



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA

Elaboración de un producto tipo colado a partir de
almidones modificados y harinas de *Arracacia*
xanthorrhiza Bancroft

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. RODRÍGUEZ GONZÁLEZ
MILAGROS DELVALLE, como requisito
Para optar al Título
Licenciada en Biología

TUTOR (a): Dra. Elevina Pérez

CARACAS, VENEZUELA

Mayo 2011

DEDICATORIA

Con todo mi esfuerzo, dedicación y esmero puedo decirle a mi familia que lo logré. En especial dedico este logro a *Díos*, porque siempre estuviste conmigo, nunca dejaste que decayera ante cualquier situación, gracias por siempre estar aquí.

A mí mamá, que siempre confiaste en mí, que me cubriste con tu amor y tu apoyo e hiciste que ésta meta se cumpliera con toda tu ayuda y esfuerzo, y trabajando duro para ello, por eso mi eterno agradecimiento a Dios por darme una madre como tú. *A mí papa*, que aunque no te hiciste muy presente, siempre me diste buenos consejos cuando era niña para lograr alcanzar ésta meta y te lo agradezco de todo corazón.

A mis hermanos, que con mucho o poco siempre estuvieron aquí conmigo, ustedes también forman parte de este logro, en especial tú *Ysbelí*, que a pesar de todo nunca dejaste de ayudarnos, eres una gran hermana y te quiero muchísimo.

Lo que realmente se desea con el corazón puede cumplirse siempre y cuando demos lo mejor de nosotros con humildad y esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

Antes que a alguien de los presentes, quiero darte gracias, muchísimas gracias “Diosito” por permitirme estar aquí, en este momento tan importante en mi vida, por permitirme alcanzar esta meta tan preciada, por todas las personas que me has permitido conocer y con ellas crecer como persona, como estudiante; gracias por formar parte de mi vida y por todo lo que me has dado hasta ahora y por todo lo que vendrá. Mil gracias Señor y sé que sin ti, no hay nada.

Quiero agradecerte mami por haberme apoyado siempre, por haber confiado en mí y en que si podía lograr alcanzar esta meta, porque siempre estuviste aquí para abrazarme y decirme palabras de fortaleza para no decaer. Gracias mami. A mis hermanos Deivis, Delvalle y Enrique, por su apoyo y su presencia siempre, y en especial a ti Ysbeli porque nunca dejaste de ayudarnos a pesar de pasar a veces por situaciones difíciles, muchas gracias hermanos, los amo mucho. Este logro también es de ustedes.

También quiero agradecer a grandes personitas que me han acompañado en este largo camino, a mis grandes amigos: Ximena, Arleth, Grace, Mónica, Ricardo y a ti pechocho (David). Como no tenerlos presentes, si nos estrasnochábamos para los exámenes de bioquímica, genética (a veces) o los informes de ecología. Desde entonces he esperado este momento en público para decirles que fué muy divertido el haber compartido grandes momentos y grandes recuerdos, y por haberme permitido ser alguien especial para ustedes como lo son para mí, aunque estas palabras realmente se quedan cortas, con lo que quiero decir, pero los quiero muchísimo chicos, así

como también a Yuli, Nino, Franklin, Jhonalbert, Gabriel, José Antonio y Misleidi, porque por su puesto no puedo olvidarme de ustedes jeje.

Con el tiempo, conocí a otras personas que también me han ayudado y han compartido conmigo en esta parte de mi carrera, entre ellos: a Zuro, Ale (Alexandra), Any, Marquitos, Alexis, Roraima, María Isabel, leo, entre muchos otros; en especial a Oriana (Ori) por confiar en mí dar una mano amiga y a ti Dani (Daniela) que sin importar que, me ayuste muchísimo, fuiste un gran apoyo cuando algo no salía bien y no solo me aconsejabas sino que me ayudabas, te has convertido en una gran amiga, gracias dani. De igual manera quiero agradecer el apoyo incondicional del Sr. José Gregorio, q desde que lo conocemos no hace más que apoyarnos y ayudarnos, y a José David, porque sin “Vanesita” de verdad se hubiese hecho súper difícil escribir.

Gracias Berny, Anita, Romel, Mighay, por toda su ayuda y colaboración, aprendí mucho con ustedes; y a la prof. Maribe por las lindas microfotografías tomadas.

Entre todos quiero agradecerle muy especialmente a mi tutora, la Dra. Elevina Pérez. Gracias profe por haberme aceptado como su tesista, por ser una excelente guía en este trabajo y no conforme con eso por abrir un pequeño espacio para nosotros sus estudiantes en su casa, porque prácticamente casi nadie lo hace; por ser sinónimo de humildad, admiración y ejemplo a seguir. También a su esposo, el Sr. César, por su cariño y sus inolvidables concejos y por llamarme con mucho cariño “milagritos”.

A todos muchísimas gracias por formar parte importante de mi vida. Los quiero mucho.

I. ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	Página
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
I. ÍNDICE DE CONTENIDO	v
II. ÍNDICE DE TABLAS	x
III. ÍNDICE DE FIGURAS	xii
IV. RESUMEN	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	4
2.1 Composición química del apio criollo (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> B.)	6
2.2 Generalidades sobre almidones nativos y modificados	8
2.3 Modificación física de los almidones	10
2.4 Tecnología de los pulsos de luz y su aplicación en alimentos	12
2.5 Preparación de colados	15
2.6 Generalidades sobre fenilcetonuria y glicomacropéptido	18
3. OBJETIVOS	20
3.1 Objetivo General	20
3.2 Objetivos Específicos	20
4. MATERIALES Y MÉTODOS	22
4.1 Materia Prima	22
4.2 Caracterización de los atributos físicos y determinación del contenido de humedad de la pulpa comestible del apio	22
4.3 Extracción del almidón de apio y determinación de sus parámetros	23
4.3.1 Extracción del almidón	23

4.3.2	Determinación de la composición proximal del almidón nativo	25
4.3.3	Determinación de los parámetros físicos y fisicoquímicos del almidón nativo	25
4.3.4	Morfología del almidón nativo	27
4.3.4.1	Morfometría medida con microscopía óptica (Luz Polarizada)	27
4.3.4.2	Morfometría por Rayos Láser (Granulómetro Malvern)	27
4.3.5	Determinación de los parámetros funcionales del almidón nativo	28
4.3.5.1	Determinación de la viscosidad Brabender del almidón nativo	28
4.3.5.2	Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón nativo	28
4.4	Tratamiento del almidón de apio (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft) con Pulsos de Luz U.V	29
4.4.1	Aplicación de Pulsos de Luz UV	29
4.4.1.1	Determinación de los parámetros de calidad de los almidones tratados con pulsos de luz U.V	30
4.5	Elaboración de harina de apio y determinación de sus parámetros	31
4.5.1	Elaboración de la harina de apio. Cálculo del rendimiento (%R) y eficiencia del proceso (E.F)	31
4.5.2	Determinación de la composición proximal de la harina de apio criollo	33
4.5.3	Determinación de los parámetros Físicos y fisicoquímicos de la harina de apio criollo	33
4.5.4	Morfometría de la harina de apio criollo	34
4.5.4.1	microscopía de Luz Polarizada	34
4.5.5	Determinación de los parámetros funcionales de la harina de apio criollo	35
4.5.5.1	Determinación de la viscosidad Brabender de la harina de apio	35
4.5.5.2	Determinación del índice de Absorción de agua y el índice de	

sólidos solubles de la harina	35
4.6 Elaboración de un colado infantil y determinación de los parámetros de calidad	36
4.6.1 Elaboración de la harina de apio. Cálculo del rendimiento (%R) y eficiencia del proceso (E.F)	36
4.6.2 Determinación de la composición proximal del colado	37
4.6.3 Determinación de los parámetros físicos, fisicoquímicos y evaluación sensorial del colado	38
5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	39
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
6.1 Caracterización de la materia prima	40
6.2 Extracción del almidón nativo de apio criollo (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft) y determinación de sus parámetros	42
6.2.1 Composición proximal y pureza del almidón nativo	43
6.2.2 Parámetros físicos y químicos determinados del almidón nativo de apio	46
6.2.3 Microscopía de luz polarizada y tamaño de partícula (Rayos Láser)	50
6.2.4 Determinación de las propiedades funcionales del almidón nativo	53
6.2.4.1 Perfil Amilográfico RVA (Rápido Viscosímetro)	53
6.2.4.2 Contenido de amilosa y gelatinización	56
6.2.4.3 Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón nativo de apio criollo	59
6.3 Almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2)	63
6.3.1 Composición proximal de los almidones de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2)	63
6.3.2 Parámetros físicos y químicos de los almidones de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V	67

6.3.3 Características morfológicas de los almidones de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2)	70
6.3.3.1 Microscopía de luz polarizada	70
6.3.4 Propiedades funcionales de los almidones con pulsos de luz U.V	72
6.3.4.1 Perfil amilográfico de los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2) por RVA	72
6.3.4.2 Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2)	75
6.4 Elaboración de harina de apio criollo y determinación de sus parámetros	80
6.4.1 Elaboración de la harina de apio	80
6.4.2 Composición proximal y química de la harina de apio criollo	81
6.4.3 Parámetros físicos y fisicoquímicos de la harina de apio criollo	86
6.4.4 Morfología de la harina de apio criollo	88
6.4.4.1 Microscopía de luz polarizada	88
6.4.5 Propiedades funcionales de la harina	89
6.4.5.1 Perfil amilográfico de la harina de apio criollo	89
6.4.5.2 Índice de absorción de agua (IAA) e Índice de sólidos solubles (ISS) en la harina de apio criollo	91
6.5 Elaboración de los colados a partir de <i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft y determinación de sus parámetros	91
6.5.1 Formulación y elaboración de los colados	91
6.5.2 Parámetros de calidad de los colados	95
6.5.2.1 Composición química de los colados	95
6.5.2.2 Características físicas y fisicoquímicas de los colados	97
6.5.2.3 Evaluación del Test de esterilidad	99

6.5.2.4 Evaluación sensorial de los colados	100
7. CONCLUSIONES	103
8. RECOMENDACIONES	105
9. BIBLIOGRAFÍA	106

II. ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°	Página
1. Rendimiento de obtención de pulpa de <i>Arracacia xanthorrhiza</i> B	41
2. Rendimiento de cáscara obtenido en el procesamiento de <i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft	41
3. Rendimiento de obtención de almidón nativo de apio criollo a partir de 55g aproximadamente de pulpa	43
4. Análisis proximal y pureza del almidón nativo de apio	44
5. Características físicas y químicas del almidón nativo de apio criollo	47
6. Parámetros para describir el color del almidón nativo de apio criollo	49
7. Perfil Amilográfico del almidón nativo de apio	54
8. Perfiles de gelatinización y contenido de amilosa por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	58
9. Análisis proximal y pureza de los almidones tratados con pulsos de luz U.V	64
10. Análisis físicos y químicos de los almidones de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V (PL-1 y PL-2)	68
11. Parámetros que describen el color de los almidones de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V (PL-1 y PL-2)	70
12. Perfil amilográfico de los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2)	75
13. Rendimiento y eficiencia obtenida al transformar las raíces de apio criollo (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft) en harina	81
14. Análisis proximal de la harina de apio criollo (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft)	84
15. Análisis físico y químico de la harina de apio criollo	86

16. Parámetros que determinan el color en la harina de apio criollo	87
17. Perfil amilográfico de la harina de apio criollo	90
18. Índice de Absorción de Agua e Índice de Sólidos Solubles	91
19. Formulaciones probadas en la elaboración de los colados con y sin adición de almidón y sal	93
20. Formulaciones realizadas para la elaboración de los colados con la adición de pulpa de apio cocida	95
21. Composición química de los colados elaborados	95
22. Análisis fisicoquímicos realizados a los colados elaborados	97
23. Parámetros que describen al color en el colado de <i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft	99
24. Test de esterilidad evaluado en los colados de apio criollo (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft) elaborados	100
25. Evaluación Sensorial de los colados elaborados	101

III. ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	Página
1. Raíz de apio (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)	4
2. Planta de apio	4
3. Microfotografía por SEM de los gránulos de almidón de apio. Fuente: Pérez y col. (1999)	9
4. Esquemas de extracción de almidones de <i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft (Lote 1 y Lote 2)	24
5. Esquema de tratamiento de pulsos de luz U.V a los almidones nativos provenientes del Lote 1 y Lote 2	30
6. Esquema de elaboración de harina a partir de <i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft	32
7. Esquema de elaboración de los colados de <i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft	37
8. Almidón nativo de apio criollo con Microscopía óptica de luz polarizada (Aumento: 300X * 5.2)	51
9. Almidón nativo de apio criollo por Microscopía óptica de luz polarizada (Aumento: 300X)	51
10. Distribución de Tamaños de partículas encontrados en almidón nativo de apio por difracción láser	52
11. Perfil Amilográfico del almidón nativo de apio criollo	55
12. Absorción de Agua (%) contra Temperatura (°C) del almidón nativo de apio criollo	60
13. Poder de Hinchamiento (%) contra Temperatura (°C) del almidón nativo de apio criollo	61
14. Sólidos Solubles (%) contra Temperatura (°C) del almidón nativo de	62

apio criollo

15. Microscopía de luz polarizada a los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) (Aumento: 300X*3.1)	71
16. Microscopía de luz polarizada a los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-2) (Aumento: 300X*3.1)	71
17. Poder de hinchamiento de los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1 y PL-2)	77
18. Absorción de agua obtenida para los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1 y PL-2)	78
19. Solubilidad de los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1y PL-2)	79
20. Microfotografías de la harina de apio criollo (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft) (Aumento: 300* 3,1)	88
21. Perfil Amilográfico de la harina de apio criollo (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft)	90
22. Valores encontrados en la evaluación sensorial de los colados elaborados. (a) Figura en barras y (b) Figura de manera radial	102

IV. RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron: aislar, purificar el almidón y elaborar harinas de la parte comestible de apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) y formular un producto tipo colado a partir de sus harinas y almidones tratados con pulsos de luz U.V. Para ello, se extrajeron almidones y elaboraron harinas según metodologías descritas por Pérez 1994 y 2000. La caracterización de ambas materias primas (almidón y harina) fué realizada por métodos oficiales de AACC (2003) y AOAC (1999) y la caracterización de los parámetros de calidad de los colados se realizó por métodos de AOAC (1999).

Los resultados señalan alto rendimiento y pureza en el almidón extraído. Los almidones tratados con pulsos de luz U.V solo mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) en el color y en los índices de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento al compararse con el almidón nativo. Por su parte, la harina de apio criollo elaborada se caracterizó por mostrar un alto rendimiento y eficiencia en el proceso; así como, un alto contenido en carbohidratos totales y fibra dietética en los análisis realizados.

Los colados elaborados a partir de harinas y almidones requirieron la adición de pulpa de apio para acentuar el sabor de los mismos debido a que la harina pierde ciertos elementos que otorgan sabor y aroma al aplicar el método de deshidratación. Por otra parte, para incrementar las propiedades nutricionales de los colados elaborados, se contó con la adición de glicomacropéptido (GMP) comercial de suero de leche, el cual permitió obtener un incremento en el contenido de proteínas del producto. Además, ésta oligoproteína se caracteriza por presentar niveles muy bajos de fenilalanina, que, al ser adicionado en el producto aumenta sus beneficios pudiendo ser

provechosos para niños que padecen de fenilcetonuria. Por último, la evaluación sensorial aplicada a un panel semi-entrenado, mostró muy buena aceptación en sus parámetros de color, aroma, sabor y consistencia, siendo mayormente aceptados el color, seguido del sabor y consistencia y por último el aroma.

1. INTRODUCCIÓN

En las regiones andinas las raíces y tubérculos son considerados como alimentos de subsistencia por su alto valor nutritivo y excelente fuente energética comparable con la que son proporcionadas por los cereales (Knudsen y col, 2001).

La adición de valor agregado a través de la aplicación de la tecnología para obtener harinas y almidones a partir de rubros no convencionales, no solo ha permitido la reducción de pérdidas post-cosechas de las raíces y tubérculos, sino también obtener materiales amiláceos que puedan ser modificados con características adecuadas para su uso en la industria alimentaria (Cerada, 2002).

Entre las raíces de la zona andina, entre los cultivos de subsistencia, se encuentra el apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). En Venezuela, éste rubro se conoce con varios nombres: *arracacha*, *racacha* o *apio criollo* y normalmente se cultiva en altitudes entre 1700 y 2500 msnm, donde la humedad mínima es de 600 mm, temperatura de 14 a 21°C, suelos de pH entre 5 y 6, con alto contenido de materia orgánica (Briceño, 1990; Real, 1994).

Las raíces de apio constituyen uno de los alimentos nativos más agradables y alimenticios, empleados generalmente en alimentos digeribles para niños y ancianos (Jiménez, 2005), como sopas deshidratadas y en forma de puré. Por ello, actualmente, Venezuela y los países del grupo andino, han estado promoviendo el consumo de éstas y otros tipos de raíces y tubérculos de manera fresca o procesada, por la importancia de sus propiedades

funcionales, sus aportes nutricionales y beneficios a la salud (García y Pacheco, 2008).

Entre otros constituyentes, además de una gran proporción de humedad y fibra, y cantidades más reducidas de proteínas, grasas y cenizas, éstas raíces presentan un alto contenido de almidón (Marcano, 1975).

El almidón es la sustancia de reserva predominante en las plantas, y proporciona entre el 70-80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo, donde, tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del mismo constituyen la mayor parte de la dieta habitual (Fenema, 2000).

El almidón presente en las raíces de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft, según algunos autores (Frere, 1975; Pérez y col, 1999), es un almidón con granulometría muy fina, que presenta diferentes formas, redondas o alargadas, entre otras; de 8 a 10 micras de ancho y tamaños poco variables.

En la industria alimentaria el almidón juega un papel determinante en la textura de varios alimentos, factor importante en la palatabilidad y aceptabilidad. Así mismo es usado para numerosos propósitos; entre los cuales se mencionan: a) como agente que da cuerpo e imparte textura y estabilidad; b) como espesante en gelatinas sintéticas, y da cuerpo y textura a alimentos preparados; c) como agente coloidal, emulsificante, entre otros (Pérez y Caypo, 2007).

El uso de éste rubro en la elaboración de productos tipo colado representa uno de las tantas aplicaciones en el que podría ser usado, además, que con la obtención de harinas y almidones, se amplificaría las propuestas de nuevos productos en el mercado.

Por otra parte, los colados infantiles representan una manera de contribuir a complementar una parte en la nutrición de los niños en su etapa de crecimiento, ya que aporta ciertas porciones adecuadas de nutrientes, así como otros constituyentes que le proporcionan estabilidad durante su almacenamiento. Los colados comerciales, que por lo general son hechos a base de frutas, presentan como ingredientes principales, agua, pulpa de fruta (si ese es el caso), azúcares, agentes espesantes, vitaminas, entre otros. Pero pueden llevar en su constitución otros compuestos que generen beneficios a la salud, como lo sería con la adición de GMP, una proteína aislada del suero de leche que aporta un contenido alto en proteína con niveles muy bajos de fenilalanina, resultando provechoso también para niños que padecen de enfermedades congénitas como es la fenilcetonuria.

La fenilcetonuria es una enfermedad que afecta el metabolismo de los aminoácidos y se debe a una deficiencia de la enzima fenilalanina hidroxilasa que provoca una acumulación de fenilalanina y algunos metabolitos derivados en sangre y donde su principal tratamiento se basa en la dieta que lleven a cabo los individuos que la padecen (Fernández, 1999; Marcos y col, 2002; Rivas y col, 2003; Baldellou, 2004; Martín y col, 2007).

Por lo antes expuesto, además de aislar y purificar el almidón y elaborar harina, de apio criollo, en este estudio se pretende, la formulación de un producto colado a base las harinas y almidones previamente preparadas, y que, con la adición de GMP represente también una alternativa para complementar la alimentación de niños que padecen de fenilcetonuria.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) comúnmente conocido así en Venezuela, es una raíz perteneciente a la familia de las *Apiaceae* (Figuras 1), cuya clasificación taxonómica, según *United Stated Department of Agriculture* (USDA), es:

Reino: *Plantae*

Subreino: *Trachebionta*

Superdivisión: *Spermathophyta*

División: *Magnoliophyta*

Clase *Magnoliopsysda*

Subclase: *Rosidae*

Orden: *Apiales*

Familia: *Apiaceae*

Género: *Arracacia xanthorrhiza*

Especie: *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft



Figura Nº 1. Raíz de apio



Figura Nº 2. Planta de apio
(*Arracacia xanthorrhiza*)

La planta de arracacha es una planta herbácea que consta de una altura comprendida entre los 0.5 y 1.5 metros y un tronco cilíndrico que alcanza 10 cm de diámetro (Tapia, 1997 y Seminario, 1998). En general, las raíces de apio son fusiformes, varían en tamaño, forma y color, siendo conocidos los morfotipos blanco, amarillo y morado (Espín y col, 2003). Esta raíz es cultivada en América del sur pero mayoritariamente por los países de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Venezuela, siendo éste un cultivo autóctono para la región (Pérez, y col., 1999; García y Pacheco, 2008).

La Arracacha se cultiva principalmente por su raíz reservante que es de sabor agradable y de fácil digestibilidad, ya que posee un almidón muy fino. Dado su valor nutricional, el consumo de arracacha es recomendado en la dieta alimenticia de niños, ancianos y convalecientes (Rodríguez y col, 2000). Aunque la arracacha es más conocida por sus raíces, ninguna parte de ésta planta queda sin aprovecharse, los tallos y las hojas se usan como alimento para animales, también se usan en muchas aplicaciones medicinales tradicionales (CIP, 2000).

La arracacha generalmente se comercializa en estado fresco para preparaciones caseras de sopa, purés, pasteles y dulces; sin embargo, en países como Brasil, han producido algunos productos transformados como harina, arracacha frita, arracacha precocida, sopas instantáneas y alimentos infantiles (Rodríguez y col, 2000).

Estas raíces constituyen una fuente no tradicional rica en almidón, carbohidratos totales, fibra, además de un bajo contenido grasa y proteínas (Dufourt y Hurtado, 1996; Pérez, 2007; García y Pacheco, 2008).

Diversos son los nombres comunes que recibe la especie según las regiones y países que la cultivan, pero la mayoría de estas denominaciones se derivan del vocablo quechua “racacha”. En Colombia, Perú y Bolivia se le denomina *arracacha*; en algunas regiones de Perú se le llama *virraca*, *racacha* o *ricacha* y en otras partes de Bolivia *lacachu*; en Venezuela *apio criollo*, en Puerto Rico *apio*, en Ecuador *zanahoria banca* y en Brasil *mandioquinha-salsa* y *batata baroa*. En el idioma inglés generalmente se le nombra como *white*

peruvian carrot y en francés *paneme* o *ponme de terre cerely* (Rodríguez y col, 2000).

El valor comercial de las raíces de arracacha está dado por su contenido de carbohidratos (especialmente de almidón), su color amarillo intenso y su aroma característico. Posee un alto valor nutricional conferido, además de los ya mencionados, por su alto contenido de carotenoides, como fuente de vitamina A, los cuales están especialmente presentes en los cultivares amarillos, los significativos contenidos de ácido ascórbico (vitamina C) y de minerales, especialmente de calcio y fósforo (Rodríguez y col, 2000).

Composición química del Apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)

Las raíces de apio criollo se caracterizan por presentar un alto contenido de humedad, debiéndose esto entonces a su alto grado de descomposición y por tanto grandes pérdidas post-cosechas. En este sentido, García y Pacheco (2008), analizando algunas características físicas de ésta materia prima, se encontraron con un pH de la pulpa de la raíz con un valor promedio de 6,65, sólidos solubles de 7,80 °Brix, rendimiento de pulpa promedio de 84,35 % y contenido de humedad promedio de 77,78 g/100g, muy similares a los reportados por Barrera y col (2003), que en apio fresco encontró contenidos de humedad de 68,17-88,70 g /100g y de sólidos solubles de 6,1-9,60 °Brix. De igual forma se encontró con los siguientes resultados en cuanto a su composición química: materia seca (24,60%), ceniza (5,50%), proteína (3,82%), grasa (0,64%), almidón (74,28 %), fibra (6,79 %), azúcares totales

(7,29%), azúcares reductores (3,69%) y carotenoides (0,98%). Valores similares fueron reportados por Repo-Carrasco (1992).

Marcano (1975), reportó un contenido de humedad de 70,40% el cual se acercó al reportado por Toledo (1972) con un valor de 71,01% de humedad y el contenido de almidón de apio fue de 19,76% base húmeda.

