,28% de grasa, para el modificado por PL 0,27% y un 0,23% para modificación por irradiación microondas (Tabla 7). La fracción de grasa en los almidones

es muy pequeña y son extraídos casi totalmente durante el proceso de extracción. Semprún, (1999) en su análisis proximal del almidón de batata modificado por microondas, en lo que respecta a la grasa cruda, obtuvo valores de 0,63% y 0,54% en base seca para la muestra nativa y modificada respectivamente, presentando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), el autor expone que esta ligera variación pudo deberse posiblemente, a la interacción de la grasa con algún constituyente por efecto de la modificación (Pérez, 1995). Pérez, (2001) reportó valores de 0,07% para el almidón de ocumo criollo nativo y 0,09% para almidón irradiado por microonda, sin diferencias significativas. Por otra parte, Silva, (2000) en su análisis con el almidón de plátano y amaranto, encontró que el contenido de grasa en el almidón modificado por microonda fue mayor (para almidones nativo de plátano 0,19% y amaranto 0,12%, y valores de 0,52% para plátano y 0,13% para amaranto para el almidón modificado); el autor señala que quizás este fenómeno puede tener explicación en la disociación, con el proceso modificante del complejos amilosa-lípidos muy estables en el almidón nativo, lo cual dificultaría su solubilidad durante la extracción que sirve de base al método de análisis. Así mismo, el autor expone que los almidones de cereales presentan lípidos asociados a su estructura, la mayoría constituidos por fosfolípidos; es decir, una cadena de ácidos grasos esterificando al glicerol fosfato, o algunos de sus derivados. Se distinguen dos tipos de lípidos ligados al almidón, uno asociado a la superficie del gránulo y otro que parece unido propiamente a la estructura del almidón (Kankilas, 1985).

En referencia al contenido de fósforo en ambas muestras tanto para los almidones nativo como modificado por PL y por irradiación microonda, no pudo ser detectado por el método de análisis por las mismas razones expuestas anteriormente en el análisis proximal del almidón nativo del ocumo criollo.

Para la pureza, se encontraron en este análisis diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre todas las muestras, tanto para el almidón nativo y el modificado por PL y por irradiación microondas. Es decir todas las medias estadísticas obtenidas fueron diferentes, lo cual indica que el grupo de muestras evaluadas no se considera homogéneo en cuanto a este parámetro. Siendo estas diferencias producto de los cambios observado en los diferentes componentes químicos del almidón; tanto nativo, como modificado mencionados anteriormente. El mayor porcentaje de pureza se obtuvo para el almidón modificado por microondas, el cual fue de 99,19%, que se debe a los efectos del tratamiento calórico. La pureza del almidón modificado por PL fue de 99,08%, que aumentó ligeramente en relación al almidón nativo, por el mismo efecto del tratamiento. Este, efecto no es tan marcado como el que se observa por irradiación microonda, esto puede deberse a que el calentamiento sobre el alimento es muy ligero, casi insignificante y el efecto de la luz UV no es tan severo para modificar las características de los componentes químicos del almidón de ocumo criollo.

5.2.2- Determinación de los parámetros físicos y fisicoquímicos del almidón de ocumo criollo modificado.

Los parámetros físico y fisicoquímicos aportan otra información fundamental para la caracterización de los almidones nativos y sobre todo para los almidones modificados donde dependiendo de la modificación, estas propiedades pueden sufrir cambios que de una u otra forma alteran el comportamiento del almidón dentro de un alimento y los cuales son fundamentales conocer en la industria de alimentos para predecir procesos industriales. En la Tabla 8 se encuentran los valores de los parámetros físico y

fisicoquímicos tanto del almidón nativo como del almidón de ocumo criollo modificado por PL y por irradiación microondas.

Tabla 8. Características físicas y fisicoquímicas del almidón modificado de ocumo criollo y comparación estadística con el almidón nativo.

Parámetro	Almidón nativo	Almidón modificado pulso luz UV (PL)	Almidón modificado por microonda
Acidez titulable (%)	0,0409 ^a	0,00564 ^b	0,00782 ^c
pH	6,53 ^a	6,42 ^a	5,8 ^b
Color			
L*	97,2 ^a	96,94 ^b	94,9 ^c
a*	0,04 ^a	0,07 ^b	0,21 ^c
b*	2,03 ^a	2,03 ^a	3,56 ^b
IB	96,54 ^a	95,31 ^b	93,78 ^c
Densidad relativa (g/ml)	1,5603 ^a	1,5611 ^b	1,5593 ^c
Consistencia de gel (mm)	97,00 ^a	111,00 ^b	96,00 ^c

Letras iguales en la misma fila indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

En la Tabla 8 se puede observar los valores de pH para el almidón nativo (6,53) y para los almidones modificados (6,42 para PL y 5,8 para microonda), estadísticamente se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), entre el almidón modificado por irradiación

microondas, mientras que el almidón nativo y el modificado por PL obtuvieron medias similares, por lo que existe homogeneidad entre estas. Estas diferencias se deben a las características intrínsecas de este almidón y el efecto de los tratamientos de modificación aplicados.

Evaluando otros trabajos se tiene que, Pérez, (2001) en su análisis en el almidón nativo y modificado por microonda del ocumo criollo, no observó diferencias significativas; pero Semprún, (1999) en el almidón de batata modificado por microondas, encontró diferencias estadísticas a un nivel de significancia del 5% para pH de los almidones nativos y modificados.

Por otra, parte para el almidón tratado por PL no se encontraron diferencias significativas en comparación con el nativo, dado que este tratamiento ciertamente no logró una modificación relevante en las características físicas y químicas del almidón. Rodríguez, (2011) para el almidón de apio tratado con PL expuso que no hay efecto del tratamiento; ya que el pH del almidón es prácticamente muy similar al almidón nativo sin tratamiento.

En cuanto a la acidez, en este ensayo se encontró que si existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) y todas las muestras poseen medias diferentes, por lo que no hay homogeneidad entre los grupos. La acidez del almidón modificado por microonda fue superior que la mostrada por el almidón nativo y el almidón tratado con PL, por lo que este tratamiento tiene un marcado efecto sobre el almidón (Tabla 8).

Comportamiento similar observó Semprún, (1999), la autora reportó en sus análisis que si existe diferencia a nivel de significancia del 5% por el efecto del tratamiento de microonda sobre el almidón de batata. Expresando que tal modificación afectó la acidez del almidón,

por lo tanto el proceso de calentamiento en los almidones modificados tuvo un efecto marcado sobre este parámetro, siendo la acidez del almidón menor que el modificado. Así mismo señaló que esto podría deberse a la formación de ácidos (ácido fórmico, ácido acético, propiónico, isobutírico, isovalérico, valérico, isocaproico) por la hidrólisis del almidón como consecuencia del proceso (Rashid y col. 1979).

La acidez evaluada para el tratamiento de PL fue superior al valor obtenido para el almidón nativo, pero su efecto no es tan evidente como la lograda por la irradiación con microondas, más sin embargo se observó un cambio. Rodríguez, (2011) reporta para el almidón de apio tratado con PL, que no encontró diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) con relación al almidón nativo, por lo que el tratamiento en este parámetro no obtuvo ningún efecto.

La modificación física por PL e irradiación microonda afectó de alguna forma el color del almidón, aunque no fue evidente su cambio a simple vista, al ser evaluado con el colorímetro mediante el sistema Hunter, si fue posible observar estas diferencias, que muestran un poco más oscuro al almidón de ocumo modificado.

El valor de L^* presentó diferencias estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$) entre todas las muestras analizadas (Tabla 8). El tratamiento con microonda oscureció la muestra de almidón en mayor proporción que el de PL (valor de L^* menor que el nativo y tratado con PL). Sin embargo, el tratamiento con PL si tuvo un leve efecto en la disminución, de L^* en relación al obtenido por el almidón nativo de ocumo criollo. Pérez, (2001) observó un aumento de L^* para el almidón modificado por microonda (91,90 para almidón nativo y 93,24 para el modificado) y Semprún, (1999), estudiando el efecto de la irradiación observó en almidón de batata modificado por microondas; que dicha modificación pudo favorecer ciertas reacciones, entre ellas la reacción de Maillard. Principalmente en

reacciones de oscurecimiento entre los azúcares reductores y grupos aminos o proteínas como consecuencia de las altas temperaturas (Baduí, 1981).

En los valores de a^* y b^* se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), entre el almidón nativo y los almidones modificados, lo cual es producto propiamente del tratamiento de modificación empleado. Existiendo mayor diferencia entre el almidón tratado con microonda, que en el tratado con PL o el nativo, más sin embargo, en PL logró un efecto tenue pero detectable sobre el almidón de ocumo criollo. Todos los almidones aunque presentaron diferencia, conservan sus matices rojos y amarillos y pueden considerarse como almidones bastante blancos en cuanto al valor de L^* . Semprún, (1999) encontró que para almidones de batata (nativo e irradiado por microonda), los valores de a^* fueron estadísticamente diferentes a un nivel de significancia del 5%, mientras que para el parámetro b^* no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). González, (1999) por su parte, expresa que el valor de L^* no presentó variaciones con respecto a a^* y b^* en el almidón modificado por microondas, los mismos fueron superiores en relación al almidón nativo. Para esta autora un aumento en estos valores representó que el almidón tendió menos hacia el color amarillo, y mayor tendencia hacia la longitud de onda correspondiente al verde.

Con relación al almidón de apio modificado con PL, Rodríguez, (2011) encontró una leve disminución en el índice de blancura, el cual deriva en la disminución de L^* con respecto al almidón nativo. En cuanto al matiz a^* para los almidones nativos y los tratados con PL, tienden ambos al color verde; por su parte el valor de b^* en el nativo, tiende a un color amarillo siendo mayor el valor de b^* .

La densidad también se vio afectada por las modificaciones físicas, estadísticamente se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los almidones (Tabla 8). El menor

valor se observó en los almidones irradiados por microondas y un ligero aumento en el modificado por PL en relación al almidón nativo. González, (1999) reportó en almidón de ñame, valores de densidad similares; tanto para el almidón nativo, como para el modificado por microondas, cuyas diferencias no fueron significativas; Pérez, (2001) obtuvo una disminución significativa en la densidad del almidón modificado por microonda y Semprún, (1999) reportó valores de densidad de 0,79 g/ml para el almidón de batata nativo y 1,01 g/ml para el almidón modificado. Si bien es cierto que estas discrepancias son evidentes, es de hacer notar que son iguales estadísticamente ($p > 0,05$).

Respecto a la consistencia del gel, en este estudio se encontró que para el almidón modificado por PL, la fuerza del gel fue de 111,00 mm, para el tratado con irradiación microonda la corrida fue de 96,00 mm menor a la obtenida por el almidón nativo de 97,00 mm (Tabla 8). Entre todos los almidones evaluados tanto el nativo como el modificado existen diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) lo que se debe al efecto del tratamiento en sí, sobre el almidón. Rodríguez, (2011) en los resultados obtenidos para este parámetros con modificación PL no reportó cambio alguno al compararlo con el almidón nativo, por lo que no observó diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$). La consistencia está relacionada con el contenido de amilosa, la cual da una idea de la capacidad de formar geles más rígidos a temperatura ambiente (Whistler y Paschall, 1967).

5.2.3. Características morfométricas del almidón de ocumo criollo modificado.

5.2.3.1. Microscopia de Luz polarizada del almidón de ocumo criollo modificado.

En la Figura 12 se observa para el almidón tratado con microonda, tamaños promedio en el gránulo de 6 a 16 μm , muy similares al del almidón nativo, pero acompañados con una pérdida parcial de la estructura. Así mismo, los gránulos se encuentran formando grandes aglomerados quizás por el calor producto del tratamiento con microonda. Por otro lado, no se observó pérdida de la cruz de malta ni su cristalinidad, aunque se evidencian algunos gránulos que comienzan a perder su integridad física (Figura 13). Se observó, que cuando estos gránulos presentan cristales perfectos tiene una forma que se aíslan uno entre otros, al calentarse, se excitan y pierden la estructura cristalina en sus bordes y poco a poco se van asociando unos con otros y forman aglomerados con la existencia de adhesión entre los gránulos (Figura 14). Los que no se aglomeran se ven idénticos a los gránulos del almidón nativo (Figura 15).

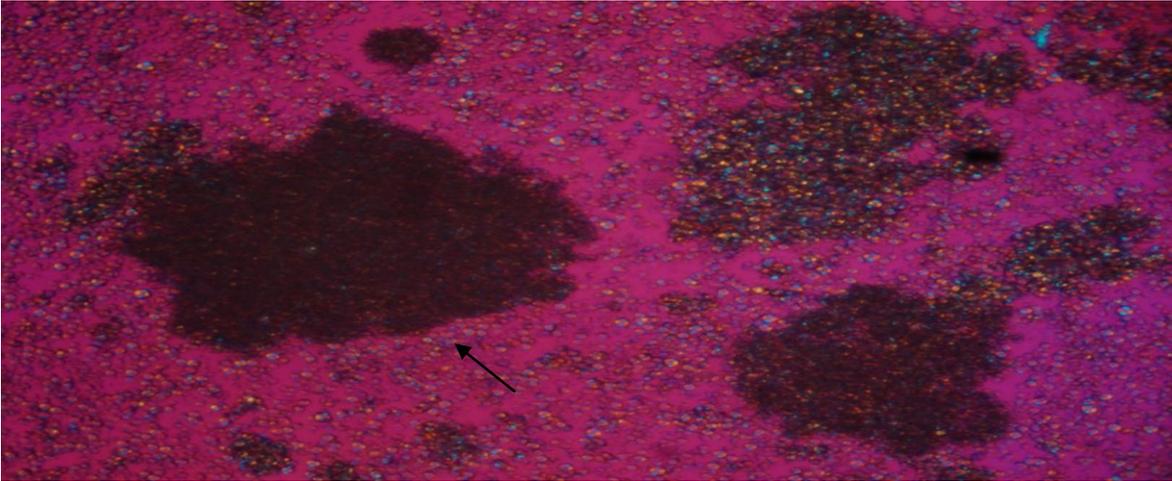


Figura 12. Almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microonda. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 60X, donde se evidencia la agrupación de gránulos formando aglomerados.

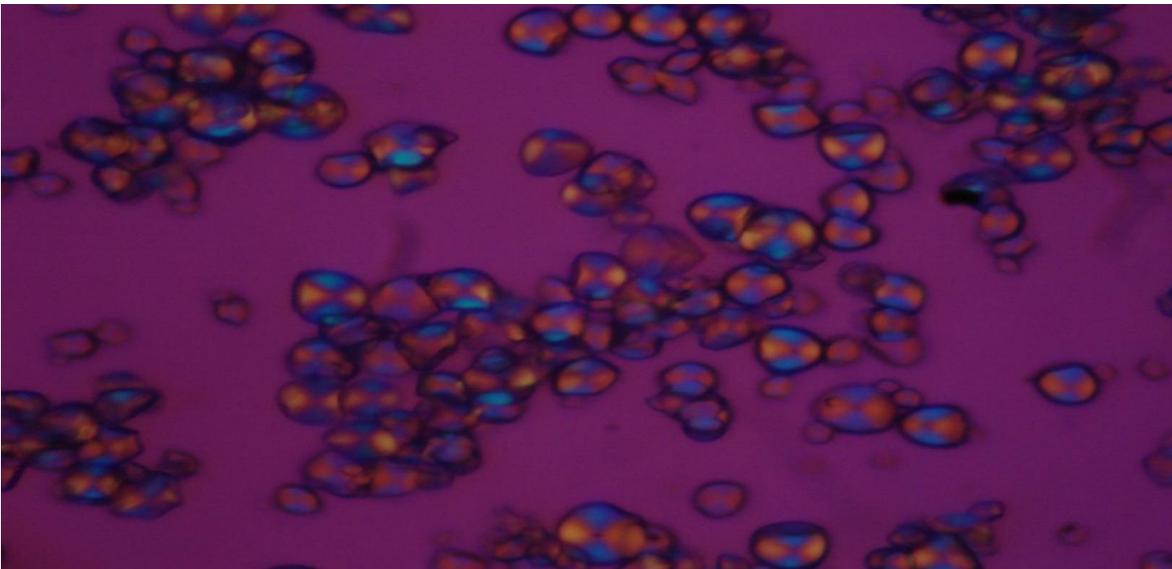


Figura 13. Almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microonda. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 300X, donde se observa en detalle la agrupación entre los gránulos, así como la cruz de malta en cada gránulo.

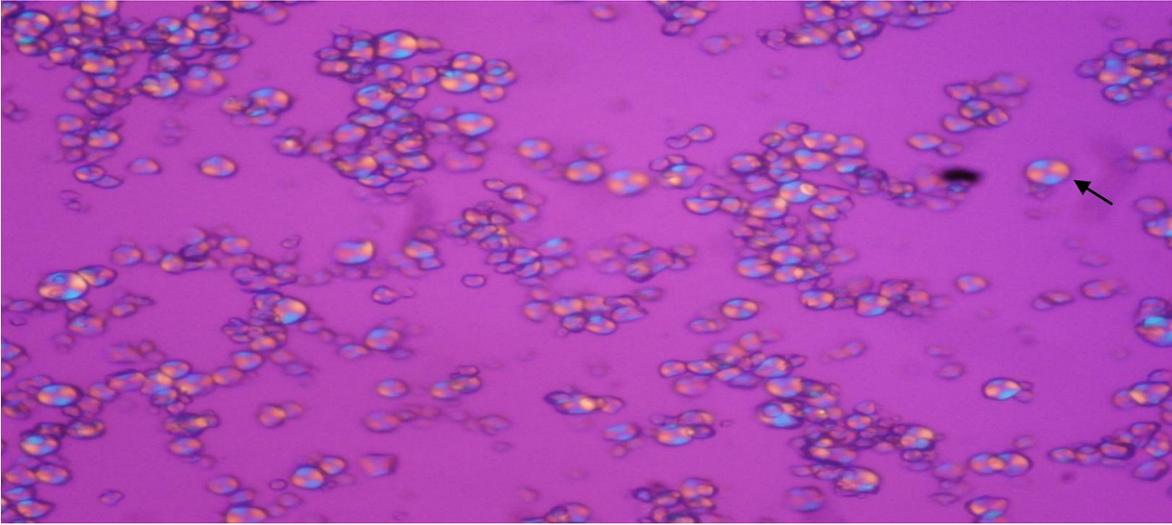


Figura 14. Almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microonda. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 150X, donde se observa en gránulos agrupados y gránulos aislados que conservando su integridad física.

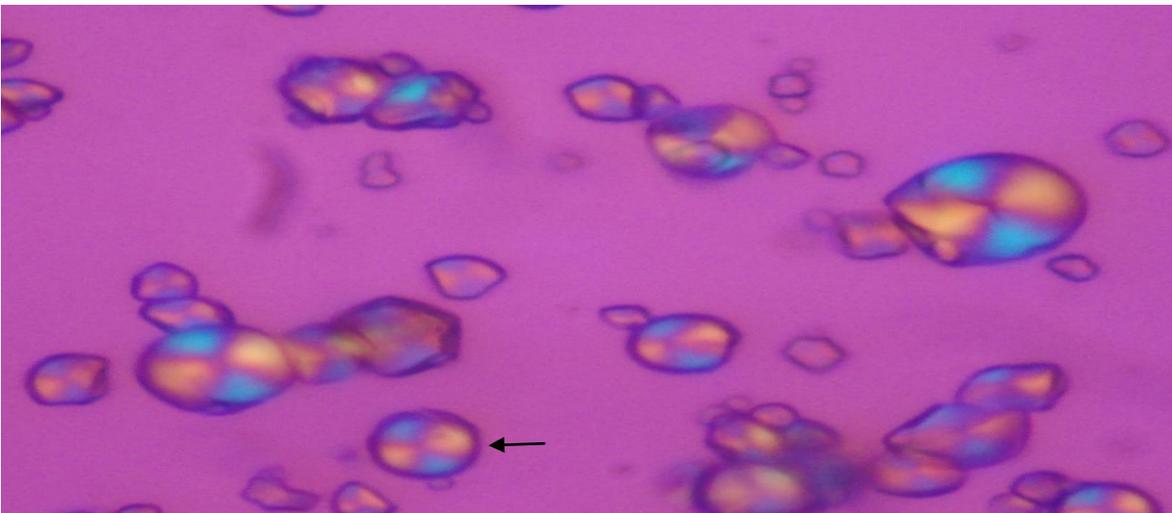


Figura 15. Almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microonda. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 300X, donde se observa que la forma del granulo es similar a la mostrada por los gránulos de almidón nativo.

Por otra parte, Semprún, (1999) no encontró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en cuanto al tamaño del largo y ancho, entre el almidón de batata modificado con irradiación microonda y el almidón nativo, por lo tanto, pareciera que la modificación por microondas no afectó notoriamente el tamaño promedio de los gránulos del almidón.

En cuanto a la muestra de almidón modificada por PL las micrográficas permitieron observar gránulos similares a los nativos en tamaño y forma (Figura 16), con aparición de pequeños aglomerados (Figura 17). A pesar del tratamiento, los gránulos mantienen su integridad evidenciándose la cruz de malta y por lo que se infiere la conservación de la cristalinidad; ni a nivel de la periferia, ni en el centro tan severos como lo evidenciado en el almidón modificado por microonda (Figura 18). Rodríguez, (2011) observó que la microscopía del almidón de apio tratados con PL, no reportó cambios en su estructura, tanto internas como externas, lo cual se hace evidente al observar los gránulos con sus respectivas formas físicas. Además los gránulos presentaron su típica cruz de malta, sin pérdida de la birrefringencia, sin ruptura o despolimerización de las moléculas de amilosa, o ligeras pérdidas de las formas física, como suele ocurrir con otros métodos de modificación física como irradiación microonda. La autora atribuye estos resultados obtenidos al bajo poder de penetración del tratamiento de pulso de luz UV aplicado a los almidones secos.

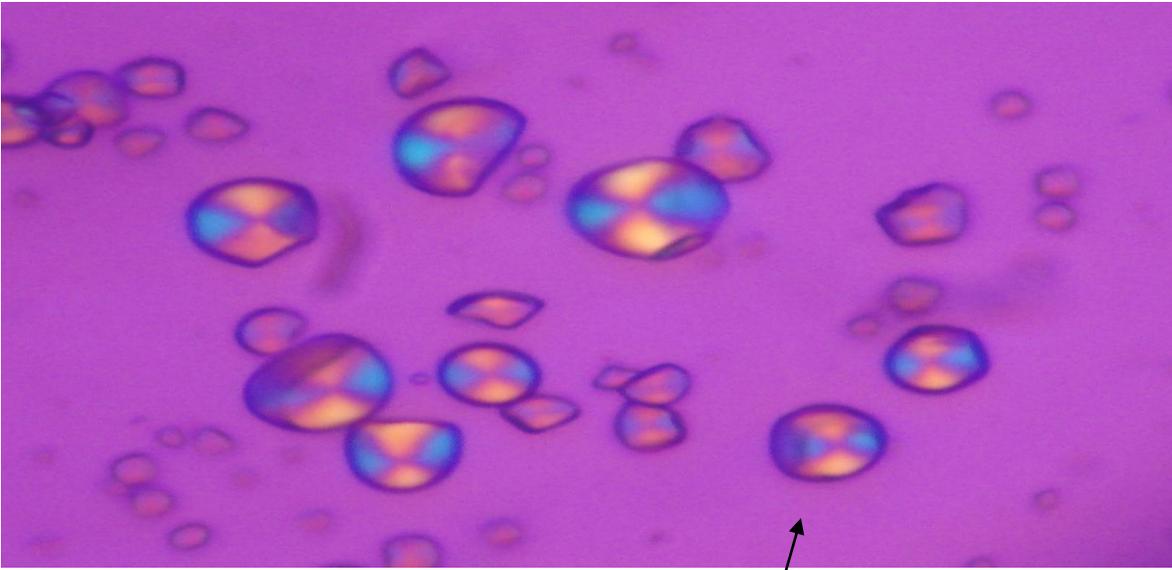


Figura 16. Almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 300X, donde se observa que estos gránulos conservan su forma y tamaño siendo similares a los observados para el almidón nativo.

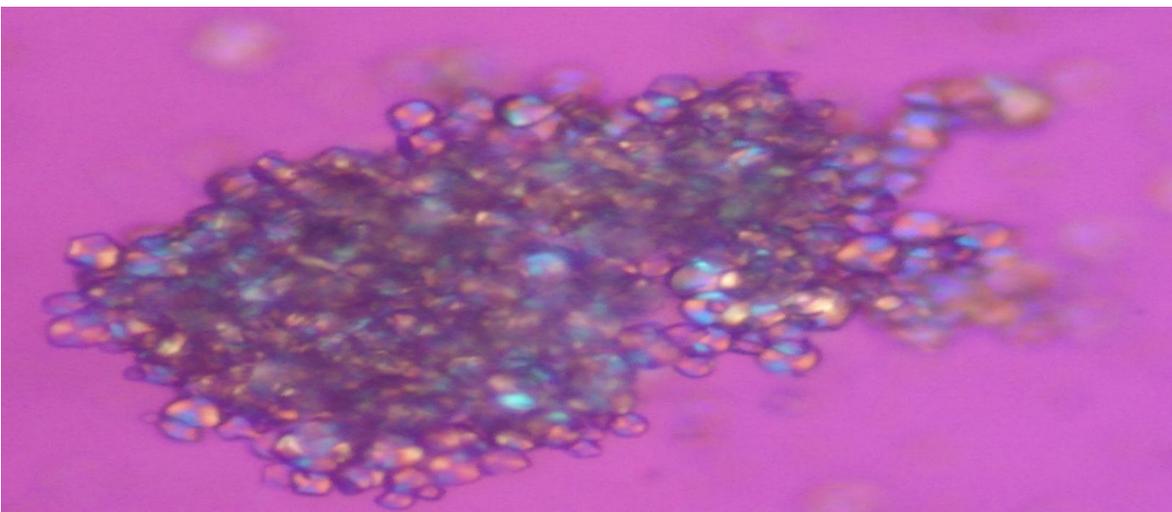


Figura 17. Almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 150X, donde se observa entre los gránulos, la formación de aglomerados.