Según los valores reportados por el Instituto Nacional de nutrición (INN, 1999), la pulpa de las raíces de apio criollo presentan: 94g/100g calorías, 73,5% de humedad, 1,0% de proteína, 0,1% de grasa, 22,3% de carbohidratos disponibles, 24,3% de carbohidratos totales, 2,0% de fibra dietética total, 1,1% de fibra dietética insoluble, 1,1% de cenizas, 25mg/100g de calcio, 60mg/100g de fósforo y un 0,9mg/100g de hierro.

Por otra parte, en general la harina es un producto obtenido de la molienda de diferentes especies vegetales, llevadas a contenidos óptimos de humedad para su almacenamiento y adecuada conservación. En el caso de la arracacha la producción de harina es una de las mejores posibilidades de conservación de sus características nutricionales, dada la alta perecibilidad de sus raíces, cepas y colinos. La harina de arracacha preserva las características nutricionales de las raíces y puede ser utilizada como sustituto de otras harinas para la elaboración de panes, pastas, espesantes, extensor de sopas, condimentos, papillas para bebés y dulces (Rodríguez y col, 2000). Dufourt y Hurtado (1996), al determinar el análisis composicional de la harina de apio o arracacha, se encontraron con un alto contenido en base seca de almidón (72,0 g/100g), seguido de la fibra (5,2 g/100g) y azúcares totales (5,0 g/100g), estableciendo que al igual que la mayoría de las raíces y tubérculos, ésta

harina presentó bajo contenido de grasa (0,4 g/100g) y de proteína (2,5 g/100g).

Para el caso de almidones, Marcano (1975) analizando el almidón de apio, reportó los siguientes resultados en las propiedades fisicoquímicas determinadas, las cuales fueron: 5,43% de humedad; 92,5% de almidón; 23,79% de amilosa, 76,21% de amilopectina; 2,18% de sólidos solubles, 0.74% de grasa cruda y 0.44% de ceniza.

Por su parte, Pérez y col (1999), se encontraron con los siguientes resultados en cuanto al almidón de apio analizado: 14% de humedad, 97,87% de almidones totales (calculados por sustracción), 0,05% de proteína cruda, 0,25% de fibra cruda, 0,07% de grasa cruda, 0,13% de cenizas, 0,10% de sustancias grasas, 0,03% de grasa consolidada, 1,6% de azúcares totales, 1,5% de azúcares reductores, 0,1% de azúcares no reductores, 38,5% de amilosa aparente, 61,5 de amilopectina aparente, una acidez de 3×10^{-4} meq/g y pH 7.

Generalidades sobre almidones nativos y modificados

El almidón se encuentra ampliamente distribuido en diversos órganos de las plantas como material de reserva. Como un ingrediente de muchos alimentos, es una muy importante fuente de carbohidratos en la nutrición humana (García, 2007). Desde el punto de vista físico, el almidón está organizado en partículas discretas conocidas como gránulos y cuya morfología, composición química, tamaño, forma y disposición de las macromoléculas en

dichos gránulos, son particulares de cada especie, por lo que difieren entre las fuentes botánicas (Buléon y col, 1998; Rao y Tattiyakul, 1999).

El almidón nativo está principalmente constituido por dos polímeros: amilosa y amilopectina, siendo la primera un polisacárido esencialmente lineal y el segundo muy ramificado. Dichos gránulos, a su vez, se presentan con distintas formas: esféricos, ovalados, lentillas o irregulares según la especie (Hoover, 2001). Dependiendo del tipo de especie, esta característica puede ser muy similar entre ellos, diferenciándose en base al tamaño. Un ejemplo de ello lo presentaron los gránulos de almidón de apio, mashua y miso en un estudio de su morfometría, en el que la forma encontrada en ellos era esférica, pero variaban específicamente en el tamaño (Espín y col, 2001; Cerada, 2002).

Por otra parte, Pérez y col. (1999) en un estudio sobre las características físicas y morfométricas de los gránulos de *Arracacia xanthorrhiza* encontraron formas de tipo oval truncada de diámetros entre 4 y 26 μm (figura 3).



Figura 3. Microfotografía por SEM de los gránulos de almidón de apio. Fuente: Pérez y col. (1999).

Otras formas encontradas en el almidón de apio lo muestra Rodríguez y col (2005) en el que encontró formas irregulares, gránulos con superficie estriada, así como globulares y poliédricos.

Los almidones nativos, desde su utilización, han aportado ciertos beneficios en matrices de alimentos, sin embargo, se han utilizado en forma limitada debido a sus propias propiedades funcionales. Estos almidones forman en particular, pastas de poco cuerpo, cohesivas y gomosas cuando son calentados, y geles no deseables cuando estas pastas se enfrían (Fenema, 2000). En éste sentido, debido a su estructura química, éste biopolímero es factible de modificarse por diferentes tratamientos que mejoren y diversifiquen sus propiedades funcionales y por ende su aplicabilidad (Pérez, 1994). La modificación se lleva a cabo de manera que las pastas resultantes puedan resistir las condiciones de calor, fuerzas y ácidos asociados con las condiciones de procesado de alimentos, para introducir funciones específicas (Fenema, 2000; Wurzburg y Szymanski, 1970).

Para lograr cambiar las propiedades de los almidones nativos, existen diferentes técnicas de modificación, que pueden ser genéticas, físicas o químicas (Wurzburg, 1972; Cheftel, 1976, Wurzburg, 1986; Rogols, 1986; Light, 1990) y que involucran cambios en la forma física, una degradación controlada y/o la introducción de grupos químicos (Swinkels, (1985); Colonna y col., 1984, Rogols, 1986).

Modificación física de los almidones

Los almidones modificados representan una alternativa en la industria de alimentos, en la formulación de productos a fin de mejorar sus propiedades.

Light (1990) señala algunas de las razones por las cuales la modificación de almidones resulta beneficiosa en su incorporación en la matriz de un producto, las cuales son: brindan atributos sensoriales en aplicaciones o formulaciones que normalmente los almidones nativos no pueden aportar, son más abundantes y disponibles y resultan más económicos que otros polisacáridos. Asimismo señala que puede usarse en sus cuatro formas físicas: seco, hinchado, en dispersión molecular y film seco, donde el primero se usa como agente higroscópico, por ejemplo para remover los productos horneados del molde; el segundo es usado para dar textura, viscosidad o palatabilidad; el tercero como agente encapsulante y estabilizante de emulsiones y el último se usa, por ejemplo, para adherir ciertos elementos alimenticios a otros productos.

Colonna y col (1984) señala que el proceso físico de modificación puede actuar sobre la estructura del almidón con conservación o completa desorganización del gránulo y/o modificación a nivel molecular con degradación de las macromoléculas o monómeros. Los autores explican que cuando la modificación destruye la forma granular del almidón se disminuye la temperatura de gelatinización, estos se hinchan en agua fría sin solubilización y presentan una alta susceptibilidad enzimática.

Pérez (1994) señala algunos procesos de modificación física, entre ellos: el proceso de extrusión, deshidratación por doble tambor, irradiación gamma y microondas. Para el primero de ellos, Mercier y Feillet (1975) usaron el proceso de extrusión en almidones de maíz, trigo y arroz, encontrando cambios en la viscosidad de la pasta a 50°C, absorción de agua, y solubilidad de los mismos por el incremento de la temperatura en el proceso. De igual manera, Colonna y col (1984) trabajando con los procesos de extrusión y

deshidratación por doble tambor, señalaron que la extrusión altera la estructura cristalina organizada, parcial o completamente, dependiendo de la relación en la que se encuentre los biopolímeros (amilosa/amilopectina) y las variables involucradas, como lo son: la humedad, tasa de cizalla y temperatura, mientras que para la deshidratación por doble tambor señalaron que produce almidones fácilmente dispersables en agua fría y con mayor viscosidad de los extruidos, sin degradar la amilosa y la amilopectina. Resultados similares fueron obtenidos por Schweiser y Reimann (1986) así como por Dublier y col (1986).

Pérez (1994) indica que, una forma de modificar el nivel molecular del almidón es empleando el método de irradiación. Los alimentos que son irradiados, disminuyen su temperatura de gelatinización y desarrollan solubilidad en agua fría. La disminución de la viscosidad, del valor azul e incremento del valor reductor, indican que durante este proceso se produce despolimerización (Colonna y col, 1984). Pérez (1994) trabajando con almidones de diferentes rubros y aplicando tanto irradiación gamma como microondas se encontró con algunos casos en que las propiedades fisicoquímicas diferían de las obtenidas por los respectivos almidones nativos, así como en algunos casos en los que encontró aumento y/o disminución del valor reductor por efecto del tratamiento aplicado, pudiendo explicar este último punto como un efecto de bloqueo por parte de los grupos reductores al aplicar irradiación microonda.

Tecnología de los pulsos de luz y su aplicación en alimentos

La aplicación de los pulsos de luz constituye una nueva tecnología, para descontaminar superficies matando a los microorganismos mediante pulsos de

un amplio espectro, rica en luz UV-C (la cual es la porción del espectro electromagnético correspondiente a la banda entre 200 y 280 nm) (Gómez y col. 2007).

Los pulsos de luz se generan utilizando tecnologías de ingeniería que aumentan la potencia de la energía muchas veces para convertir rápidamente, impulsos eléctricos en pulsos de luz de alta intensidad. El sistema consta de tres componentes principales: la fuente de alimentación, el dispositivo de configuración de pulsos y la lámpara. La energía es almacenada en un condensador de alta potencia, por un período 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 (nanosegundos a milisegundos). La energía entregada a la lámpara produce unos pulsos de luz intensa que se concentra en el área de tratamiento, que suele durar unos pocos cientos de microsegundos. La luz producida por la lámpara incluye radiaciones electromagnéticas ultravioleta de onda corta (UV-V) (Elmnasser y col, 2007). Éste sistema trabaja con lámparas de xenón que pueden producir destellos varias veces por segundo (Gómez y col, 2007).

La característica más importante que posee la liberación de energía por pulsos de luz es que, aparte del número y la duración de los pulsos, la energía proporcionada por los pulsos es mayor que la proporcionada por una radiación de luz continua, en cuanto a la energía total equivalente. Mientras más corta es la duración de cada pulso, más alta es su energía. Por ésta razón, si se compara con las radiaciones de luz continua, los pulsos de luz muestran una capacidad de penetración mucho mayor a través de los materiales (Dunn y col, 1989). Además, los pulsos de luz proporcionan enfriamiento en el período entre

cada destello, y por lo tanto reduce la acumulación de temperatura de la radiación continua de la luz UV (Mc Donald y col, 2000).

Gómez y col (2007) señalan que la acción letal, en la aplicación de los pulsos de luz UV, para la eliminación de microorganismos, puede ser debido a un mecanismo fototérmico y/o fotoquímico, en donde, la mayoría de los autores explican sus resultados mediante el efecto fotoquímico. Ejemplo de ello lo presenta Rowan y col (1999) en el que señalan que lograron la inactivación microbiana con menos de 1°C de aumento de temperatura, concluyendo entonces que la letalidad puede ser atribuida a la acción fotoquímica de los pulsos aplicados. El efecto germicida de la luz UV en bacterias es primordialmente por la formación de dímeros de pirimidina principalmente por los dímeros de timina (Mitchell y col 1992; Giese y Darby, 2000).

Otros trabajos realizados en alimentos (pero muy pocos) señala que pueden presentarse cambios en los componentes enzimáticos, lipídicos o vitamínicos en los alimentos, así como variaciones en el color, dependiendo de la matriz alimenticia que esté siendo expuesta. Dunn y col (1989) señala que el tratamiento por pulsos de luz puede reducir significativamente la actividad de una amplia variedad de enzimas (oxidorreductasas, hidrolasas, lipasas, isomerasas, proteasas, etc.) presentes en algunos productos alimenticios (frutas, verduras, carnes, pescados y mariscos) en una superficie de 0,1 mm de profundidad. Es así, como estudiando el tratamiento de pulsos de luz en la polifenoloxidasas (presente en lotes de frutas y hortalizas) en rebanadas de papa, tratadas por 2 a 5 destellos de pulsos en una fluencia de 3J/cm², observó que conservaron su color después de un almacenamiento prolongado, mientras que las muestras no tratadas mostraron un pardeamiento por acción de la

polifenoloxidasas a los pocos minutos, sin embargo, las superficies opuestas de las muestras tratadas y no tratadas mostraron un dorado visible. Efectos similares han sido demostrados en rebanadas de plátanos y manzanas (Dunn y col, 1989). Por su parte, Fine y Gervais (2004), indican que los pulsos de luz pueden cambiar el color en los alimentos. Ellos estaban estudiando los efectos de los pulsos de luz en *S. cereviceae* en chile negro y harina de trigo, en donde encontraron, colorimétricamente, un rápido cambio de color mucho antes de que el umbral de descontaminación se alcanzara, mas en el chile negro que en la harina de trigo, atribuyéndole dichos resultados al recalentamiento producido en combinación con la oxidación y la diferencia del color inicial, es que los productos negros absorben más energía que los productos pálidos.

En vista de que la base de la aplicación de la técnica es a través del empleo de radiación UV, hay trabajos realizados que señalan que la radiación ultravioleta en compuestos amiláceos puede producir despolimerización oxidativa, eso dependiendo de la longitud de onda y la intensidad de radiación (Rajee y Karim, 2009).

Preparación de colados

Un producto tipo colado es definido según las normas venezolanas COVENIN 2005:1994 como “el producto comercialmente estéril preparado a base de materias primas alimenticias aprobadas por la autoridad sanitaria competente, destinados al consumo infantil. Su textura debe ser fina y uniforme y de un tamaño de partícula que no requiera masticación”. Asimismo, definen esterilidad comercial como “la condición lograda por la aplicación de calor, que

hace al alimento libre de formas viables de microorganismos que son significativos desde el punto de vista de salud pública, así como de cualquier otro no patógeno, pero si capaz de reproducirse en el alimento bajo condiciones normales de almacenamiento”.

Según Moa y col. (2004) el colado representa un vehículo alimentario de consumo generalizado y regular, cuyos beneficios son:

- Permite la introducción de una dieta sólida en el bebé de forma poco agresiva.
- Su digestión, en formas habituales, es inocua.
- Por su disponibilidad es ampliamente accesible.
- Sensorial y culturalmente es atractivo.

Entre los requisitos que debe cumplir el colado infantil según las normas venezolanas COVENIN (2005:1994) son las siguientes:

- Los alimentos colados deben presentarse listos para el consumo.
- Todos los ingredientes que se utilicen deben ser aptos para su procesamiento, limpios, de óptima calidad e inocuos.
- El producto y sus ingredientes no deben haber sido tratados con radiaciones ionizantes.
- El producto elaborado de acuerdo a prácticas correctas de manufactura, no deberá contener residuos de plaguicidas y en caso de ser técnicamente inevitable, deberá estar dentro del rango establecido por la FAO-OMS.

- No está permitido el uso de sustancias conservadoras, sabores y colores artificiales ni de glutamato monosódico.
- El producto final debe estar libre de hormonas y antibióticos. Los alimentos colados deben cumplir con la prueba de esterilidad comercial.

Entre algunos trabajos realizados para la elaboración de colados, lo presentan Pacheco - Delahaye y col. (2000), los cuales evaluaron el uso de harina de plátano verde en la elaboración de colados infantiles. Estos autores estudiaron la sustitución 3,5 y 5% del almidón usado para elaborar los colados por harina de plátano verde. Los productos obtenidos mostraron mayor contenido de proteína y fibra dietética que la muestra comercial por lo que los autores señalan que esto podría ser beneficioso en el caso de niños con diarrea.

González (1999) elaboró colados de mango con almidones de ñame (*Dioscorea alata*) tanto nativo como modificados por radiación microondas. Los mismos fueron sometidos a una evaluación sensorial para estudiar la preferencia en cuanto a sus atributos (color, aroma, sabor y consistencia) por parte de un grupo de panelistas, encontrando una buena aceptación para cada una de las características evaluadas.

De igual manera, Requena (2010), elaboró un colado a base de harinas compuestas de batata y lenteja sabor a guanábana con el uso de GMP e hidrolizados proteicos de lenteja, encontrando un alto contenido de proteínas y bajo en fenilalanina así como una buena aceptación por parte del panel evaluador.

Generalidades sobre fenilcetonuria y el glicomacropéptido

Las enfermedades congénitas metabólicas son muy diversas y con baja incidencia, siendo su diagnóstico también muy difícil. Estas enfermedades afectan principalmente a la infancia, siendo la afección principal a escala neurológica permanente con retraso mental y muerte prematura (Requena, 2010).

Entre estas enfermedades se presenta la fenilcetonuria. La fenilcetonuria es un error en el metabolismo del aminoácido fenilalanina. Esta enfermedad fue descrita en 1934 por Folling y en 1953 fue tratada por primera vez por Bickel (Marcos y col. 2002). Es una enfermedad que se debe a una deficiencia de la enzima fenilalanina hidroxilasa, que provoca una acumulación de fenilalanina y algunos metabolitos derivados. Si esta enfermedad no es tratada, se produce una lesión cerebral irreversible. La fenilcetonuria se da por mutaciones en el gen que codifica la enzima fenilalanina hidroxilasa. Gutiérrez y col. (2002) afirman que se han reportados acerca de 500 mutaciones en dicho gen. De acuerdo al tipo de mutación en el gen se establece la actividad de la enzima que puede ser mayor o menor, lo cual estará relacionado con el grado de retraso mental del individuo.

Estudios realizados señalan que el principal tratamiento de esta enfermedad es proporcionarle al paciente una dieta baja en fenilalanina y así evitar los altos niveles de este aminoácido en la sangre (Requena, 2010).

Según Baldellou, (2004) la terapia más efectiva para este tipo de enfermedad metabólica es el tratamiento dietético donde se restringa el aminoácido fenilalanina. Igualmente Rivas y col. (2003) afirman que el objetivo

terapéutico consiste en disminuir el nivel de fenilalanina hasta parámetros aceptables en suero (4 a 8 mg/dL), para cubrir las necesidades de la síntesis proteica. Esta disminución se logra a través de una dieta apropiada.

Es por ello que se han implementado el uso de diversos complementos proteicos bajos en el aminoácido fenilalanina que permitan la formulación de productos alimenticios que cubran con parte de la dieta de las personas que la padecen. Uno de ellos lo representa el glicomacropeptido (GMP).

El GMP debe ser aislado desde el suero de leche y purificado para reducir la contaminación proveniente de otras proteínas lácteas antes de su utilización en dietas para individuos con fenilcetonuria (Lim y col., 2007).

Estos autores realizaron una bebida destinada para pacientes fenilcetonúricos con glicomacropéptidos (proteínas de suero sin fenilalanina) y estudiaron la aceptabilidad de la misma, encontrando una buena aceptabilidad por parte de los pacientes, sin embargo los autores recomendaron suplementar esta bebida con otros aminoácidos indispensables para estos pacientes.

Ney y col (2009) exponen que los alimentos formulados con GMP pueden fácilmente reemplazar al menos la mitad de los aminoácidos requeridos por individuos con PKU tanto en etapa escolar y adultos. Estos autores suponen que GMP puede potenciar la aceptabilidad de las dietas bajas en fenilalanina, mejorando sabor, variedad y conveniencia.

3. OBJETIVOS

Objetivo General:

- ✓ Elaborar un producto tipo colado a partir de almidones modificados y harinas de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.

Objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar la fuente botánica (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft).
- ✓ Extraer y purificar almidón de apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft).
- ✓ Elaborar harina de apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) por deshidratación convencional.
- ✓ Modificar, utilizando pulsos de luz U.V, el almidón extraído de apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft).
- ✓ Determinar composición proximal y pureza de los almidones nativos y modificados del apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft).
- ✓ Caracterizar las propiedades físicas, reológicas y funcionales de los almidones nativos y tratados con pulsos de luz U.V del apio criollo.
- ✓ Evaluar las características físicas, composición proximal, propiedades funcionales y propiedades morfométricas de la harina de apio.
- ✓ Formular un colado a base de apio, sus almidones modificados y adición de glicomacropéptido.

- ✓ Evaluar la composición proximal, las propiedades funcionales, la esterilización comercial y las propiedades sensoriales del colado formulado.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIA PRIMA:

Para el estudio, las raíces de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) fueron adquiridas en un mercado local de la ciudad capital, cuya procedencia es perteneciente a las montañas de Torondoy, población de Torondoy, Edo. Mérida, Venezuela; se dispuso de 6,9 kg de éstas raíces para para una primera extracción de almidón (Lote 1); 6 kg aproximadamente para una segunda extracción de almidón (Lote 2); 6 kg aproximadamente para la elaboración de harina de apio y 1 kg aproximadamente para la elaboración de los colados, adquiridos en diferentes tiempos.

Reactivos: todos los reactivos empleados presentaban grado comercial.

4.2 Caracterización de los atributos físicos y determinación del contenido de humedad de la pulpa comestible del apio (*Arracacia xanthorrhiza* B.)

La caracterización de las raíces de apio criollo se estableció mediante la determinación de sus dimensiones, pesos promedios y rendimiento (pulpa y cáscara). En la determinación de las dimensiones se empleó una cinta métrica con lo cual, se midió largo y ancho de 27 unidades. Para el peso promedio se empleó una balanza de precisión; y para la determinación del rendimiento de la materia prima, tanto de la pulpa como de la cáscara, se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$\% R_{(pulpa)} = (\text{Peso de las raíces sin cascara} / \text{Peso total de muestra}) \times 100$$

$$\% R_{(cáscara)} = (\text{Peso de las cascara} / \text{Peso total de muestra}) \times 100$$

El contenido porcentual de humedad fue determinado según AOAC (1990).

4.3 Extracción del almidón de apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) y determinación de sus parámetros

4.3.1 Extracción del almidón

Para la extracción y purificación del almidón de apio criollo se siguió la metodología descrita por Pérez (2001) con algunas modificaciones, a partir de las raíces ya caracterizadas, y se determinó el rendimiento de obtención de almidón de aproximadamente 60 g, mediante la siguiente ecuación:

$$\% R_{(Almidón)} = (\text{Peso almidón obtenido} / \text{Peso pulpa de muestra}) \times 100$$

La extracción se realizó en dos lotes (Lote 1 y Lote 2). Se realizaron dos lotes, porque del primero, al obtener el almidón se dividió en dos porciones, la cantidad en almidones nativos y los que serían para modificar, pero no fue suficiente esta última porción de almidones, por lo que se realizó la extracción de un segundo lote para modificar con pulsos de luz U.V la cantidad obtenida, y que se verá más adelante. Se contó con 6.9 kg de raíces frescas para el primer lote y 6 Kg para el segundo lote. Las raíces fueron lavadas y peladas manualmente, se picaron en trozos con un tamaño de aproximadamente de 2 cm de grosor y se sumergieron en una solución de ácido cítrico al 0,1% por 15 min. Los trozos fueron lavados con agua destilada, licuados en una licuadora tipo industrial (Metvisa, Nr: 30129. Tipo LQ4) y tamizados por medio de un

pañó de muselina. Una vez realizado el proceso anterior, la lechada obtenida se centrifugó por 15 min a 2500 rpm. El sedimento obtenido se lavó entre 3 y 5 veces para retirar capa no amilácea. Una vez centrifugado el almidón extraído, se deshidrató en el deshidratador de bandejas (Mitchell, Mod.645159) por 24 h a 45°C. El almidón seco fue tamizado en tamices de la serie Tyler de 60 mesh y almacenado en bolsas zigplog, contenidas en recipientes de plásticos para los análisis posteriores.