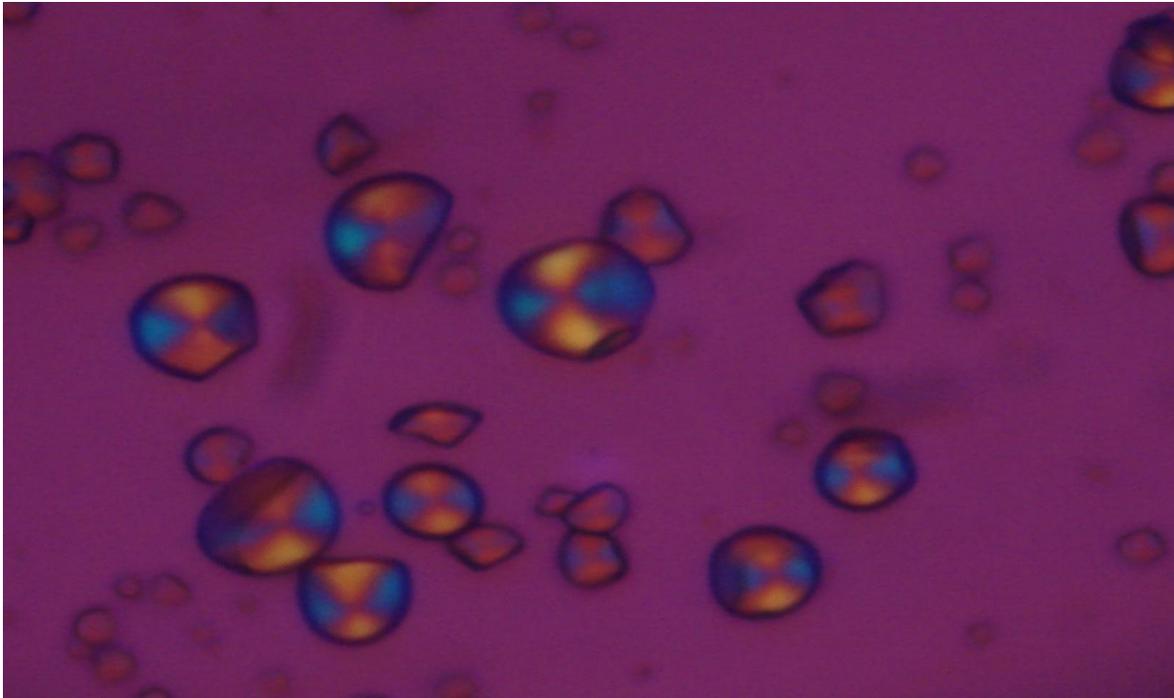


Figura 18. Almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV. Imagen tomada con un microscopio óptico de luz polarizada con un aumento de 300X, donde se observa la cruz de malta sin evidencia de pérdida de la cristalinidad.

5.2.3.2 Granulometrías del almidón de ocumo criollo modificado.

En la Figura 19, se observa que los valores de tamaño del gránulo varían entre 6 a 16 μm en el almidón nativo y el almidón tratado con pulso de luz, donde es evidente que no hubo un efecto significativo en el tamaño granular por efecto del tratamiento aplicado. Sin embargo, en el caso del almidón tratado con microondas se observa un mayor rango de tamaño granular, con menor proporción, reportándose en la Figura 19 un rango de tamaño granular de 6 a 33 μm , asimismo se observa la presencia de aglomeraciones en los tres casos.

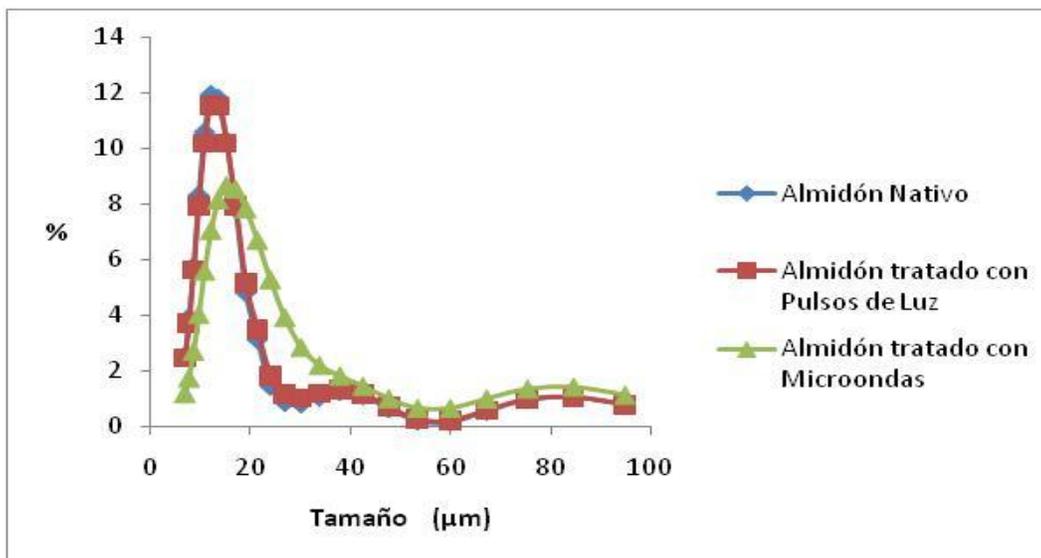


Figura 19. Granulometría medida con rayos laser de los almidones nativo y modificados por pulso de luz e irradiación microondas del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*).

5.2.4 Características Reológicas.

5.2.4.1 Viscosidad del almidón de ocumo criollo modificado evaluada con el viscosímetro de Brookfield.

Se ha definido la viscosidad aparente como una medida válida para analizar el fenómeno de gelatinización en almidones (Kokini y col. 1992). La viscosidad de los fluidos no newtonianos es dependiente de la tasa de cizalla, a la cual ellos son sometidos (Giese, 1995). Los fluidos pseudo-plásticos no newtonianos disminuyen su viscosidad con la tasa de cizalla. Como se observa en las Figuras 20, 21 y 22, se ve que la viscosidad de los almidones disminuye con fuerza de corte aplicada, este comportamiento es característico de los fluidos no newtonianos pseudo-plásticos donde la viscosidad es mayor a menor temperatura. En almidón modificado por microonda, en este estudio, presentó valores menores, al compararlo con los resultados obtenidos el almidón nativo y el tratado con PL, pero entre todos, no se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa ($p \geq 0,05$) (ver

Figuras 20, 21 y 22). En relación a lo expuesto, Pérez, (2001), observó que la viscosidad desarrollada por los almidones de ocumo criollo y otros almidones irradiados con microondas es menor que la de los almidones nativos, comportamiento similar obtuvo González, (1999) para el almidón de ñame modificado con microonda. En estos almidones, la viscosidad disminuye a medida que aumenta la tasa de corte y encontró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en todas la tasa de corte en comparación con el almidón nativo.

En contraste a este resultado, Semprún, (1999) en su análisis para el almidón de batata, observó que a 50°C existe diferencia significativa por lo que, todo los valores aumentaron para el almidón modificado por microondas. La autora, concluye que la modificación influyó en la viscosidad aparente, incrementando el valor de la misma, por el contrario el almidón nativo analizado en este estudio, si se comportó como un fluido pseudo-plástico, ya que su viscosidad disminuyó al aumentar la tasa de corte e incrementó al disminuir la temperatura.

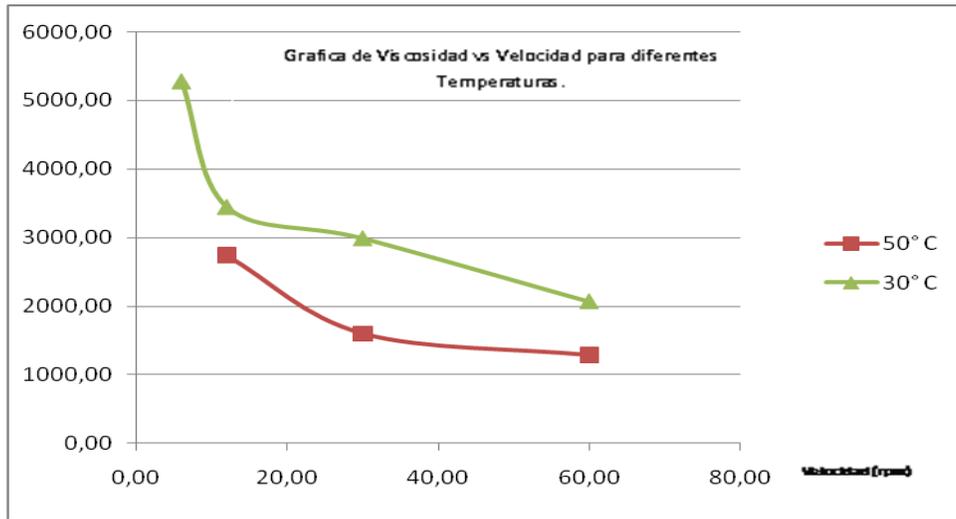


Figura 20. Curvas de viscosidad aparente del almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microondas.

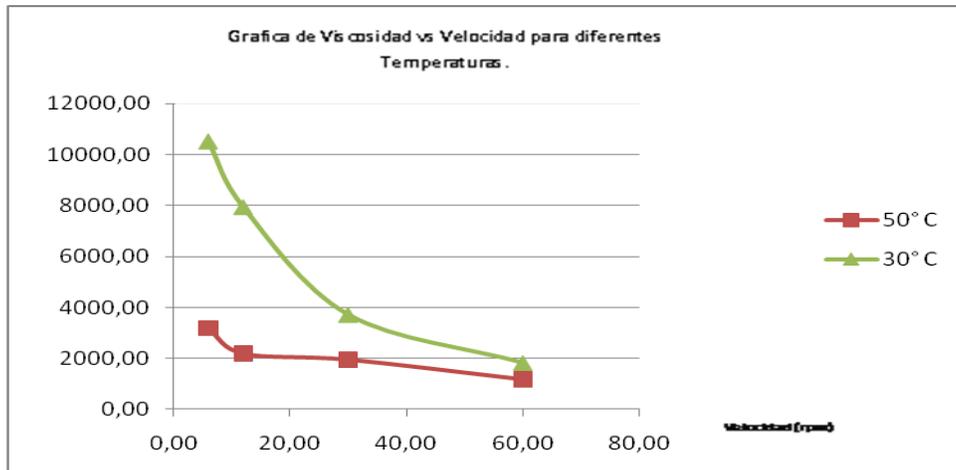


Figura 21. Curvas de viscosidad aparente del almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV.

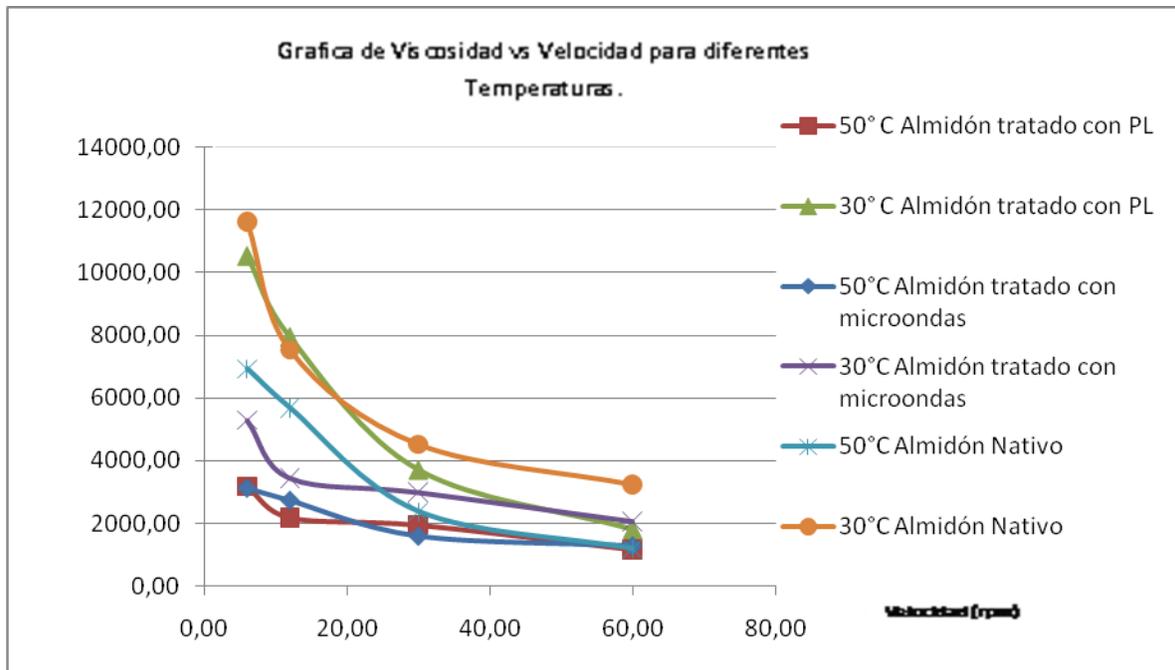


Figura 22. Curvas de viscosidad aparente de los almidones de ocumo criollo nativo y modificados.