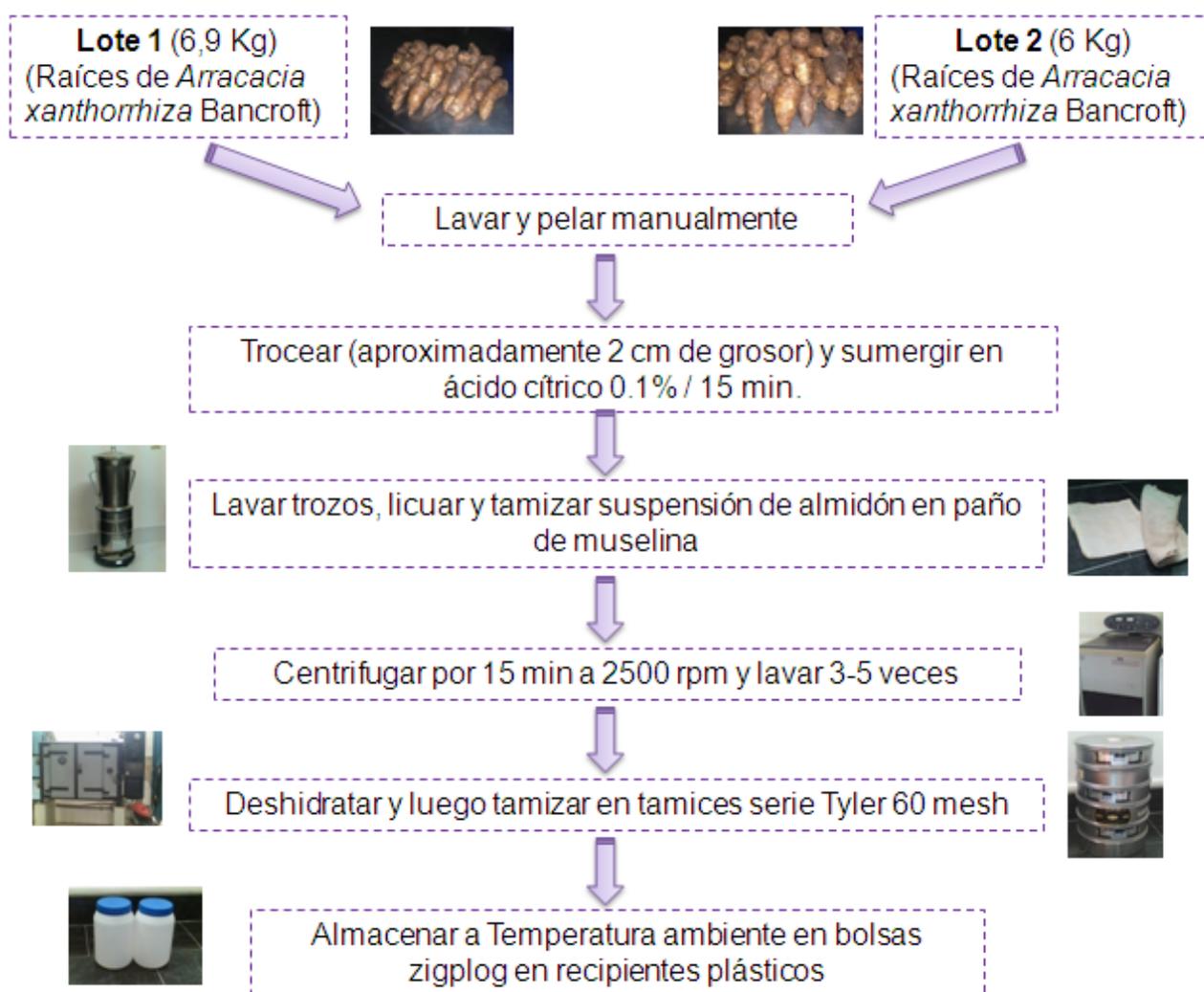


Figura Nº 4. Esquema de extracción de almidones de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft (Lote 1 y Lote 2)

4.3.2 Determinación de la composición proximal del almidón nativo:

La determinación de la composición proximal en el almidón nativo de apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) se realizó evaluando los siguientes parámetros: cuantificación del contenido porcentual de humedad, cenizas y proteína cruda (N x 6,25), de acuerdo a los métodos oficiales N° 44-19; 08-17 y 46-13, respectivamente, descritos en el AACC (2003), y la determinación del contenido de grasa por el método descrito por Schoch (1964).

La determinación de la pureza del almidón se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Pureza} = 100 - (\% \text{ Proteína cruda} + \% \text{ Grasa cruda} + \% \text{ Cenizas})$$

4.3.3 Determinación de los parámetros físicos y fisicoquímicos del almidón nativo.

La determinación del pH y acidez del almidón nativo se realizó de acuerdo al método de Smith, (1967).

El color se determinó mediante el método de Giese (1995) y Manual Hunter Lab. (2001), empleando el colorímetro Triestímulo, modelo Color Flex, bajo el Software Color Universal Cielab. Se determinaron los parámetros: L*, a* y b*, para describir el color reflejado, utilizando el iluminante D65.

Parámetros:

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

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

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

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

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

La determinación del poder reductor se realizó mediante el método de Smith, R (1967). Para ello, se pesaron 500 mg de almidón en una fiola de 250mL, se añadieron 10mL de agua destilada y se agitó hasta obtener una suspensión uniforme. Se agregó una solución de NaOH 0,4 ± 0,02 N y se agitó simultáneamente. Se adicionaron 75 mL de agua destilada a 95-100°C. Se tapó fiola y se llevó a un baño de agua hirviente. Se digirió la muestra por 60 min y se llevó fiola inmediatamente a un baño de agua y hielo. Se agregaron 75 mL de agua de agua fría y se transfirió cuantitativamente a beacker de 400 mL. Se tituló con una solución valorada de ácido sulfúrico 0,2N hasta alcanzar pH 8. El blanco se preparó de la siguiente manera: Se pesaron 500 mg de almidón en un fiola de 250 mL y se añadieron 10 destilada mL de agua, agitando hasta homogenizar. Se añadieron 100 mL de agua destilada a 95.-100°C y se titulo electrométricamente con una solución de NaOH 0,2N hasta alcanzar pH 8.

Cálculos:

Número de álcali (meq/g) = (A±B)*C*10/ Peso de la muestra seca (g)

A = Volumen (mL) gastado en la titulación de la alícuota de la solución alcalina
– Volumen (mL) gastados en la titulación de la muestra.

B = Volumen (mL) gastado de la titulación del blanco.

C= Normalidad de la solución de ácido sulfúrico (meq/mL).

4.3.4 Morfología del almidón nativo

4.3.4.1 Morfometría medida con microscopía óptica (Luz Polarizada)

La Microscopía de Luz Polarizada (MLP) fue realizada en un equipo marca Nikon modelo optihot 2, con cámara acoplada Nikon FX35DX, y filtro de luz polarizada (Wang y White, 1994) tomándose las fotografías por medio de una cámara digital comercial. Los almidones pudieron ser vistos bajo el microscopio colocando una a dos gotas de agua y una pequeña cantidad del almidón, distribuyéndose en el portaobjetos, el cual permitió incrementar el índice de refracción de los mismos (Pérez y col., 2005).

4.3.4.2 Morfometría por Rayos Láser (Granulómetro Malvern)

La granulometría fue realizada usando el granulómetro Malvern (UK Master Size Mod. MSS) Para ello, se disolvió una cantidad aproximadamente 500 mg de muestra en 10 ml de agua destilada en un tubo de ensayo y se aplicó energía de sonido (ultrasonido) x 30 minutos en un Sonicator Fisher Scientific (FB 15051) a la intensidad de 30 KHz a fin de evitar la aglomeración de los gránulos. Se calibró el Granulometro Malvern, luego se colocó la solución del almidón hasta un valor que es determinado por el sistema y por último, el equipo proporcionó los resultados.

4.3.5 Determinación de los parámetros funcionales del almidón nativo

4.3.5.1 Determinación de la viscosidad Brabender del almidón nativo

La determinación del perfil amilográfico del almidón nativo, se realizó de acuerdo a los métodos descritos por la AACCC (2003), sección N° 22-10, por medio del RVA (rápido viscosímetro). La consistencia del gel se determinó mediante el método de Cagampang y col (1973). El contenido de amilosa y gelatinización por Calorimetría diferencial de Barrido (DSC por sus siglas en ingles) usando un equipo Perkin Elmer DSC 7 (Perkin Elmer, Norwalk USA) siguiendo la metodología de Mestres y col (1996).

4.3.5.2 Absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón.

Se realizó según la metodología descrita por Whistler (1964); para ello se pesaron 4 gramos de almidón en un balón y se le añadió 200 mL de agua destilada, se le introdujo un agitador magnético y se colocó en una manta de calentamiento, ajustándose el termostato para que la temperatura aumentara 1,5 °C/min.

Se identificó y pesó los tubos de centrifuga así como las cápsulas de porcelanas llevadas a peso contante. A intervalos de 5°C entre 60°C y 95 °C, se tomaron 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 centrifugó a 6000 rpm durante 15 min, en una centrifuga con cabezal en ángulo. Se decantó el líquido

sobrenadante de cada uno de los tubos y se colocó en cápsulas taradas, para evaporar a sequedad en baño de maría, hasta no observar humedad visible) y después se colocó en una estufa a 60°C durante 16h, se dejó enfriar en un desecador a vacío y se procedió a pesar (b). Se pesó asimismo el sedimento dejado en el tubo (a).

Cálculos: $W_1 = (\text{peso (g) del almidón (b.s) / peso (g) almidón (b.h) + 200}) \times 100$

$$W_2 = A \times W_1 / 100$$

$$W_3 = W_2 - b$$

$$\text{S.S} = \text{sólidos solubles (g/g de almidón)} = b / W_2$$

$$\% \text{ S.S} = \text{sólidos solubles (g/g de almidón)} = (b / W_2) \times 100$$

$$\text{A.A} = \text{absorción de agua} = (a - W_3) / W_3$$

$$\text{P.H} = \text{Poder de Hinchamiento} = [(a \times 100) / \text{peso almidón (b.s)}] \times (100 - \% \text{S.S.})$$

4.4 Tratamiento del almidón de apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) con Pulsos de Luz UV.

4.4.1 Aplicación de Pulsos de Luz UV

Para el tratamiento por pulsos de luz UV, se empleó el método descrito por Gómez y col. (2005) con algunas modificaciones, primeramente a una porción del almidón extraído del lote 1 y después al lote 2 debido a que no fué suficiente la cantidad tratada con los pulsos de luz del lote 1 para la realización de los análisis posteriores. Para ello se elaboraron bandejas de aluminio de

dimensiones (18 x 5 cm). Se pesaron 9 gramos de almidón en las bandejas, distribuyéndose uniformemente a fin de formar una capa muy fina. Una vez colocada la bandeja en el equipo de pulsos de luz (Pulsed UV System, Mod. XeMatic A1XL-SA) se aplicaron 17 pulsos a cada una de las bandejas con una intensidad de 2.5 Kw para una afluencia de 12.22 J/cm². Se le aplicó éste método a un total de aproximadamente 81g de almidón provenientes del primer lote y 300 g del almidón proveniente del segundo lote.

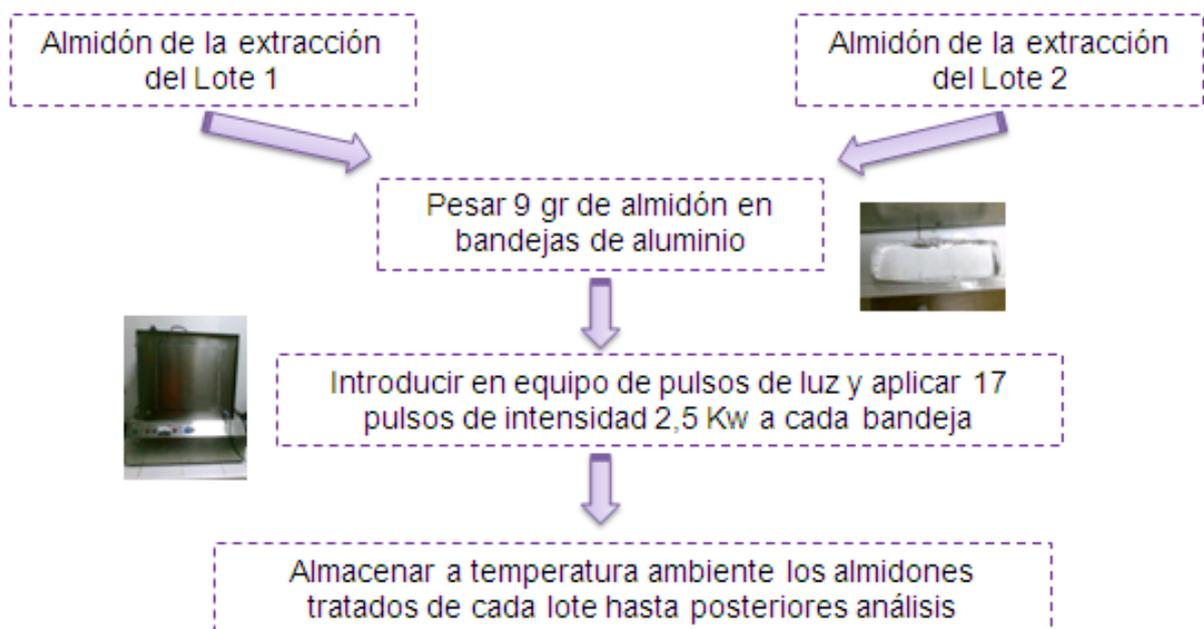


Figura Nº 5. Esquema de tratamiento de pulsos de luz U.V a los almidones nativos provenientes del Lote 1 y Lote 2.

4.4.1.1 Evaluación de los parámetros de calidad de los almidones nativos tratados con pulsos de luz UV

Los almidones nativos tratados con pulsos de luz UV, se evaluaron a través de un análisis proximal junto con las respectivas determinaciones de sus parámetros físicos y fisicoquímicos, siguiendo las metodologías descritas

anteriormente para la evaluación del almidón nativo (sin tratamiento con PL U.V). Además, se observó bajo microscopio de luz polarizada y se determinó la absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento de los gránulos de almidón, siguiendo la metodología descrita para el almidón nativo (tratamiento con PL U.V).

4.5 Elaboración de la harina de apio criollo y determinación de sus parámetros

4.5.1 Elaboración de la harina de apio. Cálculo del rendimiento (% R) y eficiencia del proceso (E.P)

Para la elaboración de la harina se contó con aproximadamente 6 kg de las raíces frescas. Siguiendo la metodología descrita por Pérez (2001), con algunas modificaciones, por lo que, se procedió como sigue:

Se lavaron y pelaron manualmente las raíces, se trocearon en rodajas finas de aproximadamente 2 cm de grosor y se colocaron en ácido cítrico al 0.1%. Se dejaron en refrigeración en bolsas zigplog por 24h. Luego se lavaron los trozos con sucesivos volúmenes de agua destilada y se escurrió; seguidamente se llevó a deshidratación en un deshidratador de bandejas a 45°C por 5 h. Una vez secos los trozos, fueron molidos en una licuadora comercial marca Oster y tamizados en tamices de la serie Tyler de 60 mesh. La harina obtenida fue almacenada en bolsas de plástico zigplog contenida en recipientes de plásticos para su posterior caracterización.

Calculo del rendimiento (%R) y eficiencia del proceso (E.P):

% R = gramos de sólidos obtenidos experimentalmente x 100/ gramos de pulpa

E.P = gramos de sólidos obtenidos experimentalmente x 100/ gramos de sólidos teóricos.

Gramos sólidos obtenidos experimentalmente = Peso de la harina x (100 - humedad de la harina medida en el laboratorio).

Gramos sólidos teóricos = Peso de parte comestible x (100- humedad de raíz)

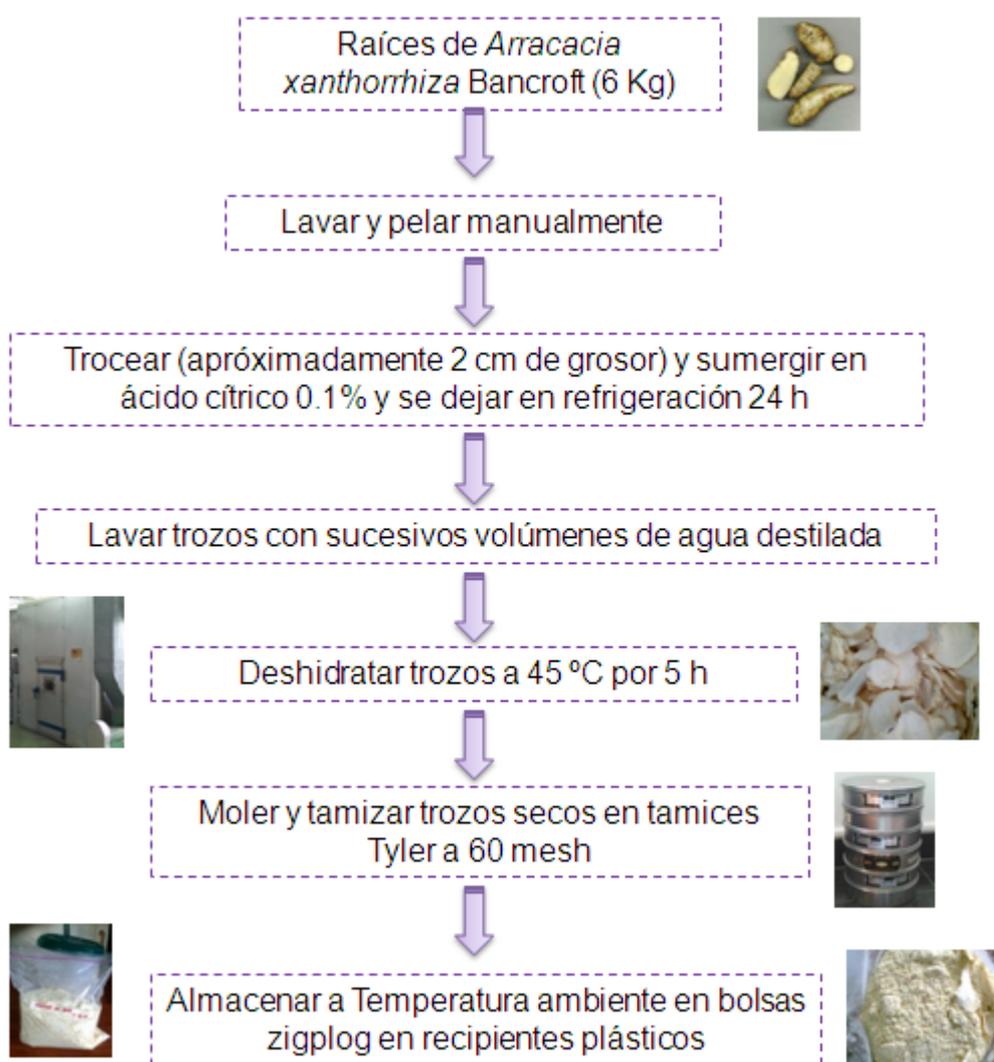


Figura Nº 6. Esquema de elaboración de harina a partir de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft

4.5.2 Determinación de la composición proximal de la harina de apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)

La determinación de la composición proximal y los análisis químicos de la harina de apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) se realizaron evaluando lo siguiente: contenido de humedad, cenizas, grasa cruda y fibra dietaria por la AOAC (1990) bajo los N° 925.10; 923,03; 920.85 y 920.86, respectivamente. Los carbohidratos disponibles y totales por diferencia se determinaron mediante la siguiente fórmula descrita por el INN (1990):

Carbohidratos disponibles = % Carbohidratos totales - % Fibra dietética

Carbohidratos totales = 100 – (% Humedad + % Proteína Cruda + % Grasa Cruda + % Fibra dietética)

La determinación de proteína cruda (N x 6,25) se realizará bajo el método de MICRO – KJELDAHL, según AACC (2003).

4.5.3 Determinación de los parámetros físicos y fisicoquímicos de la harina

La determinación del pH y acidez de la harina de apio se realizó según los métodos oficiales de la AACC (2003), N° 02-52 y 02-31 respectivamente.

El color se determinó mediante el método de Giese (1995) y Manual Hunter Lab. (2001), empleando el colorímetro Triestímulo, modelo Color Flex, bajo el Software Color Universal Cielab. Se determinaron los parámetros: L*, a* y b*, para describir el color reflejado, utilizando el iluminante D65.

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

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

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

En el equipo se mostró el índice de amarillez (YIE 313) y el índice de blanco (IB) se calculó según la ecuación de Chin-Lin (2003):

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

La densidad de la harina se determinó usando el método de Subramanian y Viswanathan (2007). Para ello se utilizó un cilindro de 100mL previamente tarado y se pesó un volumen de 100 mL de la muestra seca en el cilindro. Se calculó la densidad mediante relación de masa del contenido (muestra) a volumen del cilindro.

La separación de fases se determinó siguiendo la metodología descrita en la AACC (2003) N° 56-60. Para ello se pesaron 6g de la harina en tubo de centrifuga de 50 mL. Se añadieron 30 mL de agua con azul de bromofenol en una concentración de 4mg/ L. se mezcló fuertemente y movió el cilindro horizontal y verticalmente 12 veces en cada dirección. Por último se dejó en reposo 60 minutos y se midió la separación de fases formada en mililitros.

4.5.4 Morfometría de la harina de apio criollo

4.5.4.1 Microscopía de luz polarizada

La Microscopía de Luz Polarizada (MLP) fue realizada en un equipo marca Nikon modelo optihot 2, con cámara acoplada Nikon FX35DX, y filtro de

luz polarizada (Wang y White, 1994) tomándose las fotografías por medio de una cámara digital comercial. Los almidones pudieron ser vistos bajo el microscopio colocando una a dos gotas de agua y una pequeña cantidad del almidón, distribuyéndose en el portaobjetos, el cual permitió incrementar el índice de refracción de los mismos (Pérez y col., 2005).

4.5.5 Determinación de los parámetros funcionales de la harina de apio criollo

4.5.5.1 Determinación de la viscosidad Brabender de la harina de apio

La determinación del perfil amilográfico y viscosidad del almidón nativo de apio criollo, se realizó de acuerdo a los métodos descritos por la AACC (2003), sección N° 22-10, por medio del RVA (rápido viscosímetro). La consistencia del gel se determinó mediante el método de Cagampang y col (1973).

4.5.5.2 Determinación del Índice de Absorción de Agua (IAA) y el Índice de Sólidos Solubles (ISS) de la harina de apio criollo

La determinación del Índice de Absorción de agua e Índice de Sólidos Solubles se realizó por el método descrito por Anderson (1982), para ello: se pesaron 2,5g de harina en tubo de centrifuga previamente tarado y se le añadió 30 mL de agua destilada. Seguidamente se centrifugó por 10 minutos a 3000 rpm. Luego el sobrenadante se transfirió a una cápsula de porcelana previamente tarada, evaporándose a sequedad y se pesó el residuo en el tubo.

Las cápsulas se llevaron a estufa a vacío a 60°C por 16h. Por último se pesaron las cápsulas.

Cálculos: ISS = (Peso residuo en cápsula/ Peso de muestra) x 100

IAA= Peso del gel remanente en el tubo/ peso de muestra

4.6 Elaboración de un colado infantil y determinación de los parámetros de calidad

4.6.1 Elaboración del colado

Para la elaboración del colado se aplicó la metodología utilizada por Pérez (2001) con algunas modificaciones (Figura N° 7). Para preparar 1000 g de producto, se procedió como sigue: se pesaron 320 g de pulpa de apio previamente troceada en un envase de vidrio resistente al calor, luego se colocaron 600 mL de agua potable, así como la cantidad de sal correspondiente (6.4 g) y se procedió a cocinar en la plancha. Antes de que el agua se calentara, se tomó una parte de ella para disolver la harina (28 g), el almidón (24 g) y el glicomacropéptido (21.6 g). Se cocinó la pulpa de apio por 10 minutos, se licuó y se llevó a cocción nuevamente con la adición de la mezcla que contenía el almidón, la harina y el GMP. Se cocinó toda la mezcla por 5 min, o hasta adquirir la consistencia esperada.

4.6.2 Determinación de la composición proximal del colado:

Se le determinó los parámetros de composición química importantes en la calidad del producto, entre ellos: humedad, sólidos solubles, proteína cruda, grasa cruda y cenizas, según las metodologías descrita en la AOAC (2003).

El contenido calórico aportado por el producto, se determinó según la ecuación formulada por el Instituto Nacional de Nutrición (INN, 1999).

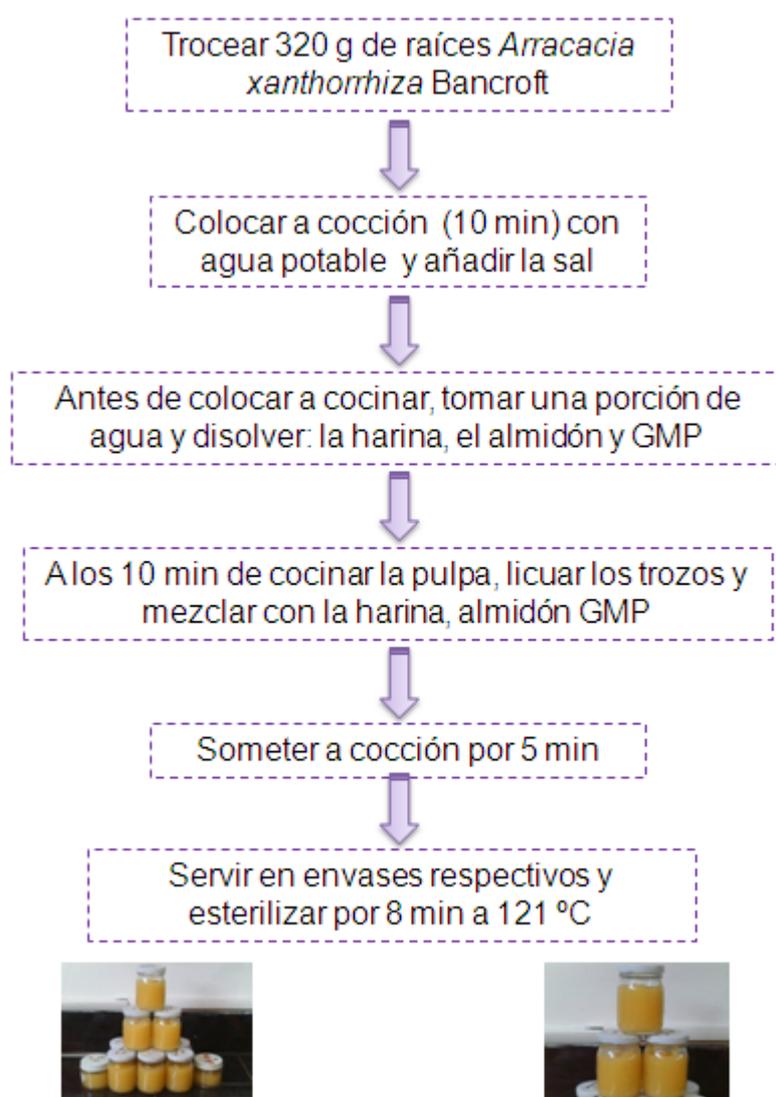


Figura N° 7. Esquema de elaboración de los colados de *Arracacia xanthorrhiza*

Bancroft

4.6.3 Determinación de los parámetros físicos, fisicoquímicos y Evaluación Sensorial del colado:

Los parámetros físicos y fisicoquímicos evaluados en los colados fueron los siguientes: pH y acidez según los métodos oficiales de la AACC (2003); consistencia, mediante el empleo del consistómetro de Bostwick, separación de fases a las 24 h y sólidos solubles por el método refractométrico (Joslyn, 1970).