5.2.4.2 Análisis amilográfico del almidón modificado de ocumo criollo.

Debido al comportamiento no ideal de las soluciones de almidón, el procedimiento de la pasta es tradicionalmente caracterizado por métodos empíricos, mediante el empleo del amilógrafo de Brabender. La Tabla 9 y las Figuras 23 y 24 muestran los perfiles de gelatinización de las suspensiones almidón de ocumo criollo nativo y modificado.

Tabla 9. Perfiles de gelatinización medidos con el viscoamilógrafo Brabender expresado en unidades Bradender (UB) del almidón de ocumo criollo modificado.

Parámetros	Almidón nativo	Almidón modificado por PL	Almidón modificado por microondas
TIG(°C)	76,9 ^a	76,2 ^{ab}	75,6 ^{bc}
TF (°C)	90	90	90
Pico de Viscosidad (UB)	803,0 ^a	734,0 ^a	774,0 ^a
Viscosidad a Temp.90°C (UB)	793,5 ^a	728,0 ^a	773,0 ^a
Viscosidad a Temp.50°C (UB)	753,5 ^a	712,5 ^{ab}	722,5 ^{bc}
Fragilidad (UB)	9,5 ^a	6,0 ^a	2,0 ^a
Consistencia (UB)	-40,0 ^a	-15,5 ^a	-50,5 ^a
Retrogradación (UB)	-49,5 ^a	-21,5 ^a	-51,5 ^a

Letras iguales en la misma fila indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

En cuanto a la TIG (Tabla 9) se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre los almidones evaluados obteniéndose el menor valor de temperatura para el almidón modificado por microonda. Pérez, (2001) observó de forma contraria a este ensayo, un aumento en la TIG en el almidón de ocumo criollo modificado por microondas.

Por otra parte, González, (1999) reportó una TIG menor para almidón modificado (79,5°C) por microonda que para el almidón nativo (82,5°C). Pérez infiere que tal vez ocurrió una posible reorganización a nivel intragranular como consecuencia del proceso de modificación, lo cual pudo ocasionar una mayor dificultad de la entrada de agua hacia la zona amorfa del granuló. Señalando el autor que, este hecho puede interpretarse como un mayor requerimiento de energía por parte del almidón modificado para iniciar así el proceso de gelatinización.

En relación a la modificación con pulso de luz UV el valor de TIG fue menor que el obtenido para el almidón nativo. Rodríguez, (2011) obtuvo TIG de 60°C para el almidón nativo y 59,25°C para el almidón modificado por lo que no se observa diferencia entre ambos almidones.

En cuanto al pico de viscosidad Pérez, (2001) señala que es un índice de cómo se desintegra los gránulos de almidón, en consecuencia, almidones con altos valores de máxima viscosidad tiene fuerza cohesivas internas más fuertes que aquellos que presentan bajos valores (García y col., 1998). En este ensayo, el pico de viscosidad no presentó diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$). En la Tabla 9, se observa que el máximo valor corresponde al almidón nativo y luego le sigue el almidón irradiado por microonda; comportamiento similar observó Pérez, (2001) exponiendo que la viscosidad desarrollada por los almidones irradiados con microondas es menor que la de los nativos. Laurentín, (1999) por su parte reporto comportamientos viscoelásticos similares entre el almidón nativo y el modificado por microondas, ambos almidones presentan picos de viscosidad moderados durante la etapa de cocción, seguido de un aumento de la viscosidad, durante el enfriamiento.

Para el almidón tratado con PL se observó una disminución considerable en el pico de viscosidad, pero no significativa; así que se puede decir, que el efecto de este tratamiento no logra cambios considerables sobre el almidón tratado.

Evaluando ahora la viscosidad a una temperatura de 90°C, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) (Tabla 9). El menor valor se observó en el tratamiento con PL seguido del de irradiación por microonda, esta misma respuesta la obtuvo Pérez, (2001) y Laurentín, (1999) para almidón de ocumo criollo y González, (1999) para almidón de ñame. Esta último autor expone que en el almidón modificado se produjo la posible formación de enlaces intragranulares que restringieron la fácil entrada de agua en las zonas amorfas del almidón, generando así una disminución en la viscosidad. Así mismo Semprún, (1999) en el almidón de batata nativo y modificado por microonda observó disminución en la viscosidad de 880UB y 920UB respectivamente, por lo tanto se podría deducir que la suspensión del almidón modificado es ligeramente más estable que la del almidón nativo en esta etapa de calentamiento constante.

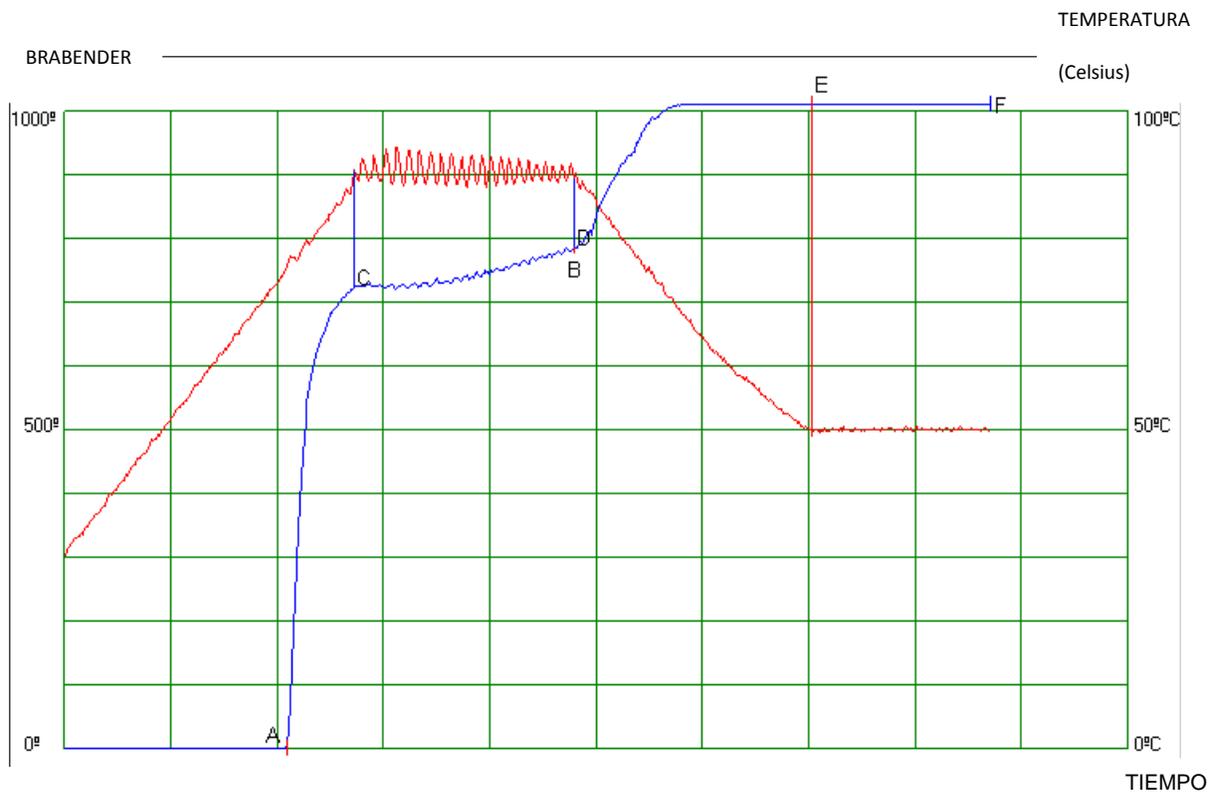
En este estudio, la viscosidad a una temperatura de 50°C igualmente, no presentó diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre el almidón nativo y los modificados por microondas y PL. Con relación a la modificación por microondas, Pérez, (2001); Laurentín, (1999) y Semprún, (1999) obtuvieron valores de viscosidad mayor a 50°C que a 90°C, lo que demuestra la tendencia a la retrogradación de estos almidones. En comparación entre el almidón nativo y el modificado, ambos autores afirman el hecho de que la viscosidad es mayor en el almidón nativo y menor en el almidón modificado, por lo que, los almidones nativos tienden a formar un gel más fuerte a pesar de que su contenido de amilosa es menor que el almidón modificado en algunos casos. Para PL no se observan cambios relevantes como producto del efecto de este tratamiento.

González, (1999) expone que la fragilidad establece una relación la cual indica que a mayor fragilidad, menor será la resistencia de los gránulos frente a la fuerza de corte generadas en el amilógrafo. En la Tabla 9 se observan los valores de fragilidad obtenidos para los almidones nativos y modificados. Estadísticamente no se observan diferencias significativas ($p \geq 0,05$) sin embargo se puede observar que el valor de menor fragilidad presenta el almidón modificado por irradiación microondas, por lo tanto éste almidón será más resistente a la desintegración mecánica y térmica. Pérez, (2001) observó un aumento en la fragilidad de los almidones modificados por microonda, señalando que la estabilidad es afectada por todos los tratamientos tanto físicos como químicos siendo mayor para la modificación con irradiación microondas. Por su parte, Laurentín, (1999) no observó cambios en la fragilidad del almidón de ocumo criollo nativo y el modificado por microondas, más sin embargo obtuvo para ambos, valores muy bajos de 12UB. El autor comenta que la baja fragilidad de estos almidones le confiere una alta estabilidad a la pasta caliente, atributo que podría aprovecharse para la formulación de alimentos. Semprún, (1999) también obtuvo menor fragilidad en el almidón de batata modificado por microondas, los valores de estabilidad fueron 40 y 20UB para nativo y modificado, lo que está relacionado a una mayor resistencia del gránulo a esta condición de calentamiento.

Para el almidón modificado por PL también se verificó una disminución en la fragilidad (Tabla 9) (mayor en valor, a la obtenida por la aplicación de irradiación microondas) sin embargo, a pesar de lo leve que pudo haber sido este tratamiento sobre el almidón, en ciertos parámetros llegó a realizar pequeñas modificaciones evidenciadas en los resultados. En cuanto a la estabilidad, Rodríguez, (2011) obtuvo valores idénticos entre el almidón nativo y el almidón modificado de 219,5 UB y 219,0UB respectivamente, por lo que se puede inferir que dada la naturaleza del almidón de apio la aplicación de pulso de luz UV no es representativo para verificar cambios considerables en la estructura y

comportamiento del almidón; lo cual se debe a que los gránulos de este almidón posee una estructura bien organizada y una fuerte envoltura granular; mientras que el almidón de ocumo criollo es un poco más susceptible y puede verificar algunas variaciones en sus índices de viscosidad como producto de este tipo de modificación.

Para la consistencia, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$). En la Tabla 9 se observa que el mayor valor de consistencia se logró para el almidón modificado por pulso de luz UV, y una menor consistencia para el almidón modificado por microonda, comportamiento que también observó Pérez, (2001) en su análisis con este mismo almidón. Comportamiento similar se observó para los valores de retrogradación; en donde igualmente no existieron diferencias significativas. Los almidones evaluados; tanto nativos, como modificados tienen baja tendencia a retrogradar lo cual puede ser favorable para el uso de estos almidones. Semprún, (1999) observó que los almidones irradiados por microonda presentaban una disminución en el valor de asentamiento, con valores de 120 y -50UB para almidones nativos y modificados respectivamente. La autora comenta que aunque se observó una menor tendencia a retrogradar, esto no quiere decir que el almidón modificado no exhiba una tendencia considerable a retrogradar, ya que para ambas muestras de almidón de batata, los valores de viscosidad fueron superiores a 800UB a 50°C. Este; comportamiento también fue observado en este ensayo para el almidón de ocumo criollo. González, (1999) reporto igualmente disminución de la retrogradación para el almidón de ñame modificado por microonda. En estudio de los tres almidones evaluados, el que presenta mayor retrogradación, con un valor negativo, es el almidón irradiado con pulso de luz UV, corroborando lo expuesto anteriormente, donde se aclara que leves modificaciones ocurrieron por este tratamiento sobre el almidón de ocumo criollo.



A= Temperatura inicial de gelatinización

B= Pico de máxima viscosidad (Minutos)

C= Temperatura inicial de gelatinización

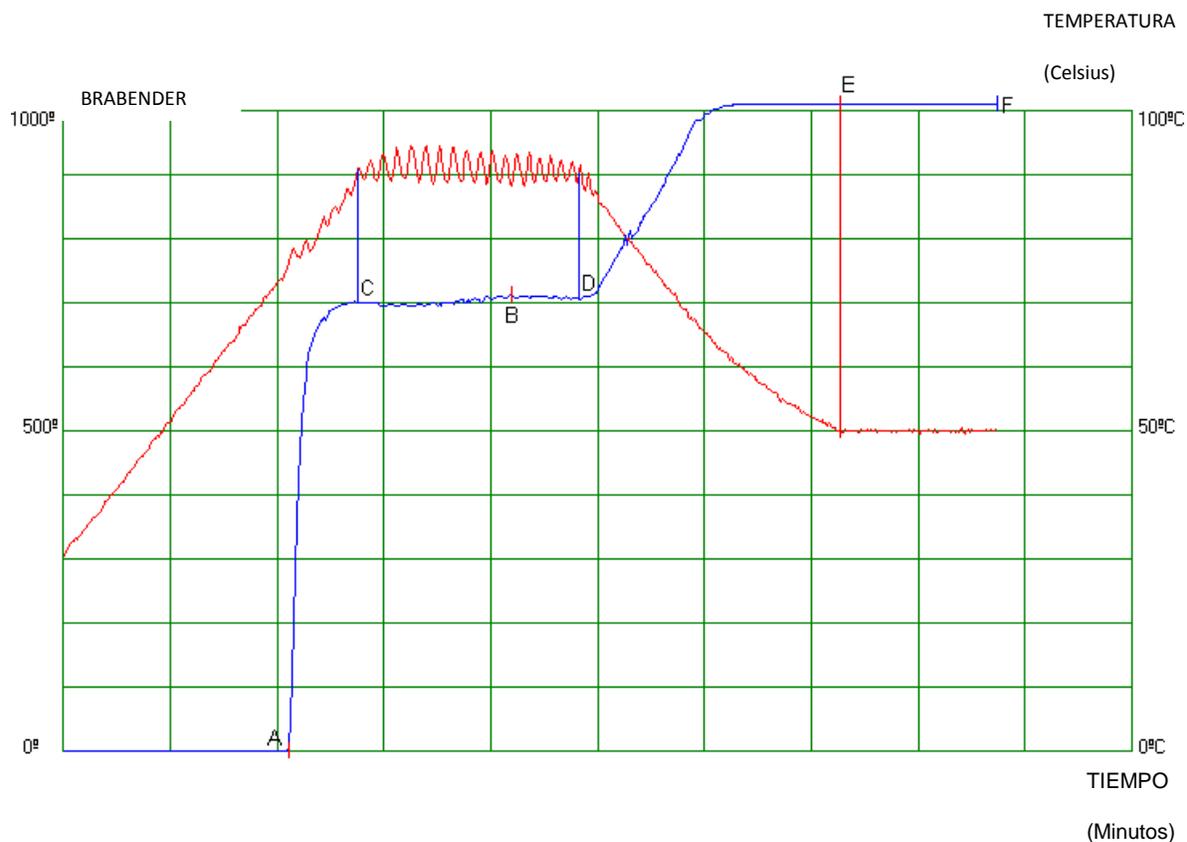
D= Temperatura final de gelatinización

E= Gelatinización inicial a una temperatura de 50°C F= Gelatinización al final del proceso

Curva roja= perfil de temperatura

Curva azul= perfil de viscosidad del almidón de ocumo criollo modificado por microondas.

Figura 23. Amilograma del almidón de ocumo criollo modificado por irradiación microonda.



A= Temperatura inicial de gelatinización

B= Pico de máxima viscosidad

C= Temperatura inicial de gelatinización

D= Temperatura final de gelatinización

E= Gelatinización inicial a una temperatura de 50°C F= Gelatinización al final del proceso

Curva roja= perfil de temperatura

Curva azul= perfil de viscosidad del almidón de ocumo criollo modificado por PL.

Figura 24. Amilograma del almidón de ocumo criollo modificado por pulso de luz UV.

5.2.5- Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón de ocumo criollo modificado.

En la Tabla 10 y en la Figura 25 se observa el comportamiento del almidón nativo y del almidón modificado por PL y por irradiación microonda para las propiedades

fisicoquímicas de absorción de agua. Este es un parámetro necesario de evaluar; ya que es una característica específica de cada almidón en particular y dependen de diversos factores como por ejemplo; tamaño de los gránulos, relación amilosa/amilopectina, fuerzas secundarias intra e intermoleculares.

Tabla 10. Valores de absorción de agua, obtenidos para el almidón de ocumo criollo modificado.

Temperatura(°C)	Almidón nativo (g)	Almidón modificado por PL UV (g)	Almidón modificado por microonda (g)
60	0,6992 ^a	2,4660 ^a	2,6034 ^b
65	0,6240 ^a	1,0709 ^a	1,6556 ^b
70	0,9760 ^a	3,0857 ^a	5,4687 ^b
75	2,0768 ^a	5,4508 ^a	16,5147 ^b
80	9,8233 ^a	10,7158 ^a	21,0048 ^b
85	10,2905 ^a	11,1891 ^a	23,2058 ^b
90	10,9255 ^a	12,5934 ^a	26,4060 ^b
95	12,6931 ^a	12,6417 ^a	28,5226 ^b

Letras iguales en la misma fila indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

Evaluando los resultados obtenidos (Tabla 10), estadísticamente se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), siendo iguales las medias para el almidón nativo y el modificado por PL y diferente para el tratamiento con irradiación microonda, por lo que, este ultimo tratamiento provoco modificaciones significativas en el almidón. Las diferencias encontradas sugieren que el almidón nativo y modificado por PL, poseen las mismas formas amorfas y cristalinas en el gránulo de almidón, lo cual es cierto y se evidenció en los análisis de granulometría y microscopia evaluados anteriormente. Sin embargo, es de notar que el tratamiento con PL modificó ligeramente las fuerzas intergranulares, lo que se evidencia por la mayor absorción de agua a bajas temperatura (entre 60 y 75 °C). En contraste, los gránulos de almidón modificados por microondas si sufrieron cambios en su estructura, disminuyendo las fuerzas entre las moléculas, dentro

del gránulo, haciéndolas más susceptibles a la disolución. Si se describe el proceso de absorción para el almidón modificado por microondas; se observa aumentos graduales de absorción de agua en las temperaturas entre 60 y 70°C, a partir de allí el aumento de gramos de agua es acelerado a 75°C, luego de lo cual incrementa gradualmente hasta llegar a el valor mayor a temperatura de 95°C, este mismo comportamiento se observa (Figura 19) en el almidón nativo y modificado por PL, pero con valores menores que los obtenidos por modificación con microondas.

En sus análisis de absorción de agua, Semprún, (1999) observó el mismo comportamiento descrito anteriormente para el almidón de batata modificado por microondas, mostrando valores para el almidón nativo de 1,59 g de agua/g y para el modificado 2,27 g agua/g. La autora señala que puede deberse a una mayor accesibilidad del agua a las zonas amorfas, causadas por la modificación (Pérez, 1994). A 80 y 95°C son mayores los valores para el almidón nativos que para los modificados, la disminución de la absorción de agua se debe probablemente, a que se produjo una mayor reorganización de los polímeros a nivel intra-granular (Pérez, 1994).

La conducta de la absorción de agua en el almidón tratado con PL fue ligeramente superior en cuanto al rango de temperaturas, comparada a la absorción de agua mostrada por el almidón nativo, (Figura 25).

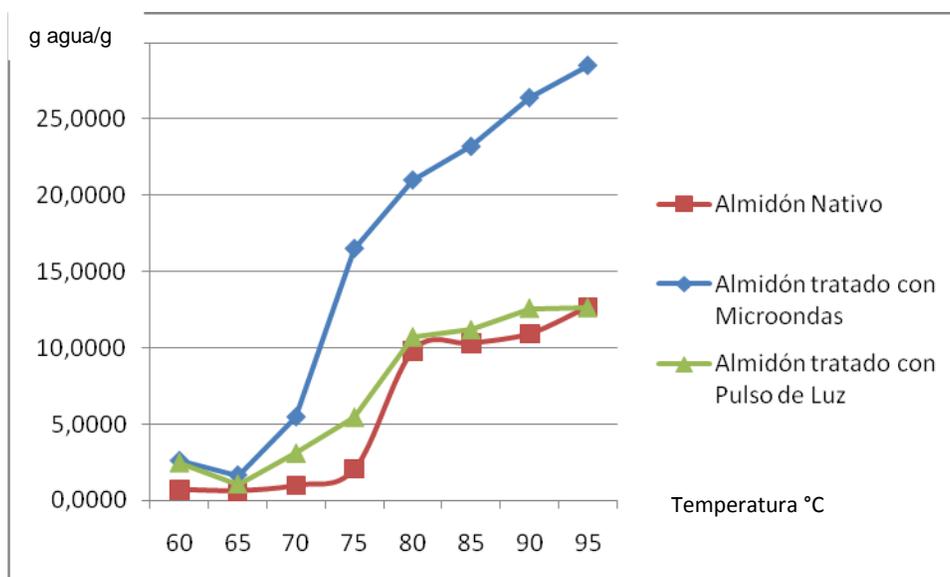


Figura 25. Absorción de agua (g) contra temperatura (°C), del almidón de ocumo criollo modificado en contraste con el almidón nativo.

Para el análisis del patrón de sólidos solubles en las muestras de almidón de ocumo criollo nativas y modificadas, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$), todas las medias evaluadas fueron iguales considerando la existencia de valores homogéneos para los diferentes almidones (Tabla 11 y Figura 20).

Tabla 11. Valores de porcentaje de sólido soluble obtenidos para el almidón de ocumo criollo modificado.

Temperatura(°C)	Almidón nativo (%)	Almidón modificado por PL UV (%)	Almidón modificado por microonda (%)
60	1,0393 ^a	0,4238 ^a	1,4782 ^a
65	1,3130 ^a	0,8116 ^a	1,7834 ^a
70	1,3255 ^a	1,2544 ^a	4,4991 ^a
75	1,9519 ^a	3,3605 ^a	12,1786 ^a
80	11,9178 ^a	11,3503 ^a	15,1920 ^a
85	11,5511 ^a	8,4161 ^a	16,0958 ^a
90	9,4804 ^a	9,5682 ^a	20,2101 ^a
95	11,3242 ^a	8,3157 ^a	21,3754 ^a

Letras iguales en la misma fila indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

En la Figura 26 se observa que para el almidón nativo y modificado por PL, a partir de 80°C el porcentaje de sólidos solubles aumenta y se incrementa al aumentar su temperatura obteniendo valores máximos. Ambos almidones exhiben el mismo comportamiento e incluso para algunas temperaturas el almidón modificado por pulso de luz obtiene valores inferiores, comportamiento similar observado Rodríguez, (2011) en su almidón de apio modificado por este mismo tratamiento. Para el almidón modificado por microonda se verificó un incremento significativo del porcentaje de sólidos solubles a los 75°C (Tabla 11), luego de lo cual aumenta drásticamente teniendo su máximo valor a 95°C.

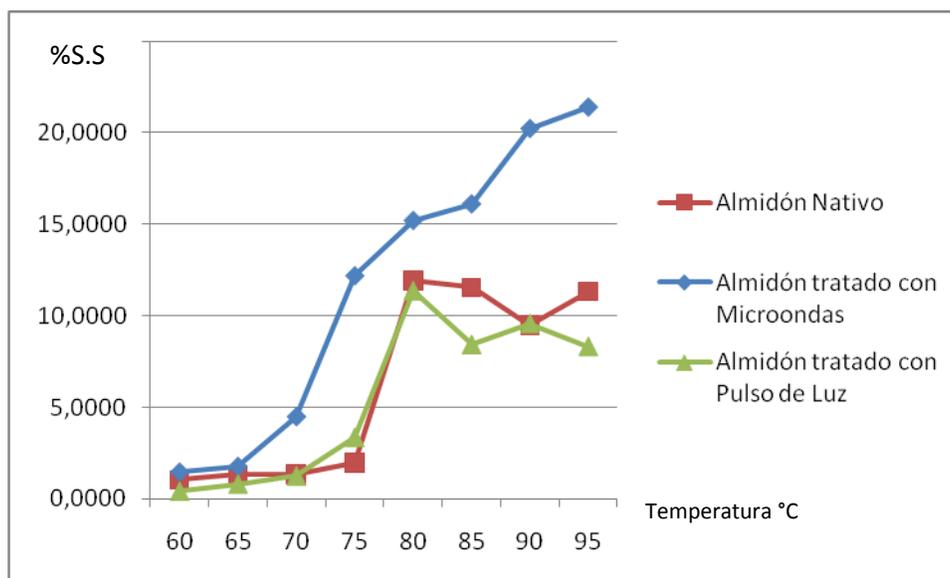


Figura 26. Porcentaje de sólidos solubles contra temperatura (°C), del almidón de ocumo criollo modificado en contraste con el almidón nativo.