El color se determinó mediante el método de Giese (1995) y Manual Hunter Lab. (2001), empleando el colorímetro Triestímulo, modelo Color Flex, bajo el Software Color Universal Cielab. Se determinaron los parámetros: L*, a* y b*, para describir el color reflejado, utilizando el iluminante D65. Se determinó el índice de blanco (IB) según la ecuación usada por Chin-Lin (2003) y la variación total de la muestra (ΔE), según la ecuación usada a continuación, usando como control la pulpa de apio cocida:

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

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

El test de esterilidad comercial se realizó siguiendo la Norma Venezolana COVENIN 2005:1994. En éste se evaluó el envase (presencia o ausencia de abombamiento, abolladura, desprendimiento de la tapa y vacío), y el producto (daño visible, color, consistencia y apariencia) luego de 10 días de incubación a 37 °C.

Por último, se realizó una evaluación sensorial mediante un test de aceptación del producto de escala hedónica de nueve puntos de anclaje, donde los valores numéricos iban desde me gusta extremadamente (9) hasta me

disgusta extremadamente (1), siendo evaluados los siguientes parámetros: color, aroma, sabor y consistencia.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos para las muestras de almidón nativo así como para los almidones tratados con pulsos de luz U.V fueron evaluados estadísticamente usando el paquete estadístico Statigraphis Vs. 8 (Graphis Software Systems Inc., USA, 1997). Para establecer si existían diferencias significativas entre las muestras se realizó un análisis de varianza de una y dos vías de acuerdo a los análisis realizados a una $p \leq 0,05$.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Caracterización de la materia prima:

En relación a la caracterización de la materia prima (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft), se puede observar en la tabla N° 1 y 2, los rendimientos obtenidos en cuanto al procesamiento de la pulpa y la cáscara. En el procesamiento de la pulpa, el rendimiento obtenido fué de 92,03% mientras que el de cáscara fué de 7,97% de una muestra de 6.9 kg de raíces frescas (pertenecientes al Lote 1). Lo que podría decirse en cuanto a estos resultados, es que el método de pelado aplicado (manual) resultó muy efectivo por lo que se obtuvo poca pérdida de pulpa, además de que también, esto podría ser resultado de que presentaban un estado aceptable para su procesamiento, es decir, sin o con muy pocos daños del tipo físico-mecánico (cortes, roturas y/o magulladuras) (García y Pacheco, 2008), sin partes fermentadas por parte de la acción microbiana o enzimas internas, producto del transporte o almacenamiento inadecuado antes de ser adquiridas. Asimismo, puede decirse, que el apio criollo es una raíz que presenta un tipo de cáscara muy fina, que puede desprenderse fácilmente de la pulpa solo aplicando el método de pelado ya mencionado, y que podría ser utilizado para consumo animal y humano, siendo ésta posibilidad estudiada pertinentemente. Al comparar el rendimiento obtenido con el reportado por García y Pacheco (2008), el cuál fué de 84,35%, puede observarse que resultó ser mayor que el mostrado por estos autores, pudiendo ser más efectiva que el método aplicado por ellos, o algunas de las razones ya mencionadas.

De igual manera, al determinar la humedad de la pulpa de las raíces de apio, éstas presentaron un valor de $74,71 \pm 0,64$ % que, al compararlo con el obtenido por García y Pacheco (2008), el cuál fué de 77,78 % para el morfotipo amarillo, puede observarse que estuvo muy cercano pero por debajo de ese valor, pudiéndose deber las diferencias, al modo en que se haya llevado a cabo su cultivo o a la variedad. Valores similares fueron reportados por Marcano (1975) con un 70,40 %, por Toledo (1972) con un valor de 71,77%, por el Instituto Nacional de Nutrición (1999) con un valor de 73,5 % y por Barrera y col (2003), que encontró un contenido de humedad de 88,70%.

Tabla N° 1. Rendimiento de obtención de pulpa de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.

Peso (Kg) de raíces de Apio	Peso (Kg) de pulpa de Apio	Rendimiento de pulpa (%)
6,9	6,35	92,03

Tabla N° 2. Rendimiento de cáscara obtenido en el procesamiento de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.

Peso (Kg) de raíces de Apio	Peso (Kg) Cáscara	Rendimiento de Cáscara (%)
6,9	0,55	7,97

En la determinación de las dimensiones de las raíces frescas de apio criollo; se tiene que, presentaron un largo promedio de $13,48 \pm 2,29$ cm y diámetro mayor de $16,70 \pm 2,46$ cm, resultando muy similares a los reportados por García y Pacheco (2008). Estos autores reportaron un rango de longitud

entre 7- 24 cm y diámetro mayor entre 2,4 - 8,60 cm. Asimismo los valores reportados en este estudio coinciden con los datos señalados por Real (1994) quién encontró apios con longitud entre 5 – 25 cm y diámetros variables en hasta 8 cm. Por otro lado, el peso promedio obtenido de éstas raíces de $195,41 \pm 58,92$ g, está por debajo de los reportados por García y Pacheco (2008); quienes reportaron un rango de pesos entre 53,30 – 240 g. En este estudio los autores atribuyeron este efecto a los factores agronómicos y de la altitud durante el desarrollo físico de las raíces. En cuanto a la forma de las raíces estuvieron predominadas por formas fusiformes cilíndricas y cilíndricas ovaladas, según las definidas por Montaldo (1979) para las raíces de yuca y coincidiendo con los reportados por los autores ya mencionados, donde las formas más frecuentes que observaron fueron fusiforme cilíndrica en un 30 % de frecuencia y cilíndrica ovalada en un 18,3 % de frecuencia.

6.2 Extracción del almidón nativo de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) y determinación de sus parámetros:

En la extracción del almidón de apio criollo se obtuvo un rendimiento de $16,06 \pm 0,39$ % (tabla N° 3). Éste valor de rendimiento se puede considerar alto; ya que, en relación a la cantidad de carbohidratos disponible según el INN (1999) de 22.3%, con una porción de éste que se transforma en azúcares menores, y que se ha reportado en un 5%, por diferencia quedaría entonces un 17,3% que representaría el almidón. Por lo tanto, el valor de rendimiento dado ($16,06 \pm 0,39$ %) es similar a ese valor, por lo que se consideraría entonces que éste rubro puede ser explotado para la extracción de almidón,

con la subsecuentes disminución de pérdidas post-cosechas, además de promover su comercialización. Pérez y col (1999) señala que el alto contenido de almidón de ésta raíz oscila entre 20 y 25% en base húmeda; estando entonces, el valor de rendimiento obtenido muy cercano a éste, así como el reportado por Marcano (1975) en el que obtuvo un contenido de almidón de base húmeda de 19,76%.

Tabla N° 3. Rendimiento de obtención de almidón nativo de apio criollo a partir de 55g aproximadamente de pulpa.

Peso (g) de pulpa de Apio	Peso (g) de almidón (60 mesh) obtenido	Rendimiento (%)
55,80 ± 3,32	8,76 ± 0,27	16,06 ± 0,39

Media ± Desviación Estándar, n = 3

6.2.1 Composición proximal y pureza del almidón nativo de apio:

En la tabla N° 4 se muestran los valores del análisis proximal realizado al almidón nativo de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). El contenido de humedad que presentó la muestra fue de 9,87 ± 0,35 %. De acuerdo a lo obtenido, éste valor se encuentra por debajo de lo reportado por Pérez y col (1999), en donde, el contenido de humedad que determinaron fue del 14%, así como por encima del reportado por Marcano (1975), en donde encontró que la muestra de almidón de apio que analizó presentó una humedad de 5,43 %. Por su parte, Rodríguez y col (2005), caracterizando algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón de arracacha, encontró en las muestras que analizó, un contenido de humedad entre el 7 y 10 %.

Tabla N° 4. Composición proximal y pureza del almidón nativo de apio

Composición proximal y pureza	Almidón nativo (b.s)
Humedad ₁	9,87 ± 0,35
Proteína cruda _{1, 2}	N.D
Grasa cruda ₁	0,29 ± 0,008
Cenizas ₁	0,122 ± 0,01
Pureza	99,59 ± 0,012

Media ± Desviación Estándar, n = 3; 1 = % base seca; 2 = N x 6,25; N.D = No Detectado

El contenido de humedad del almidón es necesario para garantizar un tiempo de almacenamiento prolongado del mismo. Radley (1976) señala que, un alto contenido ($\geq 14-15\%$) de éste parámetro puede permitir el crecimiento de mohos y otros microorganismos que afecten sus propiedades, además de que dicha humedad varía entre los diferentes almidones y sus fuentes. El autor establece que un contenido de humedad mantiene al producto estable alrededor del 13%, siendo éste valor, el máximo permitido por la Norma Venezolana COVENIN 2300: 85. Por lo tanto, puede decirse, que la humedad presente en el almidón nativo de apio se encuentra dentro del rango o máximo permitido por dicha norma.

La determinación del contenido de proteínas en los alimentos es posible por la cuantificación del nitrógeno orgánico total presente, debido a que es éste elemento, por el que dichas proteínas se componen mayoritariamente. Para lograr su determinación, éste elemento debe pasar por una serie de reacciones en el que, al final, sea transformado en una sal inorgánica de amonio. Sin embargo, como el nitrógeno puede provenir de otros compuestos de origen inorgánico, Kirk y col (2004) señalan que para la transformación del contenido de nitrógeno total en proteína cruda se multiplica por unos factores (la mayoría

6.25, para alimentos sin referencia) en el cual se basa en el contenido promedio de nitrógeno de las proteínas encontradas en alimentos particulares. Pero en éste estudio no se pudo cuantificar el contenido de proteínas en el almidón nativo de apio criollo, porque no fue detectado según el método utilizado. Sin embargo, Pérez y col (1999) reporta un contenido de proteína cruda para éste almidón de $0,05 \pm 0,01\%$, por lo que se le podría atribuir el resultado obtenido en éste estudio, a la sensibilidad del equipo, el cual no fué suficiente para realizar la cuantificación y/o a la eficiencia del método de extracción.

La mayoría de los alimentos presentan sustancias grasas que pueden estar asociados a las proteínas y los carbohidratos, aunque sea en muy pequeñas cantidades. Pérez y col (1999) señalan que la grasa consolidada al almidón es un componente situado probablemente dentro de la estructura del gránulo e inclusive se le denomina como lípidos amiláceos. En la determinación de grasa cruda del almidón nativo de apio se obtuvo un valor de $0.29 \pm 0,008\%$, que al compararlo con el obtenido por Pérez y col (1999), el cual reportó un valor de $0,25 \pm 0,02\%$, se puede observar que se encuentra muy cercano, y por debajo del reportado por Marcano (1975) el cual encontró un contenido de grasa de $0,74\%$, con lo cual podría inferirse que la extracción fue más eficiente, pero que también debe tomarse en cuenta, que a pesar de ser una misma fuente botánica, los métodos agronómicos, condiciones ambientales, etc., pueden afectar la composición de los cultivos.

La determinación de cenizas en el almidón nativo de apio de $0.122 \pm 0,01\%$, está muy cerca al reportado por Pérez y col (1999), el cuál fué de $0,13 \pm 0,01\%$. Este parámetro permite conocer las condiciones en que ha sido

tratada la muestra en el momento de su extracción o el agua empleada para ello, debido a que los almidones en general contienen cantidades minoritarias de material inorgánico, además que permite establecer la calidad y la pureza de los mismos.

La determinación de la pureza del almidón es determinada por la composición proximal del mismo, en cuanto a proteína cruda, grasa cruda y cenizas. Si estas características asociadas al almidón presentan valores relativamente altos, la pureza del mismo puede verse disminuida. Por lo que, un alto grado de pureza está relacionado con la eficiencia en la extracción del almidón, siendo el resultado obtenido en este estudio para el almidón nativo de apio ($99,59 \pm 0,012 \%$), superior al reportado por Pérez (1999); quien reportó un valor de 97,87%. Sin embargo, puede resaltarse que aunque difieren un poco, la pureza ambas determinaciones fué alta.

6.2.2 Parámetros físicos y químicos determinados del almidón nativo de apio

Las características físicas y químicas se pueden observar en la tabla N° 5. En ésta se puede apreciar que el almidón nativo presentó un pH de $5,79 \pm 0,10$ considerándose que es relativamente característico de los almidones, aunque encontrándose por debajo del valor reportado por Pérez (1999) con un valor de 7, pero mucho mayor que el reportado por Marcano (1975) el cual encontró un valor de pH de 4,05. El pH de los almidones también depende del método de extracción; es decir, si en este se utilizó ácido para la extracción o si se incluye en el mismo la neutralización de la muestra. En general, el pH del

almidón nativo de apio en estudio resultó ser relativamente alto, puesto que, por lo general, el pH de un gran número de almidones nativos, se ajustan a un valor cercano a 5 (AACC, 2003).

Tabla N° 5. Características físicas y químicas del almidón nativo de apio criollo

Análisis	Almidón nativo (b.s)
pH	5,79 ± 0,10
Acidez ₁	4,43 x 10 ⁻⁴ ± 2,80 x 10 ⁻⁷
Consistencia del gel ₂	> Frente de corrida
Número de álcali ₃	404,62 ± 0,39

Media ± desviación Estándar, n = 3; 1 = expresado como miliequivalentes de NaOH/g; 2 = expresada en mm; 3 = expresado en miliequivalentes de H₂SO₄/g.

Por otra parte, la acidez que presentó el almidón nativo de apio fué de 4,43 x 10⁻⁴ ± 2,80 x 10⁻⁷ meq NaOH/g, estando por encima del reportado por Pérez (1999) el cual fué de 3 x 10⁻⁴ meq NaOH/g. Ambos resultados presentan leve diferencia, mostrando entonces, el almidón nativo de apio, la característica de ser poco ácido, esto favorecería su conservación en el tiempo. El hecho de una baja acidez también corrobora la eficiencia del método de extracción y secado.

La determinación de la consistencia del gel es una medida de la firmeza que pueden presentar los mismos siendo empleado como un indicador sensible de la viscosidad en pasta fría, señalado por Cagampang y col (1973). Estos autores señalan que el método es válido, o la sensibilidad es mucho mayor, cuando las concentraciones de amilosa en el gránulo van de un 24 a 30%. Con respecto a eso, Zhou y col (1998) indicaron que la consistencia está asociada con la cantidad en la que se encuentren los biopolímeros: amilosa y

amilopeptina, pero más al contenido de amilosa, debido a que ésta molécula es capaz de permitir la formación de la red en los geles otorgándole firmeza durante el enfriamiento. Por lo que los autores afirman que mientras mayor sea la cantidad a la que se encuentra esta molécula mayor consistencia tendrá. En la tabla N° 5 se puede observar que el almidón nativo de apio resultó ser poco viscoso a la concentración indicada por el método, debido que la distancia recorrida fué mayor al frente de la misma, pudiendo inferirse entonces que la cantidad a la que se encuentra la amilosa en el gránulo de éste es menor de 24%, aunque cabe destacar, que otra posible causa de que el almidón nativo de apio se observara muy fluido en frío, es que haya sido afectado por el tratamiento alcalino.

Otra propiedad o característica importante de los almidones es el color. Pérez (1994) señala que el color es un parámetro de identidad de los almidones con el cual se puede predecir la efectividad del proceso de extracción y presencia de algunos contaminantes.

En el Manual Hunter Lab. (2001) se señala que el espacio de color Hunter L^* , a^* , b^* es un espacio de color rectangular de tres dimensiones basada en la teoría de colores opuestos (ésta teoría dice que las respuestas de los conos rojo, verde y azul se re-mezclan en sus codificadores opuestos, a medida que se desplazan a lo largo del nervio óptico hasta el cerebro)., El eje L^* (índice de claridad y luminosidad) es uno de ellos, donde el valor 100 representa al blanco, mientras que el 0 representa el color negro; el eje a^* (Matiz, indica la longitud de onda predominante) donde los valores positivos son rojos y los valores negativos son verdes; y por último, el eje b^* (indica la intensidad del color) donde los valores positivos son amarillos y los negativos

son azules. El valor de L^* para el almidón nativo de apio de 99,28, indica que el almidón es, de color blanco; el valor de a^* de $-0,115 \pm 0,007$ (Tabla N° 6), sugiere que el almidón nativo muestra tendencia al matiz verde; mientras que el valor de b^* de $1,52 \pm 0,014$, es indicativo de una tendencia al color amarillo. Podría inferirse la presencia de trazas levemente perceptibles objetivamente de pigmentos del tipo carotenoides y clorofila. Por último, se tiene el Índice de blanco (IB), el cual resultó en un valor de $98,31 \pm 0,0094$. Este resultado es indicativo de que el almidón está muy cercano al blanco total, además que resulta un reflejo de que se realizó un eficiente proceso de extracción.

Tabla N° 6. Parámetros para describir el color del almidón nativo de apio criollo

Parámetro	Almidón nativo
L^*	$99,28 \pm 0,00$
a^*	$-0,115 \pm 0,007$
b^*	$1,52 \pm 0,014$
IB	$98,31 \pm 0,0094$

Media \pm Desviación Estándar, n = 3.

Pérez (1994) señala que el valor reductor es un índice del número de grupos reductores, y con ello, se podría estimar además la longitud de las cadenas de los polímeros que la componen (amilosa y amilopectina), por lo que en los almidones nativos, debe ser generalmente bajo. Ésta metodología se lleva a cabo primeramente con la degradación, en medio alcalino, del almidón; de esta manera los grupos aldehídos terminales experimentan un re-arreglo molecular pasando a formas enólicas intermedias, con la consecuente formación de ácidos orgánicos (Smith, 1967). En resumen, el número de álcali permite cuantificar los ácidos orgánicos formados como un reflejo de los grupos reductores presentes en la suspensión de almidón. Para el almidón nativo de

apio, se obtuvo un valor del número de álcali de $404,62 \pm 0,39$ meq H_2SO_4/g (Tabla N° 5). No se tienen valores de referencia de este parámetro para este rubro.

6.2.3 Microscopía de luz polarizada y Tamaño de partícula (Rayos Láser)

La estructura de los gránulos de almidón está integrada por capas concéntricas de amilosa y amilopectina (distribuidas radialmente). Estos cuerpos son birrefringentes, es decir, tienen dos índices de refracción, por lo cual, cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta”; lo que se debe a que dentro del gránulo se localizan las zonas cristalinas de moléculas de amilosa ordenadas paralelamente a través de los puentes de hidrógeno, así como de las zonas amorfas causadas principalmente por la amilopectina, que no tienen la posibilidad de asociarse entre sí o con la amilosa (Badui, 2006).

En las figuras 8 y 9 se pueden observar las microfotografías obtenidas del almidón nativo de apio criollo, donde no solo se observa la respectiva cruz de malta en cada una, sino también algunas formas, entre ellas: circulares, poliédricas, lentillas, irregulares y oval truncada, con variaciones en tamaño entre 2,2 y 16 μm . Estos valores en tamaño, así como las diferentes formas, presentan cierta concordancia con los obtenidos por Pérez y col (1999) para almidón de apio criollo, los cuales encontraron formas esféricas y oval truncada con diámetros entre 4 y 26 μm ; mientras que las formas reportadas por Rodríguez y col (2005) fueron irregulares, de superficie estriada y de forma globular y poliédrica con tamaños entre 5 y 35 μm . La diferencia entre ellos

podría deberse a las condiciones en las cuales fueron desarrollados los cultivos a pesar de ser una misma fuente botánica.

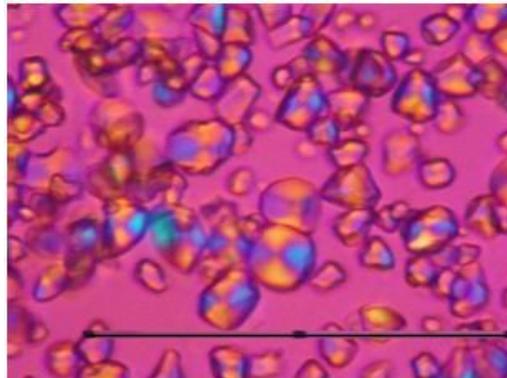


Figura N° 8. Almidón nativo de apio criollo con microscopía óptica de luz polarizada (Aumento: 300X * 5.2)

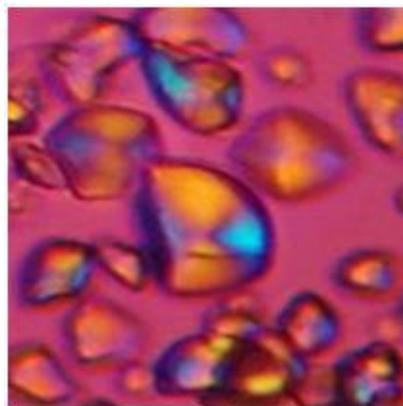


Figura N° 9. Almidón nativo de apio criollo por microscopía óptica de luz polarizada (Aumento: 300X)

Para la determinación del tamaño de los gránulos de almidón nativo de apio se realizó mediante el Granulómetro Malvern UK Master Size Mod. MSS. En dicha determinación se encontraron una amplia distribución de tamaños que se reagruparon en cuatro grupos, los gránulos que presentaron un tamaño inferior a 7 μm , gránulos con tamaños entre 7–20 μm , entre 20–40 μm y superiores a 40 μm , como puede observarse en la figura N° 10.

En la figura N° 10 se observa además, el porcentaje en los que se encontraron los tamaños de grupos seleccionados, para un tamaño inferior a 7 μm , el porcentaje fué de 14,6 %; para un tamaño entre 7–20 μm , el porcentaje fué de 63,6 %; para un tamaño entre 20–40 μm , el porcentaje fué de 20,9 %, y por último, para un tamaño superior a 40 μm , el porcentaje fué de 0,9 %.

Como puede notarse, el mayor porcentaje obtenido para un grupo de tamaño de gránulos en particular fueron para los que se encuentran entre 7–20 μm , el cual, al comparar los resultados obtenidos por el microscopio óptico de luz polarizada y éste grupo de tamaño de gránulos, se tiene que están muy cercanos los valores de los tamaños encontrados.

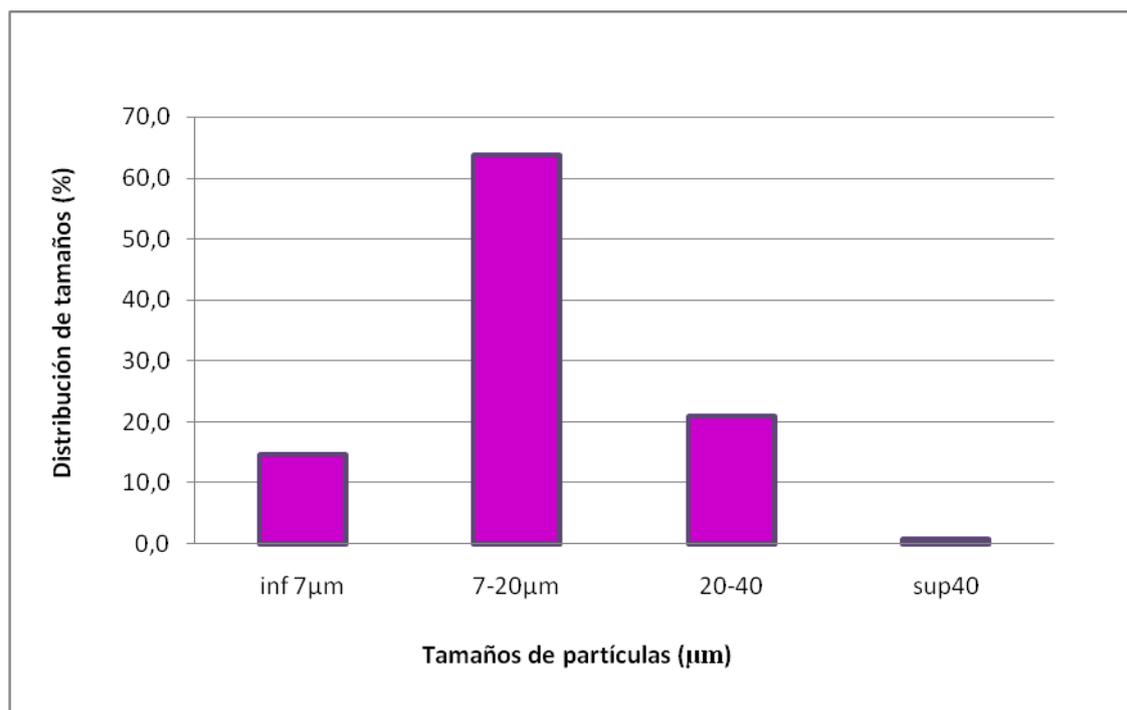


Figura N° 10. Distribución de tamaños de partículas encontrados en almidón nativo de apio por difracción láser

6.2.4 Determinación de las propiedades funcionales del almidón nativo

6.2.4.1 Perfil Amilográfico RVA (Rápido Viscosímetro)

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura está altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen por sus dos polisacáridos constituyentes, pero pueden embeber agua de manera reversible; es decir, pueden hincharse ligeramente con el agua y volver luego al tamaño original al secarse. Sin embargo, cuando se calienta en agua, los gránulos de almidón sufren un proceso denominado gelatinización (Fenema, 2000; Badui, 2006).

La determinación del perfil amilográfico se realizó por medio del Micro-viscoamilógrafo Brabender (RVA), éste es un método bastante simple que permite simular el comportamiento del almidón durante la cocción y el enfriamiento.

En la tabla N° 7 se observan los resultados obtenidos para el almidón nativo de apio criollo y en la figura N° 11, el registro (amilograma) del mismo. Se puede apreciar que la temperatura inicial de gelatinización fue de 59,25 °C, estando muy cercana al valor de la temperatura inicial reportada por Marcano (1975) el cual fue de 63,75 °C y por Pérez (1999) con una temperatura de 60 °C. Cabe destacar que las diferencias en esta característica pueden deberse a las condiciones agronómicas o varietales de las muestras utilizadas. Los almidones luego de alcanzar esa temperatura inicial, comienzan a perder ciertas propiedades como la birrefringencia, por la entrada de agua al gránulo por las zonas amorfas y con ello, el hinchamiento de los gránulos, seguido de un continuo aumento de la viscosidad por solubilización de los mismos, hasta

alcanzar así, el pico de viscosidad máxima (Pérez, 1994; Caraballo, 2011). García y col (1999) señalan que la viscosidad máxima es un índice de cómo se desintegran los gránulos de almidón cuando son sometidos a cocción en presencia de un medio acuoso y por consiguiente, los almidones con altos valores de viscosidad, son menos resistentes a la ruptura, con un mayor poder de hinchamiento y una gran capacidad de lixiviar la amilosa al medio circundante. Para el almidón nativo de apio éste valor fué de 558 UB a una temperatura de 67,3 °C, mientras que el pico de viscosidad máxima alcanzado por Marcano (1975) fué de 500 UB a la temperatura de 87 °C. Asimismo, se observó que el rango de temperatura de gelatinización es muy bajo ($R = 8\text{ °C}$), sugiriendo muy bajo porcentaje de las zonas cristalinas de estos gránulos ya que se alcanza la máxima viscosidad con muy poca temperatura.

Tabla Nº 7. Perfil Amilográfico del almidón nativo de apio

Parámetros	Almidón Nativo
Temperatura inicial de gelatinización _a	59,25
Rango de temperatura de gelatinización _a	59,3 – 67,3
Pico de viscosidad máxima (B) _b	558
Viscosidad a 90 °C (C) _b	396,5
Viscosidad a 90 °C x 7 min (D) _b	340,5
Viscosidad a 50 °C (E) _b	446,5
Breakdown o estabilidad (B-D) _b	219
Setback o asentamiento (E-D) _b	106

a = °C; b = Unidades Brabender (UB)

En la tabla también puede observarse los valores dados para “breakdown” o estabilidad y “setback” o asentamiento. Rasper (1980) señala

que la estabilidad o “breakdown” es la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad obtenida después del período de calentamiento constante, el cual permite evaluar la fragilidad de los gránulos frente al calentamiento continuo y bajo estrés mecánico (Juliano, 1981). Juliano (1981) indica que valores pequeños de éste parámetro (entre 60 – 100 UB) son relativamente pequeños, por lo que establece que esos gránulos presentan fuertes fuerzas internas que los hacen pocos frágiles (ej. Almidones de cereales); mientras que los gránulos muy frágiles producen picos de viscosidad agudos producto de una caída rápida de la viscosidad. El valor registrado de estabilidad o “breakdown” para el almidón nativo de apio fué de 219 UB. Comparando éste valor, con lo establecido por Juliano (1980), podría decirse que estos almidones poseen débiles fuerzas internas que los hacen ligeramente frágiles, lo que corrobora lo planteado anteriormente en relación al rango de temperatura de gelatinización.

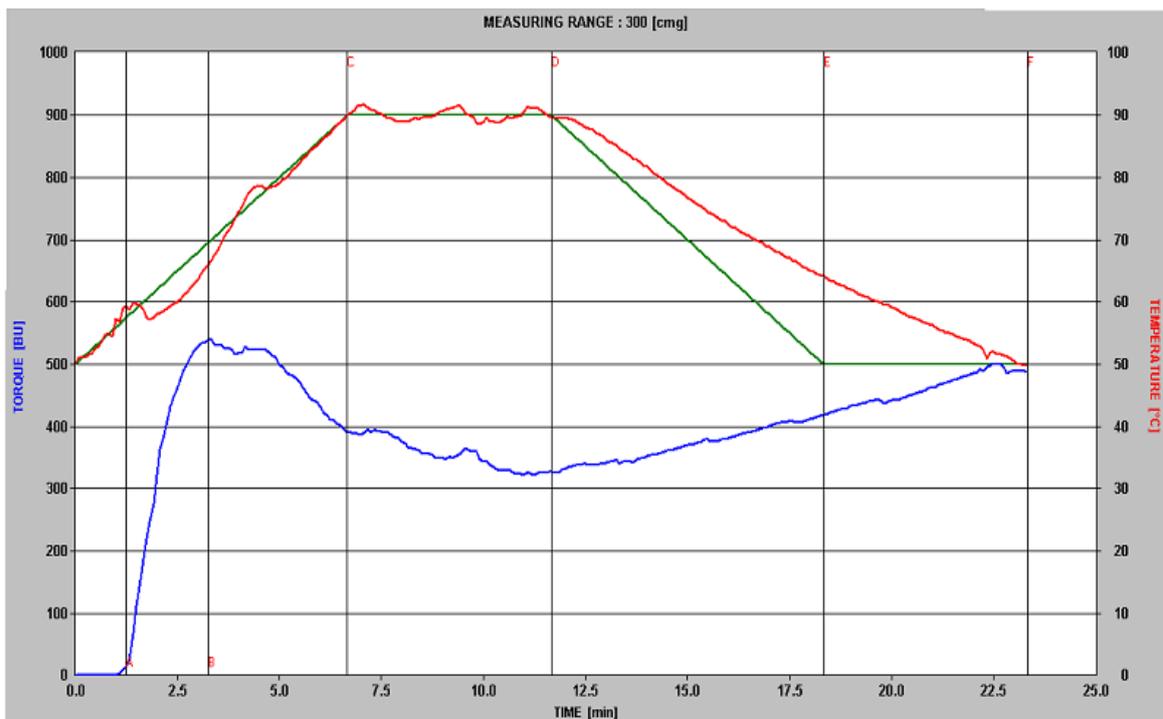


Figura N° 11. Perfil amilográfico del almidón nativo de apio criollo

Por último se tiene el “Setback” o asentamiento; el cual es un índice utilizado para expresar la tendencia a retrogradar y está definido como la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad a 50 °C. Mientras mayor sea el valor de éste índice, mayor será la tendencia de las pastas de almidón a retrogradar debido al incremento de la viscosidad de la suspensión durante el enfriamiento (Rasper, 1980). El valor mostrado en la tabla N° 7 del almidón nativo de apio de 106 UB induce a presentarlo con cierta tendencia a retrogradar. Almidones con alto grado de retrogradación poseen limitación en su uso en productos que requieran ser almacenados bajo condiciones de refrigeración o congelación debido a que se puede producir un proceso de sinéresis, provocando cambios de textura y acelerar el deterioro durante el almacenamiento y distribución de los mismos (Requena, 2010). El almidón de apio aquí estudiado, se puede concluir que posiblemente cause pocos problemas de retrogradación.

6.2.4.2 Contenido de Amilosa y Gelatinización

Cuando el almidón es sometido a calentamiento en presencia de un exceso de agua, experimenta una fase de transición de orden y desorden conocida como gelatinización; la misma que ocurre sobre una gama de temperaturas características dependiendo de la fuente de almidón. Ésta transición de fase se asocia con la difusión del agua en el gránulo, el consumo de agua por la región amorfa, hidratación e hinchamiento radial de los gránulos de almidón, pérdida de birrefringencia, pérdida del orden cristalino, consumo de

calor, despliegue y disociación de las dobles hélices en las regiones amorfas y la lixiviación de la amilosa en las zonas cristalinas (Evans y Heissman, 1982).

Debido a que la gelatinización del almidón es un proceso endotérmico, es muy utilizada la técnica analítica del DSC (Calorimetría Diferencial de Barrido), la cual ha sido definida como una técnica sencilla y rápida que mide tanto la temperatura como la entalpía de gelatinización (Fenema, 2000).

En la tabla N° 8 se presentan los valores para la temperatura inicial y final de gelatinización del almidón nativo de apio, los cuales fueron $55,22 \pm 0,33$ °C y $65,68 \pm 0,68$ °C, respectivamente. Estos resultados obtenidos son coincidentes con los reportados por Rodríguez y col (2005) en el que obtuvo una temperatura inicial de gelatinización de 49 °C y que finalizó a 65 °C. Las pequeñas diferencias entre las temperaturas iniciales de gelatinización podrían ser consecuencias de las características agronómicas aunque sean una misma fuente botánica. Además, se tiene que, al comparar los resultados obtenidos por el DSC con los obtenidos por el RVA, no se observa mucha diferencia en los valores obtenidos, siendo la temperatura inicial de gelatinización por RVA de 59, 25 °C y final de 67,3 °C.

Por otra parte, la entalpía de gelatinización obtenida por DSC fue de $17,44 \pm 0,30$ J/ gramos de almidón (Tabla N° 8), que comparándolo con la energía requerida para llevar a cabo la gelatinización por el reportado por Rodríguez y col (2005), el cual fue de 2,52 J/g, se tiene que el obtenido en este estudio fue alto. Las diferencias encontradas podrían deberse a diferencias en el contenido de amilosa o pueden ser producto de las características de cristalinidad del gránulo (Bello y col, 2000). Otros estudios han determinado

que los valores de la entalpía de gelatinización se pueden ver afectados también por factores tales como forma de los gránulos, porcentaje de gránulos grandes y pequeños, y la presencia de esteres de fosfato (Stevens y Elton, 1971; Yuan y col, 1993).

El DSC, además de determinar las características térmicas de los almidones, determina también el contenido de amilosa presente en los gránulos. El contenido de amilosa obtenido para el almidón nativo de apio en este estudio fué de $18.52 \pm 0,17$ %. Por su parte Rodríguez y col (2005) obtuvo un contenido de amilosa de $17,46 \pm 0,47$ % por el método calorimétrico. Kim y col (1995) señala que la variación en el contenido de amilosa entre los almidones de diferentes y similares fuentes botánicas, en varios estudios, también se podrían atribuir a los distintos procedimientos de aislamientos del almidón y de los métodos de análisis utilizados para determinar el contenido de amilosa. También coincide el bajo rango de temperatura de gelatinización medido con colorimetría de $10,6$ °C.

Tabla Nº 8. Perfiles de gelatinización y contenido de amilosa por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Parámetro	Nativo
Temperatura inicial de gelatinización (°C)	$55,22 \pm 0,33$
Temperatura final de gelatinización (°C)	$65,68 \pm 0,68$
Rango de temperatura de gelatinización (°C)	55,2-65,7
ΔH (J/g)	$17,44 \pm 0,30$
Amilosa (%)	$18,52 \pm 0,17$

Media \pm Desviación Estándar, n = 3.

6.2.4.3 Absorción de Agua, Solubilidad y Poder de Hinchamiento de los gránulos de almidón nativo de apio criollo

La capacidad que tienen los gránulos de almidón de absorber agua representan una característica específica de cada almidón en particular y que depende de ciertos factores, tales como: el tamaño de los gránulos, la relación en la que se encuentren los biopolímeros constituyentes (amilosa y amilopectina), las fuerzas secundarias inter e intramoleculares, la morfología de estos, etc. (Whistler, 1964; Requena, 2010).

El índice de absorción de agua ha sido definido como una medida de la cantidad de agua que puede retenerse dentro de los gránulos de almidón. En donde, si se aumenta la temperatura de una solución de almidón, se aumentará la cantidad de agua absorbida con la consecuente hidratación de los gránulos de almidón por las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles en vista de que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas; la liberación de su contenido interno al medio circundante, esto debido a la disolución de la molécula de amilosa y a la destrucción de la región cristalina. La distribución del agua dentro del gránulo de almidón no es homogénea, ya que se encuentra una mayor cantidad de la misma en las regiones amorfas, que en la región cristalina (Akalu y col, 1998; Badui, 2006).

En la figura N° 12 se puede observar el aumento en la retención de agua presente en los almidones en función de la temperatura entre los 60 y 95 °C, siendo más acentuado entre los 85 y 90 °C. Éste incremento progresivo es debido a que la interacción de los enlaces por los puentes de hidrógeno en las

zonas intermicelares amorfas se debilitan y permiten la entrada de agua, así como también dicha absorción puede estar relacionada con las proporciones de los componentes amilosa y amilopectina que son los responsables de la formación de esas zonas de acuerdo a su organización, y al tamaño relativo que posean los gránulos, puestos que grupos de almidones con un tamaño relativamente pequeño pueden absorber gran cantidad de agua (Singh y col, 2003; Niba y col, 2001).

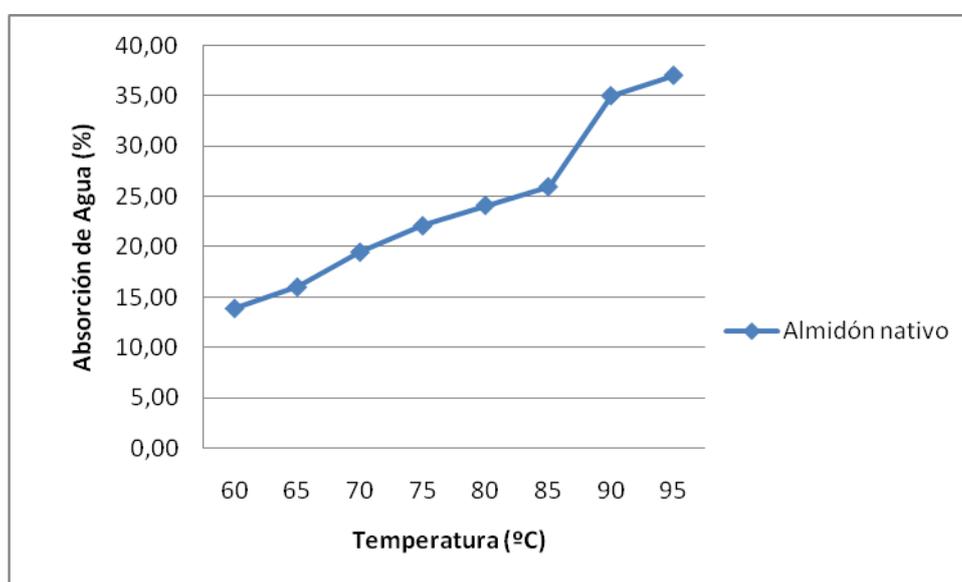


Figura N° 12. Absorción de agua (%) contra Temperatura (°C) del almidón nativo de apio criollo.

Cuando los enlaces de las moléculas de amilopectina comienzan a solvarse por la entrada de agua al gránulo debido al incremento gradual de la temperatura, se va reteniendo el agua, comienzan a hincharse los gránulos y con ello aumentar de volumen. Hari y col (1989) citado por Pereira (2004) y por Clemente, (2005) señala que, a medida que esta fase progresa, se ejerce una tensión interna sobre moléculas adyacentes. Luego el calentamiento adicional, conduce a la disociación 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 (Badui, 2006).

En la figura 13 se puede observar el incremento del poder de hinchamiento a medida que se avanza en temperatura. Observándose más pronunciado entre los 85 y 90 °C. Siendo el poder de hinchamiento la capacidad del almidón a aumentar su volumen ofreciendo menos resistencia de acuerdo a las proporciones de amilosa y amilopectina, así como de otros factores, se tiene que el almidón nativo de apio presenta un poder de hinchamiento relativamente alto con un valor final a los 95 °C de 38,03 g de agua/ 100 gramos de almidón.

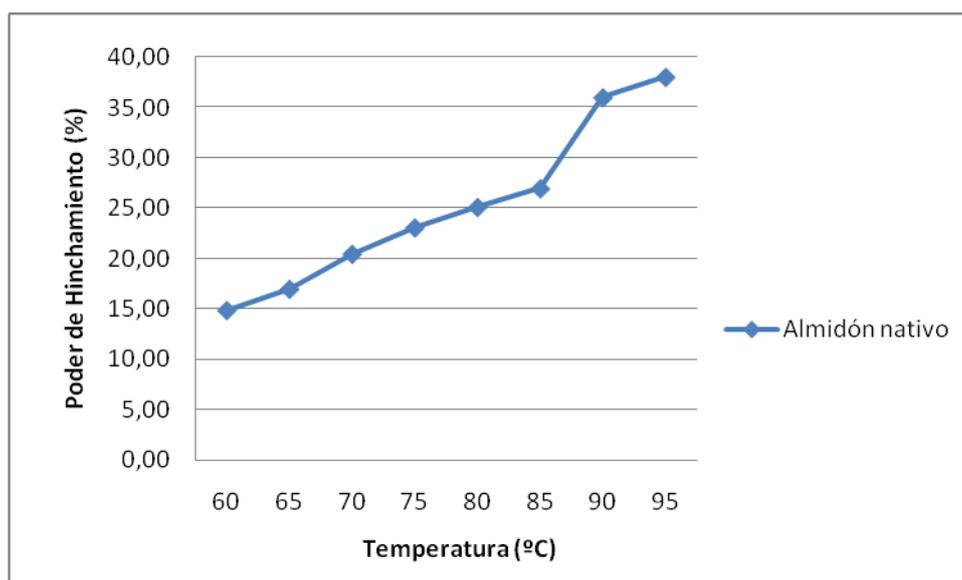


Figura N° 13. Poder de Hinchamiento (%) contra Temperatura (°C) del almidón nativo de apio criollo.

El índice de solubilidad es definido según algunos autores, como la medida, de acuerdo al nivel de solubilidad, de los constituyentes disueltos en una solución por la disociación de los enlaces intermoleculares y la posterior lixiviación de la molécula de amilosa al medio circundante (Akalu y col, 1998).

Singh y col (2003) señalan que el aumento en la solubilidad del almidón, con el consiguiente incremento en la claridad de la suspensión, se ve principalmente como resultado de la capacidad que tengan los gránulos de almidón de hincharse, lo que permite la exudación de la amilosa, además, de que la medida de la lixiviación de solubles dependen también de los contenidos de lípidos en el almidón y la capacidad del mismo en formar complejos lípido-amilosa puesto que dicha interacción evita la salida de la molécula de amilosa.

En la figura 14 se puede observar un ligero incremento de la solubilidad de a medida que se avanza en temperatura, con un incremento pronunciado entre los 90 y 95 °C, lo cual, que también puede estar relacionado con el tamaño del gránulo de almidón, ya que de éste dependerá, en cierto modo, la facilidad de absorber agua del medio circundante, y con esto de disolver sus constituyentes (amilosa y amilopectina).

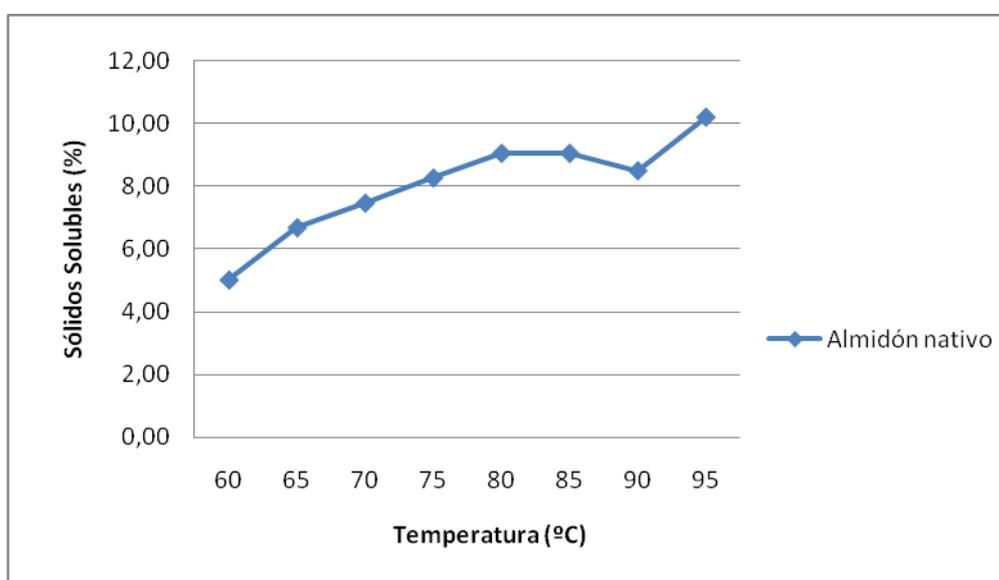


Figura N° 14. Sólidos Solubles (%) contra Temperatura (°C) del almidón nativo de apio criollo

6.3 Almidones tratados con pulsos de luz UV (PL-1) y (PL-2)

El tratamiento de pulso de luz U.V se aplicó a almidones nativos de apio criollo, a dos grupos o lotes extraídos (Lotes 1 y 2), uno proveniente de una primera extracción, específicamente del lote perteneciente al almidón nativo (sin tratamiento) ya analizado; y un segundo lote, al cual se le aplicó el tratamiento directamente. Para diferenciar cada lote se hará mediante las siguientes denominaciones: Almidón nativo: representa una parte del almidón extraído del lote 1 que no fué tratado con pulsos de luz; Almidón PL-1: porción tomada de almidón proveniente del lote 1 que se le aplicó los pulsos de luz; y, Almidón PL-2: almidón obtenido del lote 2 que se le aplicó los pulsos de luz.

El tratamiento aplicado fué de 17 pulsos a una intensidad de 2,5 KW, lo que generaba la afluencia (intensidad de pulsos aplicados por unidad de área) máxima permitida por la *Food and Drug Administration* (FDA) para alimentos que serán consumidos de 12 J/cm².

6.3.1 Composición proximal de los almidones de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2):

Una vez aplicado el tratamiento por pulsos de luz U.V a las muestras de almidones de apio criollo (denominados PL-1 y PL-2), se procedió a realizar los diferentes análisis para determinar si hubo diferencias estadísticamente significativas o no para cada una, al ser comparadas con el almidón nativo sin tratamiento.