En cuanto al patrón de hinchamiento obtenido, se verificaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) donde el almidón nativo y modificado con PL tienen comportamientos similares y la discrepancia existe en el almidón modificado por microonda.

Tabla 12. Valores de poder de hinchamiento obtenidos para el almidón de ocumo criollo modificado.

Temperatura(°C)	Almidón nativo (%)	Almidón modificado por PL UV (%)	Almidón modificado por microonda (%)
60	1,6992 ^a	3,4660 ^a	3,6034 ^b
65	1,6240 ^a	2,0709 ^a	2,6556 ^b
70	1,9760 ^a	4,0857 ^a	6,4687 ^b
75	3,0768 ^a	6,4508 ^a	17,5147 ^b
80	10,8233 ^a	11,7158 ^a	22,0048 ^b
85	11,2905 ^a	12,1891 ^a	24,2058 ^b
90	11,9255 ^a	13,5934 ^a	27,4060 ^b
95	13,6931 ^a	13,6417 ^a	29,5226 ^b

Letras iguales en la misma fila indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

La Figura 27 y la Tabla 12, muestran patrones de hinchamiento de los almidones nativo y modificado, donde los almidones nativo y modificado por PL tienen igual tendencia mientras que el almidón irradiado por microonda muestra valores más elevados: Estos resultados permiten inferir que la modificación con irradiación microondas causó un efecto sobre el almidón, afectando la estructura interna del gránulo, permitiendo la formación de nuevos enlaces intra-granulares y reorganización de las molécula. Para todos los almidones evaluados el aumento del poder de hinchamiento produjo a partir de 65 °C, después de lo cual el incremento es paulatino a medida que aumenta la temperatura con su máximo valor para todas las muestras evaluadas en 95°C.

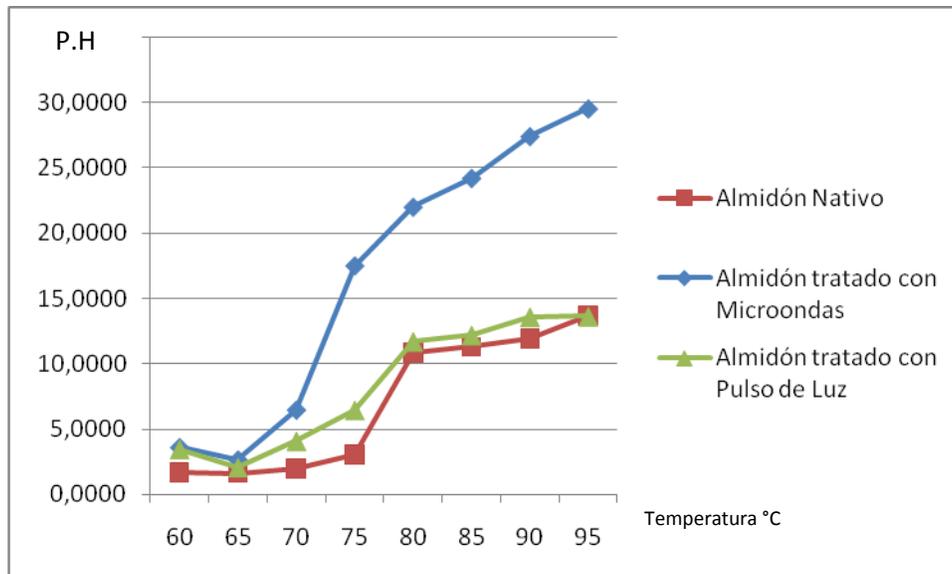


Figura 27. Poder de hinchamiento contra temperatura (°C), del almidón de ocumo criollo modificado en contraste con el almidón nativo.

Trabajando con almidones de batata, Semprún, (1999) encontró que la absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento aumentaron a medida que incrementaba la temperatura, observando que el almidón irradiado con microondas presentó mayores valores que el almidón nativo ($p \leq 0,05$). Este incremento se observó para cada uno de los parámetros anteriormente mencionados hasta una temperatura de 75°C, a partir de la cual no encontró una tendencia definida. Pérez, (2001) y Laurentín (1999) observaron un comportamiento contrario en los almidones de ocumo criollo evaluados. Estos autores, notaron que los valores para el almidón modificado resultaron inferiores a los del almidón nativo, para cada uno de los parámetros anteriormente mencionados. González, (1999) reporto igualmente una disminución en almidón de ñame modificado por microondas para cada uno de los parámetro con diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$).

6. Conclusiones

1. Los análisis de las características morfo- anatómicas, físicas y de rendimiento del almidón de ocumo criollo (necesarios para determinar los procesos industriales), mostraron tubérculos poco homogéneos y con un rendimiento relativamente alto en cuanto al almidón obtenido.
2. El análisis de la composición proximal del almidón nativo, demostró que se extrajo un almidón con alta pureza (99,09%). Lo que revela que el proceso de extracción se realizó de la forma adecuada eliminando al máximo los componentes no amiláceos presentes. Esto también es evidente en los valores obtenidos para proteínas crudas, grasa cruda, cenizas y fósforo. Todos los valores reportados fueron confirmados por las referencias bibliográficas.
3. En los análisis físico y fisicoquímicos para el almidón nativo del ocumo criollo se observó un almidón con un valor de pH cercano a la neutralidad; de color blanco (L^* de 97,2) y con ligera tendencia a matices rojo y amarillo ($+a^*$ y $+b^*$), cuya consistencia de gel (comportamiento de un fluido pseudo-plástico, no newtoniano) y densidad son muy similares a otros almidones.
4. Todas las propiedades reológicas evaluadas para el almidón nativo de ocumo criollo presentaron comportamientos similares a almidones de otras fuentes.
5. La modificación del almidón de ocumo criollo, afectó significativamente algunos parámetros en la composición proximal, parámetros físicos y fisicoquímicos del almidón, mientras que otros se encontraron sin diferencia significativas ($p \leq 0,05$), teniéndose

mayores contrastes para el almidón modificado por irradiación microonda y solo ligeros cambios para el almidón tratado con pulso de luz UV.

6. El tamaño promedio del almidón nativo se encontró entre 6 a 16 μm ; la modificación por pulso de luz UV no afectó significativamente la forma y tamaño de los gránulos, por lo que tienen características similares a las que exhibe el almidón nativo, mientras que el almidón modificado por irradiación microondas aumentó el tamaño de los gránulos variando entre 6 a 33 μm .

7. En el análisis amilográfico se observó valores bajos en cuanto a fragilidad, consistencia y retrogradación, observándose diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), existiendo las mayores diferencias entre el almidón modificado por irradiación microonda, y comportamientos similares para el almidón nativo y el modificado por pulso de luz UV, pero todos los valores obtenidos son similares a los encontrados en la bibliografía.

8. Los índices de absorción de agua, poder de hinchamiento y porcentaje de sólidos solubles para el almidón nativo y los almidones modificados mostraron una tendencia a aumentar a medida que se incrementó el nivel de temperatura; se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para el almidón irradiado con microonda cuyos valores son superiores a los obtenidos para el almidón nativo y el modificado por pulso de luz UV, lo cual es consecuencia de cambios efectuados en la estructura granular de almidón por efecto de la irradiación.

9. Los resultados obtenidos sugiere el uso de PL para descontaminar alimentos que tenga almidón entre sus componentes conociendo que este almidón no sufrirá modificaciones considerables en su estructura que afecte sus características. En cuanto al almidón irradiado con microonda se sugiere su uso a nivel industrial conociendo que confiere al almidón nativo otras propiedades de interés favorables en la elaboración de productos.

7. Recomendaciones

1. No se observó un efecto modificante aplicando la tecnología de pulso de luz UV, porque el número de irradiaciones aplicadas es muy bajo para efectuar una modificación pero es la máxima permitida por la FDA, por lo que no se sugiere para modificar almidón, pero sí para aplicarlo como agente descontaminante sobre alimentos que contengan almidón como ingrediente, sabiendo que no tendrá un efecto modificante en el producto por parte del almidón.
2. Se sugiere realizar pruebas con pulso de luz en soluciones de almidón en exceso de agua.

8. Bibliografías.

- AACC (American Association of Cereal Chemists) (2003). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. Novena Edition. St. Paul: Methods N^os 44-19; 08-17; 46-13 y 22-10.
- Agoola S, Akingbala J, Oguntimein G. (1991). Physicochemical and functional properties of low DS cassava starch acetates and citrates. *Starch/Stärke* 43: 62-66.
- Álvarez, Ignacio (2002). Inactivación microbiana por pulsos eléctricos de alto voltaje. Zaragoza España: Revista de la Facultad de Veterinaria Universidad de Zaragoza 23: 1-6.
- Amani N, Kamenan A, RollandSabaté A, Colonna P. (2005). Stability of yam starch gels during processing. *Journal Biotechnology*. 4: 94-101.
- Anónimo (1995). Cocinero subestimado: recalentador de oficio. *El Nacional* publicado el 3 de agosto, E8.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (2000). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Artés, F., & Allende, A. (2005). Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf-life of minimally processed leafy vegetables. *European Journal of Horticultural Science*, 70: 231-245.

- Asoaka M., Okuno K., Sugimoto Y., Yano M., T. Omura and H. Fuwa, (1986). Characterization of endosperm starch from high-amylose mutants of rice (*Oryza saliva L.*). *Starch/Starke* 38:114-117.
- Badui S. (1981). *Química de los alimentos*. 1° Ed. Editorial Alhambra Mexicana, S. A. p.429.
- Barbosa-Cánovas, G.V., Góngora-Nieto, M.M., Y Swanson, B.G. (1998). Nonthermal electrical methods in food preservation. *Food Science and Technology*. 4:363-370.
- Bello-Pérez, L. A, Colanna, P.; Roger, P.; Paredes-López, O. (1998). Structural properties of starches disolver by microwave heating. *Starch/starke*, 50: 137-141.
- Bello-Pérez, L. A. (1995) *Amilopectina: caracterización molecular y funcional*. tesis doctorado. Cinvestav-IPN. Irapuato, México.
- Bello-Pérez, L.A, Mendez-Montealvo, G y Solorza-Feria, J. (2002). Estructura molecular de los almidones. *Memorias de investigación 1998.CeProBi-IPN*, México.
- Bertolini, A. C., Mestres, C., Colonna, P., & Lerner, D. (1998). Comprehensive studies of molecular changes occurring in sour cassava starch. In P. Colonna, & S. Guilbert (Eds.), *Biopolymer Science, Food and non Food Applications* (pp. 27–91).

- Bertolini, A. C., Mestres, C., Lourdin, D., Della Valle, G., & Colonna, P. (2001). Relationship between thermomechanical properties and baking expansion of sour cassava starch (polvilho azedo). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 429–435.
- Brow, J. E. (1995). *Nutrition now*. West Pub Co. University of Minnesota, St. Paul, MN, USA (pp. A-30, A-40, Table A1-99).
- Bows, J.; Patrick, M.; Jane, R.; Mataxa, A.; Dibben, D. (1999). Microwave phase control heating. *International Journal of Food Science and Technology*, 34: 295-304.
- Brian, S.; Zallie, J., (1999) Role and function of starches in microwaveable food formulation. *Food Australia*, 42: 1-2.
- Buffer, Ch. (1992). *Microwave cooking and processing: Engineering fundamentals for the food scientist*. Avi.Book. Van Nostrand, Reinhold Pub. New York (pp 15-17; 128-133).
- Cagampang, G.B., Perez, C.M. and Juliano, B.O. 1973. A gel Consistency for easting quality of rice. *Journal of Science and Food. Agriculture* .24: 1589-1594
- Caraballo D. (2011). Modificación del almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) por metilación para aplicaciones en alimentos y biomedicina. Trabajo Especial de

Grado. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

- Carcea, M.; Cubadda, R.; Acquistucci, R. (1992). Physicochemical and rheological characterization of sorghum starch. *Journal Food Science and Technology*. 37: 349-868.
- Cardenas, O. S., & de Buckle, T. S. (1980). Sour cassava starch production: A preliminary study. *Journal of Food Science*, 45: 1509–1528.
- Chin-Lin, H.; C. Wenlung; W. Yih-Ming; T. Chin-Yin. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chemistry*. 83: 85-92.
- Clemente, G. (2005). Modificación del almidón de arroz (*Oryza sativa*) pirodextrinización, entrecruzamiento e irradiación en microondas. Trabajo presentado para optar al Título de Magister Scientiarum en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos de la Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela.
- CFR (Code of federal registrations) (1995). Food additive permitted in food human consumption. U.S. Gob. Washington D.C.