Tabla N° 9. Composición proximal y pureza de los almidones tratados con pulsos de luz U.V

Composición	Almidón nativo (b.s)	Almidón (PL-1) (b.s)	Almidón (PL-2) (b.s)
Humedad ₁	9,87 ± 0,35 _a	9,82 ± 0,09 _a	9,61 ± 0,09 _a
Proteína cruda _{1, 2}	N.D	N.D	N.D
Grasa cruda ₁	0,29 ± 0,008 _a	0,29 ± 0,0078 _a	0,22 ± 0,0238 _b
Cenizas ₁	0,122 ± 0,01 _a	0,12 ± 0,039 _a	0,24 ± 0,011 _b
Pureza	99,59 ± 0,012 _a	99,60 ± 0,0110 _a	99,53 ± 0,020 _a

Media ± Desviación Estándar, n = 3; 1 = % en base seca (b.s); 2 = N x 6,25; N.D = No Detectado por el método; Letras iguales (a, b) en la misma fila indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

De acuerdo con la humedad presente en el almidón (PL-1) se puede notar que la aplicación de los pulsos de luz U.V no ejerció, prácticamente, ningún efecto sobre éste parámetro al compararse con el almidón nativo sin tratamiento, esto debido a que el aumento en la temperatura dentro del equipo no fué suficiente como para que se evaporara o desprendieran grandes cantidades de moléculas de agua de la muestra, además de que el tiempo por el que se le aplicó los 17 pulsos fué relativamente corto (unos 7 minutos por bandeja); estando entonces, los valores muy cercanos entre si, donde el almidón nativo sin tratamiento presentó una humedad del $9,87 \pm 0,35$ % mientras que en el almidón (PL-1), la humedad obtenida fué de $9,82 \pm 0,09$ %. De igual manera, al almidón (PL-2) se le había medido la humedad antes de aplicarle el tratamiento, y era $9,658 \pm 0,09$ %; y, una vez sometido a los pulsos de luz U.V, la humedad no varió prácticamente ($9,61 \pm 0,09$ %). Comparando estos resultados estadísticamente, no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Por lo tanto, puede decirse que el tratamiento por pulsos de luz U.V no ejerció ningún efecto en el almidón nativo en seco (Tabla N° 9). Sin embargo, otros métodos de modificación física si podrían tener efecto en ésta característica como lo reportó Pérez (1994) al aplicar los métodos de microondas y deshidratación por doble tambor, quién una reducción del 11,47% a un 7,89 % y 7,64 %, respectivamente.

En cuanto al contenido de proteínas, estos almidones, al igual que el almidón nativo, tampoco resultaron ser detectados por el método utilizado (Tabla N° 9). Sin embargo, la aplicación de un método físico si podría tener efecto en el contenido protéico de almidones que lo presenten en su composición, como lo señaló Pérez (1994), en el que aplicando los métodos de microondas y deshidratación por doble tambor obtuvo una reducción del 1,57 % (presentes en el almidón nativo) a 0,90 y 0,60 % respectivamente, pero todo depende del método y fuente botánica empleada.

De acuerdo con la determinación del contenido de grasa en el almidón tratado con los pulsos de luz U.V (PL-1), no se encontró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) con el almidón nativo, por lo que se considera que tampoco hubo un efecto del tratamiento en éste parámetro. Por su parte, en los almidones (PL-2) si se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), debiéndose esa pequeña diferencia en el contenido de grasa, por provenir de un segundo lote de extracción, el cual pudo tener condiciones agronómicas diferentes a la de los almidones anteriores. Por su parte, Pérez (1994), tampoco encontró diferencias en ésta característica al aplicar los métodos físicos de deshidratación por doble tambor y microondas.

El contenido de ceniza en el almidón de apio criollo tratado con los pulsos de luz (PL-1) fué $0,12 \pm 0,039$ %, donde resultó ser igual al almidón nativo sin tratamiento, el cual fué $0,122 \pm 0,01\%$, lo que resultó entonces que no hubo efectos por los pulsos de luz en este parámetro, y que estadísticamente se comprobó que no son diferentes ($p \leq 0,05$). Esto podría explicarse además, porque el tratamiento es físico, lo que no conllevaría a una adición de compuestos en la muestra, como sucedería cuando el tratamiento a los almidones es de manera química (como por ejemplo por acetilación, fosfatación, metilación, entre otros), en el cual se podrían añadir grupos químicos que causen algún incremento en el contenido de cenizas, como lo señalan Sívoli (1995) y Caraballo (2011). En el almidón (PL-2), el contenido de cenizas fué $0,24 \pm 0,011\%$, el cual resultó ser mayor que los dos anteriormente explicados, pero esto se debe a que pertenece a un segundo lote de extracción, y que posiblemente las condiciones agronómicas para cada lote fueron diferentes, por lo que el valor fué un poco más alto; y por lo que estadísticamente resultó presentar una diferencia significativa ($p \leq 0,05$) con respecto al almidón nativo sin tratamiento (Tabla N° 9).

Para finalizar esta parte, en la pureza de los almidones, entre el nativo y el tratado por pulsos de luz U.V (PL-1), no mostraron diferencias estadísticamente significativas, mientras que con el almidón tratado con los pulsos de luz U.V (PL-2) si se observa cierta diferencia, pero es debido a lo ya antes explicado (Tabla N° 9).

6.3.2 Parámetros físicos y químicos de los almidones de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V

El pH y la acidez forman parte importante en la calidad de los productos alimenticios, ellos en conjunto permiten determinar la estabilidad de los mismos actuando como indicadores de daños que estos puedan sufrir, ya sean de tipos físicos, químicos o microbiológicos (Requena, 2003).

En la determinación del pH (Tabla N° 10) se encontró que el almidón (PL-1) fué de $5,68 \pm 0,0354$ mientras que el del almidón (PL-2) fué de $4,86 \pm 0,0737$. Éste último se encontró un poco por debajo porque, aunque pertenezcan a la misma fuente, las condiciones de cultivo son diferentes, por lo que difieren en este parámetro. Además, se puede corroborar que no hay efecto del tratamiento porque el pH del almidón (PL-1) es prácticamente, muy similar al almidón nativo sin tratamiento, perteneciendo estos al mismo lote de extracción, por lo que, además, no se encontró diferencias estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$). En cuanto al contenido de acidez, el almidón con tratamiento (PL-1) no mostró diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$) con el almidón nativo, por lo que el tratamiento en éste parámetro no tuvo algún efecto. La diferencia observada en el almidón (PL-2) se debe a características propias presentes en ese almidón.

La determinación de la consistencia del gel es una característica importante en la evaluación de los geles que forman los almidones, en el que generalmente, este parámetro se asocia con el contenido de amilosa del almidón al enfriarse y se relaciona también con las características del gel que presenta cada especie botánica (Guzmán, 2011). En los resultados obtenidos

para éste parámetro, los almidones con tratamiento (PL-1) y (PL-2) no mostraron cambio alguno al compararlos con el almidón nativo sin tratamiento, no presentando entonces diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$), siendo la muestras muy fluidas, debido a que el corrido fue mayor a dicho frente de corrida y que puede observarse en la tabla N° 10. Pero también se puede acotar, que, como ocurrió con el análisis en el almidón nativo sin tratamiento, posiblemente pudo haber sido afectada por la reacción alcalina que se produce.

Tabla N° 10. Análisis físicos y químicos de los almidones de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V (PL-1 y PL-2)

Análisis	Almidón nativo (b.s)	Almidón (PL-1) (b.s)	Almidón (PL-2) (b.s)
pH	5,79 ± 0,10 _a	5,68 ± 0,0354 _a	4,86 ± 0,0737 _b
Acidez₁	4,3x10 ⁻⁴ ± 2,8x10 ⁻⁷ a	3,7x10 ⁻⁴ ± 1,3x10 ⁻⁴ a	1x10 ⁻³ ± 1x10 ⁻⁴ _b
Consistencia del gel₂	> Frente de corrida a	> Frente de corrida a	> Frente de corrida a
N° Álcali₃	406,62 ± 0,39 _a	404,76 ± 1,86 _a	387,45 ± 0,18 _b

Media ± Desviación Estándar, n = 3; 1 = meq de NaOH/g; 2 = mm; 3 = meq de H₂SO₄/g; Letras iguales (a, b) en la misma fila indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

La determinación del número de álcali representa una evidencia de despolimerización de los componentes presentes en los gránulos de almidón cuando han sido tratados con métodos que afectan su estructura interna. Sin embargo, la aplicación de los pulsos de luz U.V no ejerció ningún efecto sobre los almidones nativos en seco tratados como puede observarse entre los almidones PL-1 y nativo sin tratamiento; sin embargo, la diferencia en PL-2 puede deberse a condiciones de cultivo desarrolladas en ese rubro.

En la determinación del color de los almidones de apio criollo (PL-1) y (PL-2), presentes en la tabla N° 11, se encontró una leve disminución en el índice de luminosidad y claridad de las muestras de almidón (L^*) con respecto al almidón nativo, el cual tuvo un valor de 99,28 % (tendencia al color blanco), siendo los valores de las muestras, para PL-1, 97,105 y para PL-2 fue 97,75. Aunque estos valores se encuentren muy cercanos al dado por el almidón nativo puede observarse una pequeña diferencia en éste parámetro. En cuanto al matiz “ a^* ” para los almidones nativos sin tratamiento y tratados con los pulsos de luz U.V (PL-1) tienden al color verde, mientras que los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-2) tienden a un matiz rojo ligeramente, la cual puede deberse al método de extracción realizado y/o resto de algún pigmento. Para la intensidad del color (b^*), los almidones nativos sin tratamiento y tratados con pulsos de luz (PL-1) mostraron una ligera tendencia al color amarillo mientras que el almidón tratado con los pulsos de luz U.V (PL-2) presentó una intensidad un poco mayor con la misma tendencia al color amarillo. Por último, el Índice de Blanco (IB) presentó diferencias en los almidones PL-1 y PL-2, resultando más bajos que el almidón nativo sin tratamiento. Por lo que puede observarse, en éste parámetro hubo un ligero efecto de los pulsos de luz aplicados, observándose un poco más opacos los almidones tratados, aunque pertenezcan a lotes diferentes, corroborando un poco entonces cambios producidos.

Tabla N° 11. Parámetros que describen el color de los almidones de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V (PL-1 y PL-2)

Parámetro	Almidón nativo	Almidón (PL-1)	Almidón (PL-2)
L*	99,28 ± 0,00 _a	97,105 ± 0,12 _b	97,75 ± 0,00 _c
a*	-0,115 ± 0,007 _a	-0,145 ± 0,007 _b	0,195 ± 0,007 _c
b*	1,52 ± 0,014 _a	1,21 ± 0,014 _b	2,72 ± 0,00 _c
IB	98,31 ± 0,0094 _a	96,86 ± 0,11 _b	96,46 ± 0,0004 _c

Media ± Desviación Estándar, n = 3; Letras iguales (a, b, c) en la misma fila indica que no existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$).

6.3.3 Características morfométricas de los almidones de apio criollo tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2)

6.3.3.1 Microscopía de luz polarizada

De acuerdo a la microscopía realizada a los almidones tratados con pulsos de luz U.V, se puede observar, en las figuras 15 (perteneciente a la microscopía de luz polarizada de los almidones (PL-1)) y figura 16 (perteneciente a la microscopía de luz polarizada de los almidones nativos (PL-2)), que no hubo un cambio en la estructura, tanto interna como externa, de los gránulos de almidón al aplicar los pulsos de luz U.V, la cual se hace evidente porque se pueden observar los gránulos con sus respectivas formas físicas y además con la típica cruz de malta, es decir, no hay pérdida de la birrefringencia. Esto puede corroborar algunos de los resultados anteriores mostrados, en el que la cristalinidad de los almidones se mantiene, no hay ruptura o alguna despolimerización de las moléculas de amilosa, o ligeras pérdidas de la formas físicas, como suele ocurrir con otros métodos de

modificación física como la irradiación gamma o microondas (Pérez, 1994), y además de que en estos resultados también pudo influir un bajo poder de penetración por parte del tratamiento de pulsos de luz U.V aplicado en los almidones secos. En cuanto a los tamaños que presentaron estos almidones, fueron los mismos que para el almidón nativo sin tratamiento, es decir, entre 2,2 μm , el cual es el tamaño mínimo encontrado en gránulos pequeños; y 16 μm , el cual representó el tamaño máximo en los gránulos más grandes.

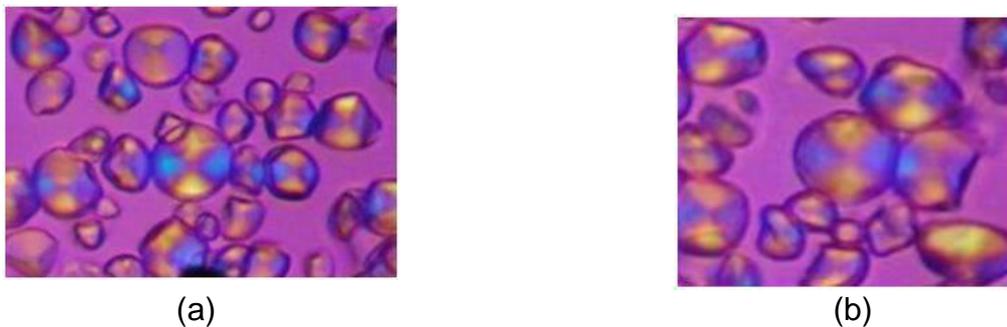


Figura N° 15. Microscopía de luz polarizada a los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) (Aumento: 300X*3.1)

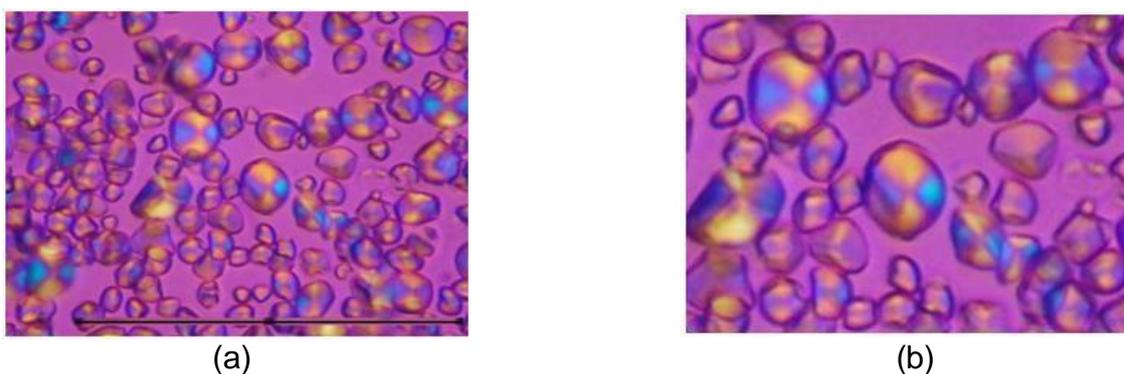


Figura N° 16. Microscopía de luz polarizada a los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-2) (Aumento: 300X*3.1)

6.3.4 Propiedades funcionales de los almidones tratados con pulsos de luz U.V

6.3.4.1 Perfil Amilográfico de los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2) por RVA

El almidón presenta un comportamiento de viscosidad único con el cambio de temperatura, la concentración y la tasa de corte (Nurul y col, 1999). Esto debido a que las características reológicas de los almidones dependen de las proporciones de amilosa y amilopectina, de su distribución en el interior del gránulo, y también de la composición química que presenten dichos gránulos.

Los patrones de viscosidad de los almidones que se obtienen a través del viscoamilográfico Brabender, Según Matos (1996) dependen también de la extensión del hinchamiento de los gránulos, de la resistencia a la disolución de los gránulos hinchados por efectos del calentamiento o fragmentación por corte, y de la tendencia de los gránulos disueltos a retrogradar.

En la tabla N° 12 se encuentran los valores promedios del perfil amilográfico determinado para los almidones tratados con los pulsos de luz U.V (PL-1 y PL-2).

Singh y col (2003) señala que la temperatura de gelatinización es un índice del ordenamiento (asociación) intergranular, por lo que mientras mayor sea éste valor, mayor será el grado de asociación entre las macromoléculas en el interior del gránulo de almidón. Para los almidones tratados con los pulsos U.V (PL-1) se puede observar muy poca, o no diferencia, en los valores obtenidos en la temperatura inicial de gelatinización con la muestra de almidón nativo sin tratamiento, siendo estos valores 60,0 °C y 59,25 °C,

respectivamente; estas temperaturas pueden decirse que son bajas, pudiéndose inferir entonces, que se requiere poca energía para este proceso y que además estos almidones poseen bajo contenido de amilosa ($18.52 \pm 0,17$ %), como lo muestra Juliano (1992) en el que hace una asociación de acuerdo al contenido de amilosa en almidones de arroz, como sigue: cera (0 – 2%), muy bajo (5 – 12%), baja (12 – 20%), intermedio (20 – 25%), y de alto contenido (25 – 33%).

Una vez alcanzada ésta temperatura, los gránulos se continúan hinchando y disgregando al medio, moléculas de amilosa, alcanzando una viscosidad máxima a una temperatura dada; que para el almidón tratado con pulsos de luz (PL-1) fue 561,5 UB a una temperatura de 67,1 °C, que al compararla con el almidón nativo sin tratamiento, el cual alcanzó una viscosidad máxima de 558 UB a una temperatura de 67,3 °C, se puede notar que no hubo diferencias entre las correspondientes temperaturas y muy poca o no diferencia en la viscosidad máxima alcanzada. Situación similar se presenta con al almidón (PL-2), en el que por provenir de un lote de extracción diferente, difiere un poco tanto en la temperatura de gelatinización inicial y temperatura de gelatinización máxima como en la viscosidad, de las del almidón nativo sin tratamiento como de las del almidón (PL-1), como se muestra en la tabla N° 12. Pérez y col (1999) presentó valores de temperatura de gelatinización inicial muy similares a la obtenida, siendo un valor de 60 °C.

En vista de que el Breakdown mide la fragilidad de los almidones frente al calentamiento, mientras mayor sea este valor menor será la estabilidad frente a las fuerzas de corte durante el período de calentamiento (Rasper, 1982). La importancia de este índice radica en que permite predecir el

comportamiento de las suspensiones de almidón bajo condiciones de calentamiento constante y sometidas a fuerzas de corte, y según esto, este valor puede dar información acerca del uso que éste podría tener en productos alimenticios (Anchundia, 2005). En la tabla N° 12 se muestra un valor de Breakdown o estabilidad para el almidón tratado con pulsos de luz U.V (PL-1) el cual muestra un valor de 219,5 UB y que no difiere en nada al obtenido por el almidón nativo sin tratamiento, el cual fue de 219 UB. Estos valores son relativamente altos, según lo reportado por Juliano (1981), quien establece que los almidones son estables en este parámetro a valores entre 60 y 100 UB. Por lo tanto, puede decirse, que los gránulos de almidón de arracacha presentan débiles fuerzas internas, lo que los hace muy frágiles en períodos de corte mecánico. Para los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-2) también se encontró que son muy frágiles, según ya lo descrito, por tener un valor de Breakdown de 168 UB, y que la diferencia de los otros dos puede deberse a que difieren en su organización intramolecular (disposición de las macromoléculas en el gránulo), por lo que dan valores diferentes para éste parámetro.

Por último, se tiene el Setback o asentamiento, el cual es un índice utilizado para expresar la tendencia a retrogradar de los almidones, donde, mientras mayor sea el valor de éste índice, mayor será la tendencia de retrogradar del almidón en estudio (Segovia, 2010). En la tabla 12 se puede observar que los valores para éste parámetro, tanto para el almidón nativo sin tratamiento y los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1 y PL-2) fueron 106 UB; 106 UB y 149 UB, respectivamente. Se puede notar que estos almidones presentan una ligera tendencia a retrogradar.

Se puede inferir que el tratamiento de pulsos de luz U.V no alcanzó un efecto en este parámetro debido a un bajo poder de penetración, a una estructura bien organizada de los gránulos de almidón y fuerte envoltura granular.

Tabla Nº 12. Perfil amilográfico de los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2)

Parámetros	Almidón Nativo	Almidón (PL - 1)	Almidón (PL - 2)
Temperatura inicial de gelatinización (°C)	59,25	60,0	58,05
Rango de temperatura de gelatinización (°C)	59,3 – 67,3	60 – 67,1	58,05 - 77,1
Pico de viscosidad máxima (B) (UB)	558	561,5	484
Viscosidad a 90 °C (C) (UB)	396,5	425	351,5
Viscosidad a 90 °C x 7 min (D) (UB)	340,5	345	314
Viscosidad a 50 °C (E) (UB)	446,5	449,5	469
Breakdown o estabilidad (B-D) (UB)	219	219,5	168
Setback o asentamiento (E-D) (UB)	106	106	149

6.3.4.2 Absorción de Agua, Solubilidad y Poder de Hinchamiento de los gránulos de almidón de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) tratados con pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2)

Es importante el índice de absorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad, ya que suministra información acerca de la suspensión almidón – agua cuando son sometidas a cocción. A temperatura ambiente, los gránulos de almidón no se solubilizan en agua debido a su estructura semicristalina y a

las interacciones tipo puentes de hidrógeno que se establecen entre los polímeros de glucosa que conforman la molécula de almidón (Anchundia, 2005; Badui, 2006). A medida que la temperatura aumenta, los gránulos de almidón absorben agua, se hinchan y posteriormente el material intragranular es liberado al medio circundante (Segovia, 2010).

En la figura N° 17 se presenta el poder de hinchamiento de los gránulos de almidón nativo sin tratamiento y con tratamiento de los pulsos de luz U.V (PL-1) y (PL-2). En esta figura se puede observar que para el almidón nativo sin tratamiento hay un incremento continuo del hinchamiento del gránulo, desde los 60 °C hasta los 85 °C; a partir de allí se acentúa hasta los 90 °C y se nota nuevamente ligera la capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón, con un máximo poder de 38,03 g de agua/ g de almidón. Al comparar este resultado con el obtenido con el almidón (PL-1) se puede observar una ligera disminución en la capacidad de hincharse a lo largo del rango de temperatura establecido por el método, con una máximo de 36,83 g de agua/ g de almidón, y situación semejante se presenta con el almidón (PL-2) con respecto del nativo sin tratamiento, con un máximo de hinchamiento de 33,57 g de agua/ g de almidón, difiriendo del resto, posiblemente por las diferencias agronómicas de la fuente botánica; sin embargo, al realizar el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), tanto entre el almidón nativo sin tratamiento con en el almidón tratado con los pulsos de luz U.V (PL-1) así como con el almidón (PL-2) para éste parámetro, a pesar de pertenecer este último a un lote diferente, pudiéndose explicar dichas diferencias, a que el tratamiento por los pulsos de luz posiblemente permitió una mayor asociación de los enlaces a nivel de las moléculas de amilopectina,

que por lo general, son las se presentan con mayor frecuencia hacia la periferia, causando entonces una menor capacidad a los gránulos de almidón de hincharse a la largo del rango de temperatura.

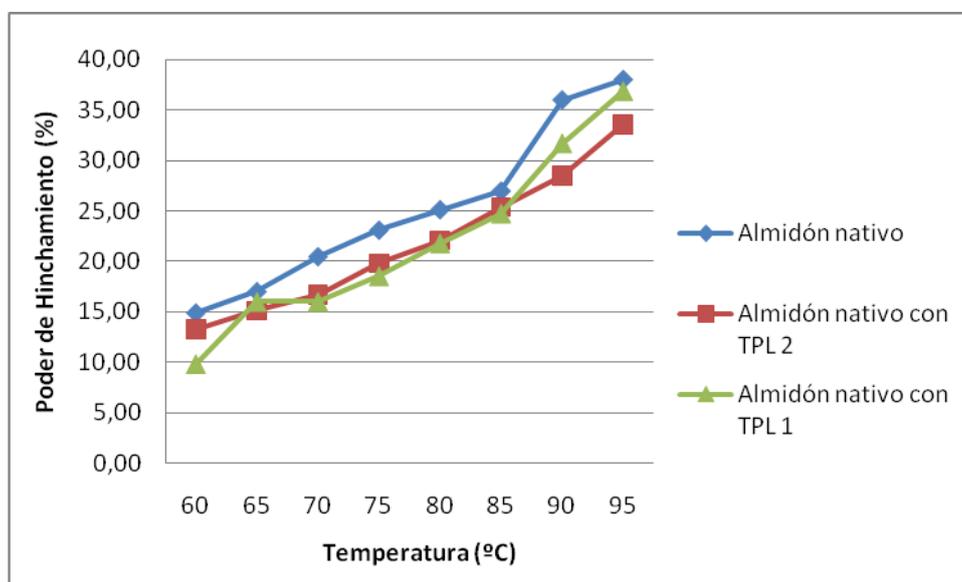


Figura N° 17. Poder de hinchamiento de los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1 y PL-2)

En la figura N° 18 se presentan los resultados obtenidos para el índice de absorción de agua del almidón nativo sin tratamiento así como de los almidones tratados con pulsos de luz U.V. En esta figura se puede observar un ligero incremento de la absorción de agua en el almidón nativo sin tratamiento desde los 60 °C hasta los 85 °C; a partir de allí se hace más pronunciada la curva en dicha absorción hasta los 90 °C y continua, pero ligeramente hasta los 95 °C con un máximo de absorción de agua de 37,03 g de agua/ g de almidón. Al comparar este resultado con el obtenido por el almidón tratado con pulsos de luz U.V (PL-1) se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$). Se puede observar un incremento continuo en la absorción de agua a los diferentes valores de temperatura, pero menor a la presentada por el almidón

nativo sin tratamiento, pudiendo deberse a un posible reforzamiento de los enlaces internos en las moléculas, con un máximo de absorción de agua de 35,83 g de agua/ g de almidón.; y la diferencia del almidón (PL-2) con el almidón nativo sin tratamiento puede deberse a características propias del almidón o al igual que PL-1, mostrar una muy pequeña resistencia a la absorción. Bou Rached y col (2006) señalan que la capacidad de absorción de agua de los gránulos es característica específica de cada almidón y depende de factores, como el tamaño de los gránulos, relación amilosa/ amilopectina, fuerzas inter e intramoleculares, entre otras. Además de que las variaciones en la capacidad de absorción de agua puede estar relacionada con la existencia de porciones diferentes de regiones cristalinas y amorfas dentro del gránulo de almidón, siendo las zonas amorfas las que absorben más agua (Segovia, 2010).

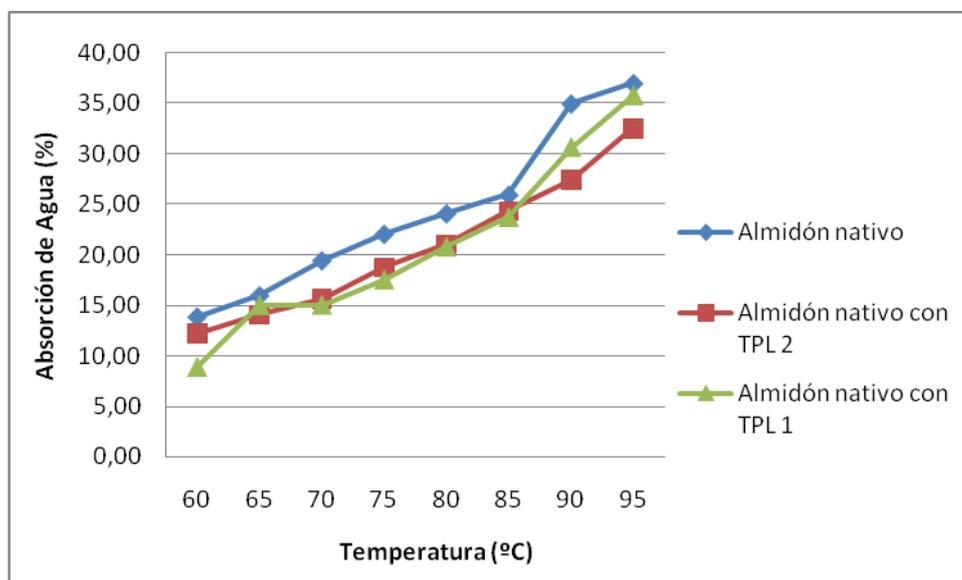


Figura N° 18. Absorción de agua obtenida para los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1 y PL-2)

En la figura N° 19 se muestran los valores obtenidos de sólidos solubles para el almidón nativo sin tratamiento y los almidones tratados con pulsos de luz U.V. Tanto para el almidón nativo sin tratamiento como para el almidón con tratamiento (PL-1) se observan diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de los sólidos lixiviados en ese rango de temperatura, siendo el mayor valor del almidón nativo sin tratamiento de 10,19 % y de los almidones tratados con los pulsos de luz (PL-1) de 8,38%, y que pudiera deberse esa disminución, a que los pulsos de luz U.V, al hacer un reforzamiento de los enlaces, se ve afectada la salida de moléculas de amilosa de bajo peso molecular del gránulo. En el almidón PL-2 se observa un mayor porcentaje de sólidos solubles debido que a pudiera poseer un contenido mayor de amilosa que el correspondiente almidón nativo sin tratamiento. Sin embargo, las diferencias entre ellas son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

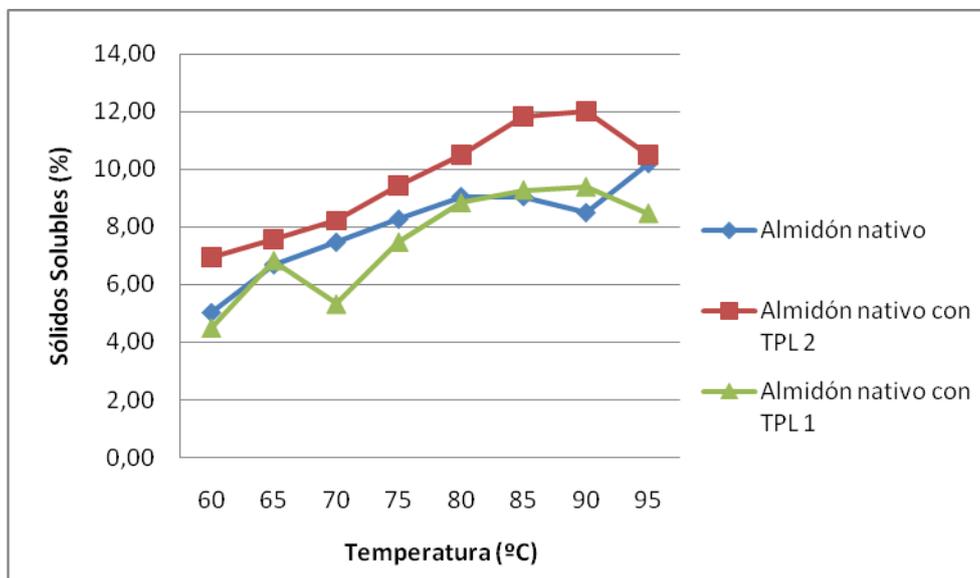


Figura N° 19. Solubilidad de los almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-1y PL-2)

6.4 Elaboración de la harina de apio criollo y determinación de sus parámetros

6.4.1 Elaboración de la harina de apio

La harina es un producto obtenido generalmente de la molienda a partir de diferentes fuentes botánicas, llevadas a contenidos óptimos de humedad para su almacenamiento y adecuada conservación. Rodríguez y col (2000) señala que en el caso de arracacha, la producción de harina es una de las mejores posibilidades de conservación de sus características nutricionales, dada la alta perecibilidad de sus raíces, cepas y colinos. Además, afirma que las harinas se pueden utilizar para alimentación humana y animal, productos congelados o empacados al vacío o para derivados, como sustituto de otras harinas para la elaboración de panes, pastas, espesantes, extensor de sopas, saborizante, como ingrediente de sopas instantáneas, condimentos, papillas para bebés y dulces.

En la elaboración de harina de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) se obtuvo un rendimiento de 23,17 % y una eficiencia de 0,92 como puede observarse en la tabla N° 13. El rendimiento y la eficiencia obtenida se considera que es alta para este tipo de materia prima, debido a la naturaleza de la misma, puesto que posee un alto contenido de humedad, por lo que, la cantidad de sólidos totales resulta encontrarse en una proporción menor, pero aun así es alta, además que, un reflejo de un alto rendimiento lo expresa la eficiencia del proceso, el cual fue muy cercano a 1.

Comparando el rendimiento obtenido para estas raíces con otros rubros, como lo señala Requena (2010), en el que, para la obtención de harina

de batata (un tubérculo que, al igual que las raíces de apio, posee un alto contenido de humedad), tuvo un rendimiento de 20,24 %, mientras que Pérez (2001) para la misma fuente obtuvo un 29,87 %, se podría inferir entonces que el rendimiento obtenido de la transformación de las raíces en harina de apio fue bastante alta, y que cabe destacar además, que también dependerá de cómo se lleve a cabo el tratamiento de la materia prima.

Tabla N° 13. Rendimiento y eficiencia obtenida al transformar las raíces de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en harina

Peso (Kg) de pulpa de apio	Peso (kg) de harina de apio (60 mesh) obtenida	Rendimiento (%)	Eficiencia del Proceso
5,395	1,3644	23,17	0,92

6.4.2 Composición proximal y química de la harina de apio criollo

La determinación de la composición proximal y química de la harina de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) se muestra en la tabla N° 14.

En la determinación del contenido de humedad fué obtenido un valor de $8,38 \pm 0,19$ %. De acuerdo a lo establecido por la Norma Venezolana COVENIN 2300-85, la cual señala un máximo de humedad en harina de arroz del 13 %, se puede observar que la humedad dada se encuentra por debajo de ese valor, por lo que, permaneciendo almacenado en condiciones adecuadas puede extenderse su tiempo de vida útil. Además, cabe destacar, que un bajo contenido de humedad limita la proliferación de microorganismos a desarrollarse en el producto y de manera consecuente evitar su

descomposición, además de que no solo se está evitando un deterioro desde el punto de vista microbiológico, sino también desde el punto de vista químico.

Algunos investigadores han reportado contenidos de humedad para otros rubros como harinas de batata y lenteja, los cuales presentaron contenidos de humedad de 6,00 % y 9,52 %, respectivamente según el análisis realizado por Requena (2010). De igual manera para harinas de plátano verde, el INN (1999) reporta un valor de 10,8%. Los diferentes contenidos de humedad presentados por los diferentes rubros son dependientes tanto de la materia prima como del tiempo de exposición a la deshidratación (Segovia, 2010).

El contenido de proteínas determinada a la harina de apio criollo fue $3,68 \pm 0,32$ % b.s, donde resultó estar muy cercano al valor de proteína cruda reportada por Hurtado y col (1997), el cual fué 3,3% y del INN del 1% (b.h) que representa el 3,78 % en base seca. Por lo general el contenido de proteínas en las raíces y tubérculos es en bajo aunque también es dependiente de las fuentes botánicas, y a lo que se le podría asociar estos valores también al desarrollo de la misma y a las condiciones ambientales y de cultivo a la que haya estado expuesta.

El contenido de grasa encontrada en la harina de apio criollo fué $0,58 \pm 0,03$ % el cual se presenta bastante por debajo del valor reportado por Hurtado y col (1997) el cual fué 1,7 % y similar a lo reportado por el INN, 1999 en base seca 0,37%. El contenido de grasa en los diferentes rubros no solamente depende de las condiciones agronómicas a en la cual estuvieron envueltos sino también de la posición geográfica. Además que estos rubros, tanto raíces como

tubérculos, se caracterizan por presentar bajo contenido en grasa, lo resulta provechoso para personas con problemas del corazón y con alta presión arterial.

En la determinación del contenido de cenizas se encontró un valor de $3,78 \pm 0,15$ % b.s, el cual resultó ser muy cercano al reportado por Hurtado y col (1997) (3,2%) e INN (1999) con un 4,15% b.s. Cabe resaltar que, aunque el contenido de cenizas de la harina en estudio se encontró un poco por encima del reportado por éste autor y por debajo al reportado por el INN, eso puede deberse a las condiciones agronómicas o diferencias varietales del rubro en general.

El contenido de fibra en los alimentos viene dado de acuerdo al método que sea empleado para su determinación. La fibra cruda es definida según la Norma Venezolana COVENIN 1194:79 como la fracción residual de un material orgánico obtenida bajo condiciones establecidas por dicha norma. El contenido de fibra cruda obtenida en la harina de apio criollo fue $2,30 \pm 0,031$ % y que puede apreciarse en la tabla N° 14. La determinación de éste se basa en un método gravimétrico que subvalora en forma importante el contenido de fibra dietética. Los valores de fibra cruda no tienen relación con el verdadero valor de fibra dietética de los alimentos humanos. Esos valores de fibra dietética generalmente son 3 a 5 veces mayores que los de fibra cruda y que entre estos no puede hacerse un factor de corrección porque la relación entre fibra cruda y fibra dietética varía dependiendo de los componentes químicos; por lo tanto, la fibra cruda al tener poca significancia en la nutrición humana no está siendo usada para informar del contenido de fibra en los alimentos (Southgate y col, 1978; Slavin, 1987).

Tabla N° 14. Análisis proximal de la harina de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)

Análisis	Harina (b.s)
Humedad ₁	8,38 ± 0,19
Proteína cruda _{1, 2}	3,68 ± 0,32
Grasa cruda ₁	0,58 ± 0,03
Cenizas ₁	3,78 ± 0,15
Fibra cruda ₁	2,30 ± 0,031
Fibra dietética ₁	57,65 ± 1,10
Carbohidratos totales ₁	83,79 ± 0,027
Carbohidratos disponibles ₁	26,14 ± 1,07
Calorías	124,5

Media ± desviación Estándar, n = 3; 1 = % base seca; 2 = N x 6,25.

La fibra dietética se reconoce hoy como un elemento importante para la nutrición sana (Escudero y González, 2006). Es definida como la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso (AACC, 2003). Según Escudero y González (2006), la fibra dietética promueve efectos fisiológicos beneficiosos como el laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol en sangre y/o de glucosa. Según el resultado de fibra dietética obtenido, se muestra en la tabla N° 14, en el que valor fue de 57,65 ± 1,10 %. Este valor obtenido es sumamente alto y que puede notarse al compararse con harinas de otros rubros como el plátano, en el que se han reportado valores de fibra dietética comprendidas entre 7 y 14 % (Pacheco, 2001; Juárez y col, 2006; González y Pacheco, 2006; Pacheco y col, 2008). Con la obtención de una cantidad tan alta en fibra dietética, se puede

inferir que éste rubro resulta una muy buena alternativa de consumo con el fin de contribuir con el mantenimiento del sistema digestivo.

Los carbohidratos totales están constituidos en su mayor proporción por almidón, seguido por fibra dietética, y por último y en menor cantidad, de azúcares. Es un derivado que se obtiene restando los porcentajes de humedad, proteínas, grasas y cenizas de 100 con el fin de determinar los carbohidratos por diferencia; en donde además se incluye, todo material no analizado en los otros análisis proximales y los errores acumulativos de las otras mediciones (Greenfield y Southgate, 2003). Por su parte, los carbohidratos disponibles están constituidos principalmente de almidón y en menor proporción, de azucares (González y Pacheco, 2006); los cuales se obtienen restando de 100 el contenido de carbohidratos totales y fibra dietética (INN, 1999).

De acuerdo a los resultados obtenidos y presentes en la tabla N° 14, el contenido de carbohidratos totales en la harina de arracacha fué $83,79 \pm 0,027$ %, mientras que el de carbohidratos disponibles fué $26,14 \pm 1,07$ %. Se puede observar la gran diferencia entre estos dos valores, pudiendo destacarse el alto contenido de fibra dietética que posee la harina, que se suma a ese valor de carbohidratos totales y que ya se hizo referencia a ello. Además, aunque el valor de carbohidratos disponibles no resulte muy alto, la mayor parte de éste se debe a la cantidad de almidón que posee y puede ser utilizado entonces como una buena fuente energética. Mientras que el contenido calórico obtenido en la harina de apio criollo fue 124,5 calorías. Sobre éste parámetro no se tiene una referencia, pero si resultó ser mayor que el obtenido en la pulpa de apio reportada por el INN (1999) el cual fue de 94 calorías.

6.4.3 Parámetros físicos y fisicoquímicos de la harina de apio criollo

En la tabla N° 15 se muestran los valores físicos y químicos determinados en la harina de apio criollo. En la determinación del pH se obtuvo un valor de $4,6 \pm 0,0173$ y una acidez de $0,0148 \pm 0,0002$ meq de NaOH/g. El pH es un parámetro de importancia ya que se toma como patrón para medir la intensidad de la acidez presente en el producto. Según las Normas Venezolanas COVENIN 217: 2001, el pH máximo permitido para harinas comerciales, como la harina de trigo, es de 5,6. Si comparamos éste valor con el obtenido, se puede apreciar que se encuentra por debajo de ese valor, con lo que se puede inferir que es aceptable ese valor de pH y que además, contribuye con su conservación, correspondiéndose también con una acidez aceptable para éste producto.

Tabla N° 15. Análisis físico y químico de la harina de apio criollo

Análisis	Harina de Apio criollo
pH	$4,6 \pm 0,0173$
Acidez _a	$0,0148 \pm 0,0002$
Consistencia del gel _b	> Frente de corrida
Densidad _c	$0,642 \pm 0,0019$
Separación de fase _d	$6,17 \pm 0,29$

Media \pm Desviación Estándar, n = 3; a = meq de NaOH/g; b = mm; c = g/mL; d = mL

En cuanto a la consistencia del gel, el cual es un parámetro que permite determinar las características del gel en frío; el recorrido de la muestra fue > Frente de corrida. Esto pudo deberse a que el tratamiento con la base resultó ser muy fuerte, por lo que no se pudo apreciar con mayor determinación.

La determinación de la densidad de la harina es una característica que permite visualizar la presencia de impurezas en la muestra, además de verse

también afectada tanto por la humedad como por el tamaño de las partículas. El valor obtenido para éste parámetro, en este estudio fué $0,642 \pm 0,0019$ g/mL, que comparándola con la densidad de otras harinas, como la de plátano (Colmenares, 2009), el cual obtuvo un valor $0,75$ g/mL, puede observarse que estuvo muy cercano, lo que cabe destacar entonces, que la diferencia entre esos valores son producto tanto de la fuente como de sus componentes.

La determinación de la separación de fases obtenida en éste estudio fué $6,17 \pm 0,29$ mL. Cabe destacar que este valor es bajo comparado con otros rubros, como harinas de batata y lenteja, en el que han obtenido separación de fases entre 22 y 16 mL, respectivamente (Requena, 2010), lo que las características diferentes de cada una son propias de la fuente botánica.

Tabla N° 16. Parámetros que determinan el color en la harina de apio criollo

Parámetro	Harina de apio criollo
L*	$94,78 \pm 0,11$
a*	$0,25 \pm 0,014$
b*	$13,15 \pm 0,03$
IB	$85,84 \pm 0,007$
YIE 313	$23,98 \pm 0,013$

Media \pm Desviación Estándar, n = 3.

En la tabla N° 16 se muestran los valores registrados por el colorímetro para los parámetros que definen el color. Como se puede observar, la muestra presenta una valor para L* cercano a 100% ($94,78\%$) lo cual es reflejo de que la harina de apio es bastante clara. El valor obtenido de a* fué $0,25$, el cual es una valor que refleja un matiz predominante cercano al rojo, mientras que el valor de b* fué $13,15$, el cual resultó ser un valor que refleja un matiz predominante amarillo, y que tiene concordancia puesto que la harina de apio criollo obtenida presentó un color amarillo tenue, y que además corresponde

con el índice de amarillez determinado por el equipo (YIE 313) el cual fué 23,98, que resulta ser un valor relativamente alto.

6.4.4 Morfología de la harina de apio criollo

6.4.4.1 Microscopía de Luz Polarizada

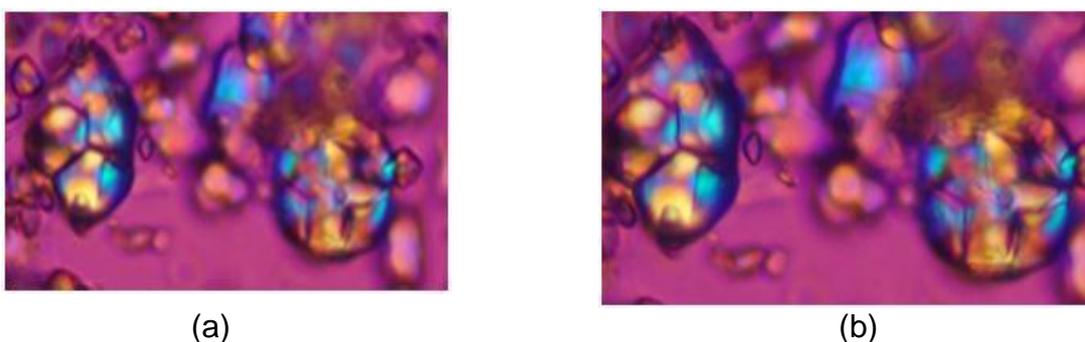


Figura N° 20. Microfotografías de la harina de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) (Aumento: 300* 3,1)

La microscopía óptica de luz polarizada no solo permite evidenciar la forma que presentaron las partículas presente en la harina de apio sino algunas características propias de sus constituyentes (los almidones). En las microfotografías (Figura N° 20), se pueden apreciar aglomeraciones entre los gránulos de almidón y estos a su vez, presentan la cruz de malta característica, como producto de los dos índices de refracción que poseen por la presencia tanto de las zonas cristalinas como amorfas, de acuerdo a la organización de las macromoléculas constituyentes (Amilosa y Amilopectina), además de poder observarse partículas con menores tamaños.

6.4.5 Propiedades funcionales de la harina

6.4.5.1 Perfil amilográfico de la harina de apio criollo

Los resultados encontrados en el estudio de las características del perfil amilográfico para la harina de apio criollo se muestran en la tabla N° 17 y en la figura N° 21. En estos resultados se puede apreciar una viscosidad inicial de 16 UB con a una temperatura inicial de gelatinización de 57,4 °C. Éste valor es un índice directo del grado de cristalinidad del almidón (Ellis y col, 1998).

En cuanto al pico de viscosidad máxima fue 242 UB a una temperatura de 64,7 °C. Éste parámetro representa la capacidad de los gránulos de almidón constituyentes de hincharse antes de romperse. En este sentido, se puede apreciar que presentó un valor alto de viscosidad y por tanto, los almidones presentes en esa suspensión de harina presentan un alto poder de hinchamiento.

Por su parte, el breakdown o estabilidad presente en las suspensiones de los almidones de la harina de apio criollo presentó un valor de 173 UB. Rasper (1982) señaló que éste índice muestra la fragilidad de los almidones frente al calentamiento y que mientras mayor sea este valor menor será la estabilidad frente a las fuerzas de corte durante dicho período de calentamiento. Lo que cabe destacar entonces, que los gránulos de almidón presentes en la suspensión de harina son bastantes frágiles, de acuerdo a lo establecido por Juliano (1981), el cual estableció un rango de estabilidad ente 60 – 100 UB, que al encontrarse el valor dado, por encima de ese rango, se pudo inferir que presentan débiles fuerzas internas lo que los hace menos estables en condiciones de calentamiento.

Por último se tiene el Setback o asentamiento, el cual representa un índice utilizado para expresar la tendencia a retrogradar de los almidones. El resultado obtenido para la harina de apio criollo fue de 14 UB; este valor es bajo por lo que se puede inferir que los almidones presentes en la suspensión de harina de pio criollo tienen una muy ligera tendencia a retrogradar.

Tabla N° 17. Perfil amilográfico de la harina de apio criollo

Parámetros	Harina
Temperatura inicial de Gelatinización (°C)	57,4
Rango de temperatura de Gelatinización (°C)	57,4 – 64,7
Pico de viscosidad máxima (B) (UB)	242
Viscosidad a 90 °C (C) (UB)	110
Viscosidad a 90 °C x 7 min (D) (UB)	70
Viscosidad a 50 °C (E) (UB)	83
Breakdown o estabilidad (B-D) (UB)	173
Set Back o asentamiento (E-D) (UB)	14

UB: Unidades Brabender

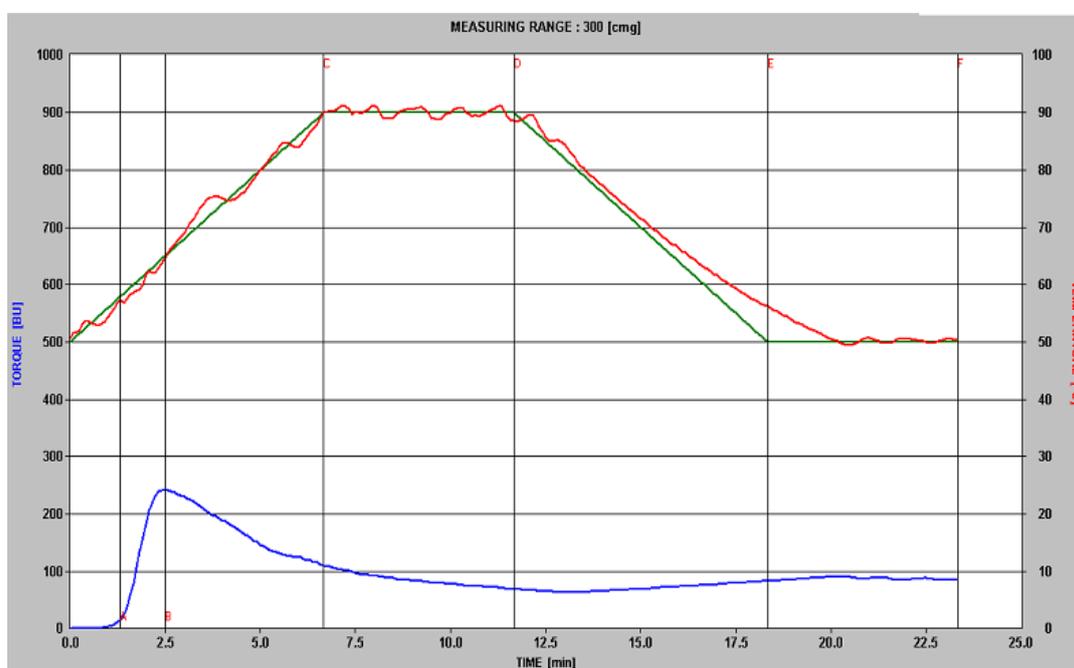


Figura N° 21. Perfil Amilográfico de la harina de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft)

6.4.5.2 Índice de Absorción de Agua (IAA) e Índice de Sólidos Solubles (ISS) en la harina de apio criollo.