- Colonna, P.; Buleon, A.; Mercier, C. (1987). Physical modified starches. In Starch: Properties and potential. Critical report on applied chemistry. Pub. Society of Chemical Industry John Wiley & Sons.13:43-49.
- Colonna, P., Leloup, V., y Buléon, A. (1992). Limiting factors of starch hydrolysis. European Journal of Clinical Nutrition, 46: S17-S32.
- Collins WW. (1993). Root vegetables: New uses for old crops. New York: New Crops (pp 533-537).
- Coultate, T. P. (1987). Alimentos. Química de sus componentes. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza. España.
- Cudemos, E. (2010). Evaluación del efecto de la densidad de población y la fase de crecimiento sobre la letalidad por pulsos de luz en microorganismos asociados a alimentos. Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Davis, E. A., (1987).Microwave baking. Cereal Food World. 32 : 341-346
- Dufour, D., Larronneur, S., Alarcon, F., Braset, C., & Chuzel, G. (1996). Improving the bread-making potential of cassava sour starch. In D. Dufour, G. O'Brien, & R. Best (Eds.), Cassava flour and starch: Progress in research and development, (pp133–142). Available source: <http://www.ciat.cgiar.org>, November 10, 2003.

- Dunn, J. (1996). Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs. *Poultry Science*.75: 1133-1136.
- Dunn, J., Bushnell, A., Ott, T., & Clark, W. (1997). Pulsed white light food processing. *Cereal Food World*, 42: 510 - 515.
- Dunn, J. E., Clark, R. W., Asmus, J. F., Pearlman, J. S., Boyerr, K., Painchaud, F., et al. (1989). Methods for Preservation of Foodstuffs. US Patent 4: 871,559.
- Dunn, J., Clark, R.W., Asmus, J.F., Pearlman, J.S., Boyer, K., Pairchaud, F, Y Hofman, G. (1991). Methods and Apparatus for Preservation of Foodstuffs. U.S. Patent 5: 34, 235.
- Dunn, J., Ott, T., Y Clark, R.W. (1995). Pulsed-light treatment of food packaging. *Food Technology*. 49:95-98.
- Druza A.; Tsame, E.; Saravacos, G. (1999).Microwave vacuum drying model fruits gel. *Journal of Food Engineering*, 39: 117-122.
- Elmnasser, N., Dalgalarrrondo, M., Orage, N., Bakhrouf A., Haertlé, F., Federighi, M., y col., (2008). Effect of pulsed- light treatment of milk proteins and lipids. *Journal Science Food Agricultural Chemistry*. 56: 1984-1991.

- Elmnasser, N., Guilla, S., Leoroj, F., Orage, N., Bakhrouf A., Haertlé, F., Federighi, M. (2007). Pulsed- light treatment system as a novel food de contamination technology: A review. *Journal of Microbiology*. 53: 813 – 821.
- Espinoza, R. 1974. Estudio de las propiedades físicas y químicas del almidón de ocumo chino (*Colocasia esculenta L.*) y su comparación con otros almidones. Trabajo de Grado. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. Caracas (p.131).
- Facciola SA. (1998). Source book of edible plants. USA: Vista C.A (Ed.) Cornucopia II (pp 23-25, 80-100).
- FAO. (1998). Organización de las Naciones Unidas por la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/docrep/x5415e/x5415e00.htm> [Consultado:19-06-2011].
- FDA. (1996). Code of Federal Regulations. 21CFR179.41.
- Fennema, Owen R. (2000). Química de los alimentos. Editorial ACRIBIA, S.A. 2da Edición. Zaragoza- España.
- Fernández, J y Col. (2001).Tecnologías emergentes para la conservación de alimentos sin calor. España: Revista Ciencias y Tecnología de Alimentos. 32: 155-170.

- Fiedorowicz, M., Tomasik, P., Sangguan, Y., & Seung, T. L. (1999). Molecular distribution and pasting properties of UV-irradiated corn starches. *Starch/Stärke*, 51: 126–131.
- Fine, F., & Gervais, P. (2004). Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders. *Journal of Food Protection*, 67: 787- 792.
- French, D. 1984.Organitation of starch granules. IN: *Starch: Chemistry and Technology*. Academic Press, New York. pp: 183-247.
- García-Alonso A, Jimenez-Escrig A, Martín-Carrón N, Bravo L, Saura-Calixto F (1999). Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. *Food Chemistry*, 66:181-187.
- Gardner, D. W. M., & Shama, G. (2000). Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces. *Journal of Food Protection*, 63: 63 - 70.
- Geobel N. K.; Grider, J.; Davis. E. A.; Y Gordon, J. (1984). The effects of microware energy and convection heating on wheat starch granule transformation. *Food Microstructure*. 3: 73-82.
- Giese, J. (1995). Measuring physical properties of foods. *Food Technology*, 49 :54-63.

- Gregorová E., Pabst W., Bohacenko I. (2006). Characterization of different starch types for their application in ceramic processing. *Journal of the Ceramic Society* 26:1301-1309.
- Good, H. (2002). Measurement of color in cereal products. *Cereal Food World*. 47: 5-6.
- Gómez-López, V. M., Devlieghere, F., Bonduelle, V., & Debevere, J. (2005a). Factors affecting the inactivation of microorganisms by intense light pulses. *Journal of Applied Microbiology*, 99: 460 - 470.
- Gómez-López, V. M., Devlieghere, F., Bonduelle, V., & Debevere, J. (2005b). Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life. *International Journal of Food Microbiology*, 103: 79 - 89.
- Gómez-López, V. M., Ragaert P., Debevere J. and Devlieghere F (2007). Pulsed light for food decontamination: a review *Trends in Food Science & Technology* 18: 464 - 473.
- González Z, Pérez E. (2002). Evaluación del almidón de lenteja modificado por irradiación microonda y cocción por extrusión. *Food Research International*, 35:415-420. <http://www.sciencedirect.com> [Consultado 15-06-2011].

- González Z, Pérez E. (2003). Evaluación fisicoquímica y funcional de almidones de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) pregelatinizados y calentados con microondas. Acta Científica Venezolana, 54:127-137.
- Gonzales Ch. (1999). Evaluación de harinas y almidones de ñame (*Dioscorea alata*) modificado por irradiación microondas. Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Harte, B. R.; Gray, J. I., (1987). In Food Product-Package Compatibility. Edited by J. Ian Gray, Bruce Harte and Joseph Miltz. Technomic Publishing Co. Inc U.S.A.
- Heldman, D.; Hartel, R. (1999). Principles of food processing. Chapman and hall food Science Book, Aspen Pub. Inc. Maryland (pp 55-82; 177-128).
- Hillegas, S. L., Demirci, A. (2003). Inactivation of Clostridium sporogenes in clover honey by pulsed UV-light treatment. Agricultural Engineering International, V. Manuscript FP 03 009, (pp65-69).
- Hiramoto, T. (1984). Method of sterilization. US Patent 4: 336 - 464.
- Hizukuri S., (1986). Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. Carbohydrate Research. 147: 342-347.

- Hizukuri S., (1985). Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. Carbohydrate. Research. 141: 295-306.
- Huber K., Be Miller J. (2001). Location of sites of reaction within starch Cereal Chemistry 78: 173-180.
- Hunter Lab. Manual. (2001). Hunter Associates Laboratory Universal software version 3.8 ISO 9001 certified (pp 23-25).
- Hoover R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. Carbohydrate Polymers 6:253-267.
- Hosney, R. (1986). Principles of cereal science and Technology. Published by the American, Association of Cereal Chemistry. Inc. St. Paul. Minnesota.
- Hoover R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. Carbohydrate Polymers 6:253-267.
- INN, Instituto Nacional de Nutrición (2000). Tabla de composición de alimentos para uso práctico. Instituto Nacional de Nutrición, Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, M.S.A.S., Venezuela.

- Jane, J. (2006). Current understanding on starch granule structures. The Japanese Society of Applied Glycoscience. 53:205-213.
- Jane, J.; L. Shen; S. Lim.; T. Kasemsuwan; W.K. Nip. (1992). Physical and chemical studies of taro starches and flours. Cereal Chemistry, 69: 528-535.
- Jayakody L. Hoover R, Liu Q, Weber E. (2005). Studies on tuber and root starches. I. Structure and physicochemical properties of innala (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka. Food Research International 18: 615–629.
- Joslyn, M. (1970). Methods in food analysis. Academic Press 2da Ed. N. Y. USA.
- Juliano, B. O. (1985). Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In: Juliano, b. o. rice chemistry and technology. American Association of Cereal Chemist, inc. 774: 59-160.
- Karim AA, Norziah MH, Seow CC (2000). Methods for the study of starch retrogradation. Food Chemistry, 71:9-36.
- Katz, F.R., Furcsik, S.L., Tenburge, F.L., Hamer, R. J. and Friedman, R.B. (1993). Behaviour of starches derived from varieties of maize containing different genetic mutations- effect of starch genotype on granular morphology. Carbohydrate Polymers, 21: 133-136.

- Kokini, J. L.; Lai, L-S.; Chedid, L. L. (1991). Effect of starch structure on starch rheological properties. *Food Technology*, 46: 124-136.
- Kuakpetoon D., Wang Y., (2007). Internal structure and physicochemical properties of corn starches as revealed by chemical surface gelatinization. *Carbohydrate Research* 342: 2253-2263.
- Lasagabaster A y Martínez de Marañón I. (2006). Inactivation of microorganisms isolated from fishery products by pulsed light. *Seafood research from fish to dish, quality, safety and processing of wild and farmed fish*. Ed. J.B. Luten, C. Jacobsen, K. Bekaert, A. Sæbø, J. Oehlenschlager. Wageningen Academic Publishers, (pp 381-386).
- Laurentín, A. (1999). Caracterización fisicoquímica y digestibilidad invitro de almidones de maíz, ocumo y lenteja, irradiados con microondas y perodextrinizados. Trabajo de acenso de la Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela.
- Lambe T. W.; Whitman L.V. (1997). *Mecánica de suelos*. Editora Limusa. México. ISBN 968- Massachusetts, 18:1894 – 1896.
- Lewandowicz, G.; Fornal. J.; y Walkowski, A. (1997). Effect of microwave radiation on physic-chemical properties and structure of potato and tapioca starches. *Carbohydrate Polymers*, 34: 213-230.

- Light, J. M. (1990). Modified food starches: Why, what, where, and how Cereal Food World 858: 1081-1092.
- Lineback, D.R y Rasper, V.F. (1988). Wheat Carbohydrates, In: Wheat, Chemistry and Technology, Pomeranz Y. (Ed), St. Paul Minnesota (pp.227-372).
- Lund, D. (1974). Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing coalitions on Starch gelatinization. Food Science and Nutrition. 20: 249.
- MacAllister RV. (1979). Nutritive sweeteners made from starch. In: S. Tipson and D. Horton, Editors, Advances in Carbohydrate chemistry and Biochemistry Academic Press, New York, 36: 15.
- Malvern, (2009). Particle size Analyzer Mastersize. Disponible en: <http://www.malvern.com> [Consultado 22-06-2011].
- Marquenie, D., Geeraerd, A. H., Lammertyn, J., Soontjens, C., VanImpe, J. F., Michiels, C. W., et al. (2003). Combinations of pulsed white light and UV-C or mild heat treatment to inactivate conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilia fructigena*. International Journal of Food Microbiology, 85: 185 - 196.
- Matsumoto A., Tsubaki S., Sakamoto M., Azuma y Jun-ichi. (2011). A novel method of microwave irradiation starch saccharification with added activated carbon. Division of Environmental Science and Technology, School of Agriculture, Kyoto

University, Kitashirakawa Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan
<http://www.sciencedirect.com> [Consultado 15-06-2011].

- McDonald, K. F., Curry, R. D., Clevenger, T. E., Unklesbay, K., Eisenstark, A., Golden, J., et al. (2000). A comparison of pulsed and continuous ultraviolet light sources for the decontamination of surfaces. *IEEE Transactions on Plasma Science*, (pp 1581–1587).
- McDonald, K. F., Curry, R. D., & Hancock, P. J. (2002). Comparison of pulsed and CW ultraviolet light sources to inactivate bacterial spores on surfaces. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 30: 1986 - 1989.
- Mestre C. (1996). Los estados físicos del almidón. Conferencia Internacional del almidón. En *Memorias de Conferencias Internacional. Almidón Propiedades Físicos-Químicos funcionales y nutricionales Usos*. Quito – Ecuador.
- Mestres, E., & Rouau, X. (1997). Influence of natural fermentation and drying conditions on the physiochemical characteristics of cassava starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74: 147–155.
- Meyer, K. H., Brentano, W., and Bernfeld, P. (1940). Reserches sur amidon. II. Sur la nonhomogeneite de amidon. *Helvetica Chimica Acta*. 23: 845-853. En: Stevenson, D.G. Role of starc structure in texture of Winter squash (*Cucurbita máxima D.*) fruit and starch functional properties. PH. D. Dissertation. Iowa State Univerdity. Ames.Iowa. U.S.A.

- Mirriott, N. (1999). Principle of food sanitation .AN Aspen publication. Four Editions. Gaithersburg, USA.
- Molina, Y. (2007). Aprovechamiento integral del ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*) para el desarrollo de productos para consumo humano y animal con valor agregado. Tesis de grado, UCV., I.C.T.A, Caracas, Venezuela.
- Montaldo A, Montilla JJ, Perdomo D, Luciani JF, Mantilla JE. (1992) Investigación y mejora de los cultivos de raíces y tubérculos en Venezuela. Venezuela: Revista de la Facultad de Agronomía 18: 1-19.
- Monte- Neshich, D.C.; T.L. Rocha; R.L. Guimaraes; E.F. Santana; M.E. Loureiro; M. Valle; M.F. Grossi de Sá. (1995). Characterization and spatial localization of the major globulin families of taro (*Colocasia esculenta L. Schott*) tuber. Plant Science. 112: 149-159.
- Moore D., Sanei A., Van Hecke E., Bouvier J.M. (1989).Effect of Ingredients on Physical/Structural Properties of Extrudates. Journal of Food Science. 55: 1383-1387.
- Nee, T. S. (1996). Basic principles in photomedicine. In Manual for Workshop in Photodermatology (pp. 1–4). The 12th Regional Conference of Dermatology May 11. Pattaya, Thailand.

- Niba, I., Makanga, M., Jackson, E. L.; Schilme, D. S. and Li, B. W. (2001). Physicochemical properties and starch granular characteristics of flour from various *Manihot esculenta* (Cassava) genotypes Food Chemistry and Toxicology. 67: 1701-1705.
- Njintang, Y.N.; C.M.F. Mbofung. (2003). Development of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flour as an ingredient for food processing: effect of gelatinization and drying temperature on the dehydration kinetics and colour of flour. Journal Food Engineering 58: 259-265.
- Oke OL. (1990). Roots, tubers, plantains and bananas in human nutrition. FAO. Food and Nutrition Series, No. 24. Ed(s). J. Redhead, M.A. Hussain. FAO. Organización de las Naciones Unidas por la Agricultura y la Alimentación Roma, Italy Pág. 1. Accesado, Marzo 2007.
- Ozer, N. P., & Demirci, A. (2006). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* inoculated on raw salmon fillets by pulsed UV-light treatment. International Journal of Food Science and Technology, 41: 354 - 360.
- Palmier, L., Cacace, D. (2005). Emerging technologies for food processing. Editorial Elsevier. First Edition. California USA.
- Palomino C, Molina Y, Pérez E. (2010). Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott y

Xanthosoma sagittifolium (L.) Schott. Revista de la Facultad de Agronomía, UCV 36: 58-66.

- Palav T. y Seetharaman K. (2006). Impact of microwave heating on the physicochemical properties of starch-water system model. Food Hydrocolloids, 14: 27-34. <http://www.sciencedirect.com> [Consultado 15-06-2011].
- Palav T. y Seetharaman K. (2007). Mechanism of starch gelatinization and polymer leaching during microwave heating. Food Hydrocolloids, 24: 15-23. <http://www.sciencedirect.com> [Consultado 15-06-2011].
- Pereira, D. A. (2004). Caracterización de almidones provenientes de diferentes variedades de arroz. Trabajo Presentado para optar al Título de Magister Scientiarum en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias. Caracas- Venezuela.
- Pérez, E. (2001) Modificación de las propiedades funcionales de harina y almidón extraído de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*, ocumo chino (*colocasia esculenta*) y batata (*ipomea batata*) para su aprovechamiento en la formulación de alimentos horneados. Tesis doctoral, UCV., I.C.T.A, Caracas, Venezuela.
- Pérez E. (2007). De Tales Panes, Tales Harinas. Edición literaria por: León A y Rosell C, 1er edición. Córdoba (pp 363-402).

- Pérez E, Breene W, Bahanasey Y. (1998). Gelatinization profiles of peruvian carrot, cocoyam and potato starches a measured with Brabender Viscoamylograph, Rapid Viscoanalyzer and Differential Scanning Calorimeter. *Starch/Stärke*, 50:14-16.
- Pérez E, Pacheco de Delahaye E. (2005). Capítulo 20. Almidones modificados de raíces y tubérculos tropicales. En: *Carbohidratos en Alimentos Regionales Iberoamericanos*. Ed. Cytel Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Ed. Franco M. Lajolo; Elizabeth Wenzel de Menezes (pp 467-518).
- Pérez E., Schultz F., Pacheco E. (2005). Characterization of some properties of starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta*". *Carbohydrate Polymers* 60:139-145.
- Pérez y González (2010). Asignatura: Manual de Laboratorio, ciencia y tecnología de almidón. Instituto ciencia y tecnología de alimentos, facultad de ciencias Universidad Central de Venezuela (pp. 1- 63).
- Pérez, E. Gutiérrez, E. Pacheco De Delahaye, Tovar J., and Lares M. (2007). Production and Characterization of *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* Flours. *Journal of Food Science* 72: 367-372.
- Plata-Oviedo, M., & Camargo, C. (1998). Effect of acid treatments and drying processes on physico-chemical and functional properties of cassava starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77: 103–108.

- Rashid, M., y Daunicht, H. (1979). Chemical composition of nine edible aroid cultivars of Bangladesh. *Scientia Horticulturae*, 10: 1217–1234.
- Requena, I. (2003). Efecto del grado de acetilación sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas del almidón de arroz (*Oryza sativa* C.). Tesis de Pregrado del Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos de la Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela.
- Rincón A.M. (2000) Estudio del “Guapo” (*Myrosma cannifolia*) y del “Pan de Árbol” (*Artocarpus altilis*), cultivos no convencionales con posible potencial agroalimenticio e industrial. Trabajo de Ascenso. Facultad de Farmacia. Universidad Central de Venezuela.
- Roberts, P., & Hope, A. (2003). Virus inactivation by high intensity broad spectrum pulsed light. *Journal of Virological Methods*, 110: 61 - 65.
- Robin J.P., Mercier, C., Charbonniere, R and Guilbot, A. (1974). Lintnerized starches. Gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal Chemistry*. 51:389-406.
- Rocioli, C. (1983). Caracterización físico- química de los almidones de yuca y ocumo criollo modificados mediante tratamientos físicos y químicos. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.

- Rodríguez, M. (2011). Elaboración de un producto tipo colado a partir de harina y almidones de *Arracacia xanthorrhiza bancrofti*. Trabajo Especial de Grado Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Rogol, S. (1986). Starch modifications: A view into the future. *Cereal Food World*, 31: 869-874.
- Rowan, N. J., MacGregor, S. J., Anderson, J. G., Fouracre, R. A., McIlvaney, L., & Farish, O. (1999). Pulsed-light inactivation of food-related microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 65: 1312 - 1315.
- Schmitz C.; De Simas K.; Santos K.; João, J., De Mello R.; Amante, E. (2006). Cassava starch functional properties by etherification-hydroxypropylation. *Int. Journal Food Science*, 41: 681-687.
- Schoch, T. J. (1942). Fractionation of starch by selective precipitation with butanol. *Journal of the American Chemical Society*. 64: 2957-2961.
- Schoch, T. J. (1964). Starch fractions: Iodimetric determination of amylose potentiometric titration: standard method. paginas In Whistler, R.L. (Ed). *Methods in Carbohydrate Chemistry, Starch*. Academic Press. London.4: 157-160.

- Schweizer, T. F. Y Reimann, S. (1986). Influence of drum – drying and twin-screw extrusion cooking on wheat carbohydrates: I. A Comparisons between wheat starch and flours of different extraction. *Journal of Cereal Science*, 4: 193-203.
- Sefa-Dedeh, S.; E.K. Agyir-Sackey. (2002). Chemical composition and the effect of processing on axalate conten of cocoyam *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* cormels. *Food Chemistry*. 85: 479-484.
- Semprún, R. (1999). Evaluación de harina de batata (*Ipomea batata L*) modificado por irradiación microondas. Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Sharma, R. R., Demirci, A. (2003). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling. *Journal of Food Science*, 68:1448 -1453.
- Shukla, T.P. (1995). Microware technology in cereal foods processing. *Cereal Food World*, 40: 24-25.
- Silva S., (2000). Digestibilidad in vitro del almidón de plátano y amaranto: efecto de la pregelatinización, extrusión y la irradiación microondas. Trabajo Especial de Grado. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

- Singh J.; Sing N., T.R.; Sexena S. R., (2003). Physicochemical, rheological and cookie making properties of corn and potato flours, *Food Chemistry* 83: 387-393.
- Sívoli, L. (1995). Modificación química de almidón de maíz y papa. I. Cross-linking y acetilación. Trabajo de Grado Facultad de Ciencias Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos. U.C.V.
- Sívoli, L; Pérez E.; Rodríguez P.; De Abrisqueta A.; Raymúndez, MB. (2005). Cambios en la estructura granular durante el proceso de modificación química (fosfatado - acetilado) del almidón de yuca analizados por microscopía óptica y electrónica. *Acta Microscópica*, Vol. 14, Nos. 1 y 2, pp.6-9
- Smith, R. (1967). Characterization and analysis of starches. En *Starch: Chemistry and Technology*. (R. L. Whistler y E. F. Paschall, Ed.) New York: Academia Press. 2: 569-635.
- Srichwong, S., and Jane, J. (2007). Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. *Food Science and Biotechnology*. 16: 234-332.
- Sriroth, K., Piyachomkwan, K., Wanlapatit, S., & Oastes, C. G. (2000). Cassava starch technology: The Thai experience. *Starch/Stärke*, 52:439–449.
- Stich, R. V. (2001). Carbohydrates. The sweet molecules of life. In: R. V. Stick. (Ed.), *Australia*, (pp. 217-218).

- Swinkels, J.J. (1985). Industrial starch chemistry. Vol. I Chap. 8. In: Handbook of food additives. 2da ed. E.E. furia, ed. CRC Press. Boca Ratón. (s.f).
- Szepes A., Hasznos-Nezdei M., Kovács J., Funke Z. C., Ulrich J., y Szabó-Révész P., (2006). Microwave processing of natural biopolymers studies the properties of different starches. Carbohydrate Polymers 65: 364-370.
- Thames, S. (1992). How crops can provide raw materials for the chemical industry. En: New Crops, new uses, and new markets. Yearbook of Agricultural Industrial and Commercial Products. Office of publishing and visual communications U.S. Department of Agriculture.
- Thester, R.F., and Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylase and lipids. Cereal Chemistry. 67:551-557.
- Thomas, D y Atwell, W (1999). Starches. Practical guide for the food industry. Eagan press handbook series (pp.25-80).
- Tovar J., Herrera, E., Laurentín, A., Melito, C., Pérez, E. (1999). Invitro digestibility of modified starches. En S. G. Pandalai (Ed.9, Recent Research Developments in Agricultural and Food Chemistry. Trivan drum (India): Research Sign-Post.

- Vatanasucharta N., Naivikulb O., Charoenreinb S., Srirothb K. (2005).Molecular properties of cassava starch modified with different UV irradiations to enhance baking expansion. *Carbohydrate Polymers* 61: 80–87.
- Wang, L., & Wang, Y. T. (2001). Structures and physico-chemical properties of acid-thinned corn, potato and rice starches. *Starch/Starke*, 53: 570–576.
- Wankede, D. and Umadevi, S. (1981) .Isolation and physicochemical properties of starch extracted from yam elephant (*Amorphophallus campulatus*). *Starch/Starke* 33: 153-157.
- Whistler, R. L., (1964). Swelling Power. En: .Methods in Carbohydrate Chemistry. Vol. II, Ed Academic Press. New York, USA.
- Whistler, R. L., & BeMiller, J. N. (1997). Starch. In: Carbohydrate chemistry for food scientists. Saint Paul, MN, USA: Eagan Press.
- Whistler R. y Paschall E. (1967). .Starch Chemistry and Technology. Academic Piers. New York and London. Vol. II.
- Wekhof, A. (2000). Disinfection with flash lamps. *Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 54: 264-276.
- World Health Organization (1994). Ultraviolet radiation: Environmental health criteria 160. Geneva, Switzerland.

- Wurzburg, O.B. (1986) Converted starches. En O.B. Wurzburg (Ed.), modified starches: properties and uses. Boca Ratón (USA): CRC Press, pp.1-16.
- Wurzburg, O B.; Szymansk, C.D. (1970). Modified starches for the food industry. J. Agricultural Food Chemistry. 18: 997-1001.
- Yeh, A. y Li, J. (1996) A continuous measurement of swelling of rice starch during eating. Journal Cereal Science, 23:2 77-283.
- Zobel, H.F. (1988). Molecules to granule: a comprehensive starch review. Starch/Starke.40: 44-50.
- Zhuo M, Robards K, Glennie-Holmes M,Helliwell S. (1998). Structure and pasting properties of oat starch. Cereal Chemistry, 75: 273–81.
- Zugrif, L., (1997). A mylose and amylopectin image.
<http://www.langara.bc.ca/biology/mario/Assets/Amylose>