Tabla N° 18. Índice de absorción de agua e índice de sólidos solubles

ISA _a	IAA _a
11,93 ± 0,9	2,802 ± 0,03

Media ± Desviación estándar n = 3; a = % en base seca

En la tabla N° 18 se muestran los valores obtenidos para los índices de absorción de agua y solubilidad.

El índice de absorción de agua (IAA) señala la capacidad de los gránulos de almidón presentes en la suspensión de harina, en relación a su peso, de incorporar agua (Colmenares, 2009) y retenerla. De acuerdo el resultado obtenido, el cual fué 11,93 ± 0,9 %, se puede inferir que este valor es relativamente alto y por consiguiente los almidones de arracacha presentan una capacidad relativamente alta de absorber agua, lo cual puede ser producto de mayores zonas amorfas, las cuales son las que permiten la mayor incorporación de agua al gránulo, además del tamaño que también puede influir; mientras que el índice de sólidos solubles encontrados en la harina fué de 2,802 ± 0,03 %.

6.5 Elaboración de los colados a partir de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft y determinación de sus parámetros de calidad

6.5.1 Formulaciones y elaboración de los colados

Para la elaboración de los colados a partir de harinas y almidones tratados con pulsos de luz U.V (PL-2) de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft se

realizaron varias formulaciones, en las que se les variaron las proporciones de sus componentes con la finalidad de encontrar una formulación ideal que fuera escogida y aceptada por un panel afectivo a nivel de laboratorio, en sus características de calidad.

En primer lugar se realizaron una serie de formulaciones, que se presentan en la tabla N° 19. Para la primera formulación no se emplearon ni almidón PL-2, ni sal, de manera que pudiera visualizarse como quedaba la consistencia; se sometió a refrigeración por 24 h a $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ para observar si había separación de fases, y lo que se pudo encontrar es que estaba muy fluido; en la segunda formulación, de igual manera que en la anterior, no se colocó almidón y se aplicó las mismas condiciones que en la primera, y se observó una separación de fases con 1 ml de agua recolectada; luego, en la tercera formulación, se agregaron proporciones de almidón y sal, como se especifica en la tabla N 19, y se pudo notar una disminución en la separación de fases, con una cantidad de agua recolectada de 0,5 mL.

Seguidamente, para disminuir aun más esa separación de fases en el, se realizó una cuarta formulación en las que se variaron nuevamente las proporciones y se adicionó más cantidad de almidón (PL-2). Al refrigerarse las 24 h a $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$, la separación de fases fue mínima, pudiéndose corroborar entonces, las propiedades del almidón como un excelente espesante.

A estas formulaciones se les aplicaron una evaluación sensorial por un panel afectivo a nivel de laboratorio para escoger una formulación y a partir de ella preparar 1000 g del colado para realizar la evaluación de aceptación del producto. El panel afectivo a nivel de laboratorio seleccionó la formulación 4

debido a que cumplió con propiedades características de un colado. A partir de ésta formulación (Formulación 4) se preparó los 1000g de colado, y una vez listos, se realizó una evaluación sensorial de aceptación del producto.

Tabla N° 19. Formulaciones probadas en la elaboración de los colados con y sin adición de almidón y sal.

Ingredientes	Formulación 1 (g)	Formulación 2 (g)	Formulación 3 (g)	Formulación 4 (g)
Harina	21,74	12,55	10,69	10,79
GMP	5,8	3,35	3,05	3,08
Almidón PL-2	0	0	1,92	0,96
Agua	72,46	83,8	84	84,82
Sal	0	0,3	0,34	0,35
Total	100	100	100	100

En la evaluación sensorial realizada se efectuó a un panel semi-entrenado de 20 panelistas, evaluándose las características de color, aroma, sabor y consistencia con una escala hedónica de nueve puntos. Para la característica del color se obtuvo que la tendencia se encontrara muy cerca de la calificación N° 7 (con un valor promedio de 7,35) que corresponde a “Me gusta moderadamente”; para la característica de aroma se obtuvo una tendencia a la calificación N° 5 (con un valor promedio de 5,55) que corresponde a “Me es indiferente”; por su parte, para la característica del sabor se obtuvo una tendencia a la calificación N° 4 (con un valor promedio de 4,5) que corresponde a “Me disgusta ligeramente” y por último, para la característica de consistencia se obtuvo una tendencia a la calificación N° 6

(con un valor promedio de 6,15), que corresponde a “Me gusta ligeramente”. Los resultados obtenidos en la evaluación de las características del color y la consistencia fueron los más altos, mientras que los de sabor y aroma, uno de los más bajos. Esto pudiera deberse a que hubo pérdidas de ciertas propiedades de “flavor” en la harina al momento de deshidratar, puesto que el apio se caracteriza por tener un aroma y sabor propios del rubro, que, al someterse a deshidratación, se volatilizan parte de los compuestos aromáticos presentes y de sus compuestos que generan sabor, cuando las raíces son procesadas para la elaboración de la harina.

En vista de los resultados obtenidos, se procedió a realizar una reformulación del producto para garantizar que se cumpliera con uno de los objetivos planteados en este estudio. Para ello se empleó en las nuevas formulaciones, la pulpa de apio criollo a fin de incrementar el aroma y el sabor del colado obtenido y que se pierden por el método de deshidratación empleado. En la tabla N° 20 se muestran las formulaciones realizadas; luego fueron evaluadas mediante un panel afectivo a nivel de laboratorio para encontrar la formulación ideal y a partir de ésta elaborar los colados correspondientes. La formulación escogida por dicho panel fué la N° 8, ésta mostró mejores características que las otras tres evaluadas. A partir de ésta formulación se elaboraron los colados y se le evaluaron sus parámetros de calidad.

Tabla N° 20. Formulaciones realizadas para la elaboración de los colados con la adición de pulpa de apio cocida.

Ingredientes	Formulación 5 (g)	Formulación 6 (g)	Formulación 7 (g)	Formulación 8 (g)
Pulpa de apio	7,7	40	60	80
Harina	0,67	3,5	5,25	7
GMP	0,51	2,7	4,05	5,4
Almidón PL-2	2,4	2,4	2,4	6
Agua	237,12	200,2	177,1	150
Sal	1,6	1,2	1,2	1,6
Total	250	250	250	250

GMP = Glicomacropéptido.

6.5.2 Parámetros de calidad de los colados

6.5.2.1 Composición química de los colados

Una vez elaborados los colados a partir de la formulación 8, se procedió con la determinación de la composición química y que puede ser apreciada en la tabla N° 21.

Tabla N° 21. Composición química de los colados elaborados

Composición Química	Colado
Humedad ₁	82,00 ± 0,61
Proteína cruda _{1, 2}	5,30 ± 0,27
Grasa cruda ₁	0,58 ± 0,077
Cenizas ₁	6,47 ± 0,11
Carbohidratos totales _{1, 3}	5,58 ± 0,53
Calorías ₄	48,74

Media ± Desviación Estándar, n = 3; 1 = % base seca; 2 = N x 6,25; 3 = Calculados por diferencias; 4 = calculados según INN (1999).

El contenido de humedad presente en el colado de apio criollo elaborado fué $82,00 \pm 0,61$ %, el cual resultó muy similar al obtenido por Requena (2010), en el que obtuvo un contenido de humedad en los tres colados elaborados, uno con hidrolizado proteico, uno control sin proteínas y el otro con glicomacropeptido, con 82,24 %, 79,00 % y 78,21% respectivamente.

En la determinación del contenido de proteínas en el colado se encontró con un $5,30 \pm 0,27$ % de una adición de 5.4 g del GMP. Éste contenido de proteínas, el cual resulta ser más alto que lo reportado para colados de frutas por el INN (alrededor de 1,3 a 3,5 % b.h), proviene tanto del glicomacropeptido, en mayor proporción, además de un aporte de parte del rubro procesado. Este valor estuvo por debajo pero cercano al reportado por Requena (2010), el cual empleó también el GMP obteniendo un 7,73 % de proteínas luego de adicionar 8 g de GMP.

El contenido de grasa encontrado en el colado de apio criollo fué $0,58 \pm 0,077$ %, el cual es bajo, y concuerda con las características de la materia prima utilizada, debido a que este tipo de rubro se caracteriza por presentar un bajo contenido de grasa cruda. Éste valor estuvo muy cercano al reportado por Requena (2010) que también elaboró colados con glicomacropeptido, y se encontró con un 0,54%.

En relación al contenido de cenizas, se encontró en el colado con $6,47 \pm 0,11$ %. Éste valor también es alto y puede deberse a que tanto la pulpa de apio, pero quizás en mayor proporción el glicomacropeptido, hace un aporte considerable en el contenido de minerales al producto. Requena (2010) también señala que el alto contenido de cenizas aportado por el

glicomacropéptido puede deberse al método empleado en la obtención del hidrolizado.

Por último se tiene el contenido de carbohidratos totales, en donde en éste componente se encontró con un $5,58 \pm 0,53$ %; y el contenido calórico resultante para este producto fue 48,74%, el cual se encuentra por debajo del máximo establecido por la norma para productos tipo colado, el cual es de 65 cal/ 100g.

6.5.2.2 Características físicas y fisicoquímicas de los colados

En la tabla N° 22 se muestran los análisis fisicoquímicos realizados a los colados elaborados de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.

Tabla N° 22. Análisis fisicoquímicos realizados a los colados elaborados

Análisis	Colado
pH	$5,61 \pm 0,062$
Acidez _a	$0,0122 \pm 0,0012$
Sólidos solubles _b	$16 \pm 0,00$
Consistencia _c	$1,75 \pm 0,354$
Separación de fase _d	Presente (muy baja)

Media \pm Desviación Estándar, n = 3; a = meq NaOH/g; b = ° Brix; c = cm/ 30"; d = visual.

El pH determinado en el colado elaborado fué $5,61 \pm 0,062$, el cual se encuentra por encima de lo establecido por la Norma Venezolana COVENIN 2005: 1994, el cual reporta un valor de pH máximo para colados elaborados a base de frutas de 4,5. Aunque la presente Norma no reporte valores para este parámetro en colados hecho a base de vegetales u hortalizas, el pH encontrado en este estudio, puede decirse que representa un valor esperado

debido a que concuerda con el tipo de rubro debido a que estos, por lo general, no presentan entre sus componentes grandes cantidades de compuestos u ácidos naturales que generen un bajo pH; y de acuerdo con el contenido de acidez en el colado, el cual fué $0,0122 \pm 0,0012$ meq de NaOH/g puede decirse que es ligeramente alta debido a que la harina de apio usada, durante su proceso de elaboración fué sumergida en ácido cítrico y puede que haya absorbido un poco de éste ácido (muy poca cantidad), por lo que puede notarse en el contenido de acidez.

El contenido de sólidos solubles determinados en el colado de apio fué $16 \pm 0,00$ ° Brix. Éste valor se encuentra por debajo del reportado por reportado por Requena (2010) para colados elaborados con la adición de GMP, en el que obtuvo un valor de $21,30$ ° Brix, pero eso puede deberse a las materias primas utilizadas en la elaboración de los mismos. En la Norma Venezolana COVENIN no se reportan valores para este parámetro.

Por último se tiene que el colado tuvo un recorrido de $1,75 \pm 0,354$ cm en 30", y una separación de fases presente pero muy baja al dejar en refrigeración por a ± 4 °C por 24 h.

En la tabla N° 23 se muestran los valores obtenidos para cada uno de los parámetros que definen al color en los colados de apio criollo elaborados. En primer lugar se puede observar un índice de claridad y luminosidad (L^*) de $66,63 \pm 0,27$ %, este valor se aleja bastante del máximo que es 100%, lo que es indicativo que tiende a un color un poco más oscuro; por su parte, el valor de a^* fué $-2,63 \pm 0,08$, lo que es indicativo que el colado tuvo una tendencia hacia un matiz de color verde, mientras que el valor de b^* fue $21,64 \pm 0,55$, lo

que muestra que el colado tuvo una intensidad del color con una tendencia hacia el color amarillo, y que además concuerda con el color que presentaba el colado, el cual era amarillo. El Índice de Blanco también resultó ser bajo ($60,14 \pm 0,12$) debiéndose al color que presentaba el colado; y por último, la variación total del color (ΔE) del colado con la muestra patrón (apio cocido) fué $26,19 \pm 0,27$, la cual es indicativo que dicha diferencia entre ellos resultó ser bastante baja.

Tabla N° 23. Parámetros que describen al color en el colado de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft

Parámetro	Colado
L*	$66,63 \pm 0,27$
a*	$-2,63 \pm 0,08$
b*	$21,64 \pm 0,55$
IB	$60,14 \pm 0,12$
ΔE^*	$26,19 \pm 0,27$

*Usando como patrón apio cocido

6.5.2.3 Evaluación del Test de esterilidad

Para garantizar que los colados se encontraban en condiciones aptas para su consumo y siguiendo además con lo establecido en la Norma Venezolana COVENIN 2005.1994, se procedió a realizarle un test de esterilidad, en el que, una vez esterilizado el producto, se colocaron en incubación a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 10 días, donde dichos resultados pueden observarse en la tabla N° 24.

Al realizar la inspección inicial con el fin de determinar la presencia de efectos visibles en los envases de los colados, no se encontró que alguno presentara abombamiento y/o abolladura y/o desprendimiento de la tapa; de igual manera se evidenció que todos los colados presentaban vacío.

Además, al inspeccionar el producto, no se encontraron daños visibles, y por tanto, el color, la consistencia y la apariencia del colado permanecieron constantes previas a la incubación, y tampoco presentaron separación de fases durante ese tiempo a esa temperatura.

Tabla N° 24. Test de esterilidad evaluado en los colados de apio criollo
(*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) elaborados

ENVASE	PRESENTE/ AUSENTE
Presencia abombamiento	Ausente
Presencia abolladura	Ausente
Desprendimiento de tapa	Ausente
Vacío	Presente
PRODUCTO	PRESENTE/ AUSENTE/ CONSTANTE
Daño visible	Ausente
Color	Constante previo a la incubación
Consistencia	Constante previo a la incubación
Apariencia	Constante previo a la incubación

6.5.2.4 Evaluación sensorial de los colados

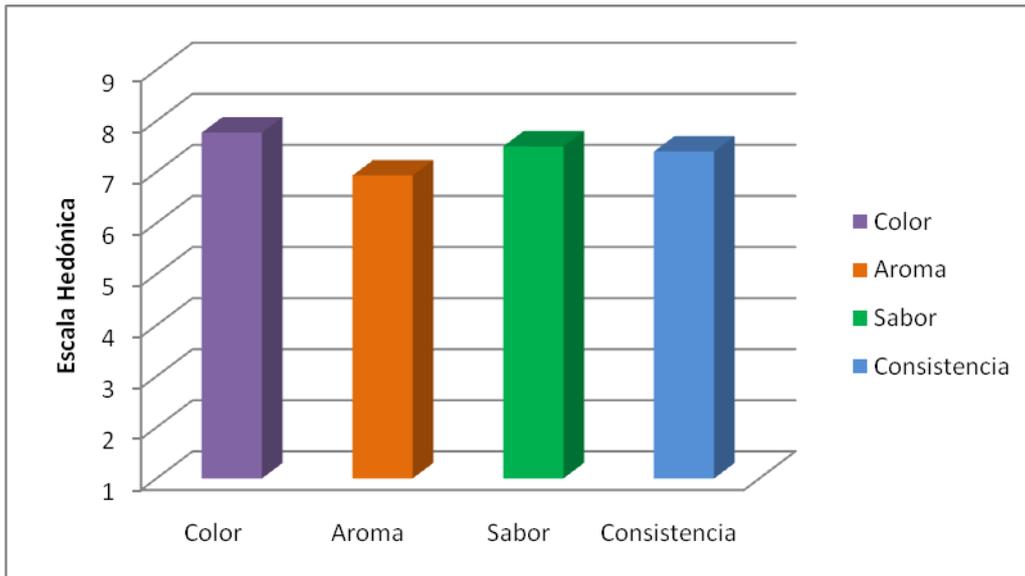
En la tabla N° 25 y en la figura N° 21 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación sensorial realizado a los colados elaborados de apio criollo.

Tabla N° 25. Evaluación sensorial de los colados elaborados

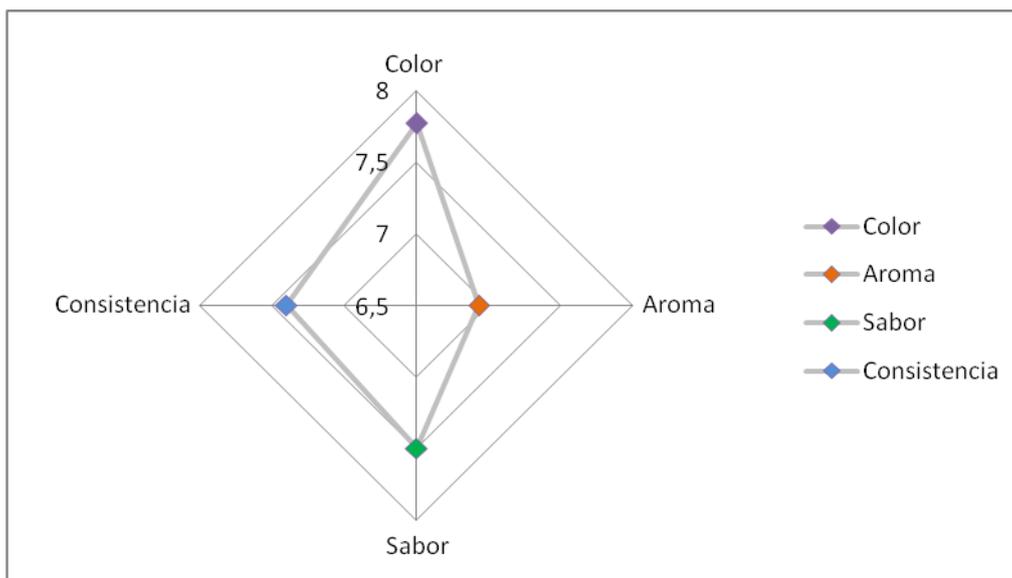
Parámetro	Colado
Color	7,77
Aroma	6,93
Sabor	7,5
Consistencia	7,4

Como puede observarse, el parámetro del color obtuvo como resultado un valor promedio en la escala hedónica de 7,77, el cual estuvo muy cerca de la calificación N° 8 más que de la N° 7, que corresponde a “Me gusta mucho”. Mientras que tanto el aroma, como el sabor y la consistencia se encontraron cercanos a la calificación N° 7 que corresponde a “Me gusta moderadamente”.

En la figura N° 22 (a) y (b) pueden observarse los valores obtenidos y las pequeñas diferencias entre los parámetros evaluados, y donde, el que gusto más fué el color, seguido por la consistencia, sabor y por último el aroma.



(a)



(b)

Figura Nº 22. Valores encontrados en la evaluación sensorial de los colados elaborados. (a) Figura en barras y (b) Figura de manera radial

7. CONCLUSIONES

1. En la tipificación de la fuente botánica, se obtuvo un alto rendimiento, tanto para la pulpa como para la cáscara, con valores de 92,03% y 7,97%, respectivamente; resultando el método aplicado muy efectivo.
2. Se obtuvo un alto rendimiento en relación a la extracción de almidón nativo de apio criollo con un 16,09%.
3. El análisis proximal realizado al almidón nativo de apio criollo arrojó valores cercanos reportados en la bibliografía, además de un alto porcentaje de pureza (99,59%) destacando un efectivo método de extracción.
4. El almidón nativo de apio criollo presentó un pH de 5,79, una baja acidez y una consistencia de gel muy fluida y un índice de blanco tendiendo al valor máximo de 100% (98,31%).
5. En la determinación del tamaño de los gránulos de almidón nativo de apio criollo se encontró con un alto porcentaje de gránulos que presentaban tamaños entre 7–20 μm en un 63,6 %, seguido de un grupo de gránulos que presentó un tamaño entre 20–40 μm en un 20,9 %; inferior a 7 μm en un 14,6 %; y por último, para un tamaño superior a 40 μm , el porcentaje fué de 0,9 %.
6. Algunas de las formas encontradas en las microfotografías del almidón nativo fueron circulares, poliédricas, lentillas, irregulares y oval truncada.
7. El tratamiento de pulsos de luz aplicado a los almidones, en especial al almidón (PL-1), al compararlo con el almidón nativo sin tratamiento, se obtuvo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el color, así como en los índices de solubilidad, absorción de agua y poder de hinchamiento,

pudiendo deberse estos últimos en una mayor asociación de los enlaces a nivel de las moléculas de amilosa y amilopectina.

8. En la elaboración de la harina de apio criollo se obtuvo un alto rendimiento y eficiencia del proceso, siendo los valores 23,17% y 0,92, respectivamente.
9. El análisis proximal y fisicoquímico se encontró muy cercano a los reportados en la bibliografía consultada, excepto en el contenido de fibra dietética el cual arrojó un valor bastante alto (57,65%), así como de carbohidratos totales (83,79%).
10. El colado elaborado a partir de apio criollo requirió la adición de pulpa de la misma fuente debido a que la harina pierde ciertas propiedades de “flavor” con el método de deshidratación aplicado.
11. El Colado presentó un alto contenido de proteínas, humedad y calorías, encontrándose dentro de los rangos establecidos.
12. El colado elaborado a partir de pulpa, harina y almidones de *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft obtuvo una muy buena aceptación por parte del panel evaluador.

8. RECOMENDACIONES

1. Profundizar el efecto de los pulsos de luz U.V en almidones, posiblemente en suspensión a fin de determinar si la técnica permite obtener almidones modificados variando otras propiedades a las obtenidas en este estudio.
2. Hacer análisis a las harinas y almidones de *Arracacia xanthorrhiza* B. para evaluar la cantidad de almidones resistentes que puedan presentarse debido al alto contenido de fibra dietética obtenido en este estudio.
3. Buscar un método alternativo para la deshidratación del apio criollo a fin de que pueda conservarse la mayor parte de sus propiedades en cuanto a sabor y aroma.
4. Estudiar la elaboración de los colados con menos cantidad de pulpa (alrededor de un 70%) y evaluar sus propiedades a fin de establecer la rentabilidad del mismo.
5. Realizar el análisis microbiológico a los colados elaborados a fin de evaluar y comprobar el test de esterilidad realizado a los mismos y medir su estabilidad en el tiempo de almacenamiento.
6. Realizar un perfil de aminoácidos para poder sugerirlo para regímenes especiales como en la fenilcetonuria.

9. BIBLIOGRAFÍAS

- AACC (American Association of Cereal Chemists). 2003. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. Novena Edition. St. Paul: Methods N°s 44-19; 08-17; 46-13 y 22-10.
- Akalu, G.; Tufuesson, F.; Jonsson, C. and Nair, B. 1998. Physicochemical characteristics and functional properties of starch and dietary fiber in grass pea seeds. *Starch/ Starke*. **50** (9): 374 – 382.
- Anchundia, M. 2005. Obtención de almidón acetilado de batata (*Ipomoea batatas*). Caracterización y uso en la formulación de un producto alimenticio tipo pudín. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Anderson, R. A. 1982. Water absorption and solubility and amylographic characteristic of roll-cooked small grain product. *Cereal Chem.* **59**: 265-269.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1990. Official methods of analysis. Volumen I y II. 15th ed. AOAC, Arlington, V.A. USA. 1289 p.
- Badui, S. 2006. Química de Alimentos. Cuarta edición. Pearson Educación. México.
- Barrera, V.; Espinosa, P.; Tapia C.; Monteros, A.; Valverde, F. 2003. Caracterización de las raíces y tubérculos andinos. Serie 1. Conservación y uso de la Biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. *Rev. Centro Interam. Papa*. **1**: 3 - 30 p.
- Barrera. V., P. Espinosa, C. Tapia, A. Monteros, F. Valverde. 2003. Caracterización de las raíces y los tubérculos Andinos. Serie 1. Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. *Rev. Centro Interam. Papa*. **1**: 3 - 30 p.
- Bello-Pérez, L.; Contreras-Ramos, S.; Jiménez-Aparicio, A.; Paredes-López, O. 2000. Acetylation and characterization of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Acta Cient. Venez.* **51**: 143 – 149.

- Bello-Pérez, L.A.; Contreras-Ramos, S.M.; Jiménez-Aparicio, A. and Paredes-López, O. 2000. Acetylation and characterization of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Acta Cient. Venez.* **51**:143-149.
- Bou Rached, L.; De Viscarrondo, C. A.; Rincón, A.; De Padilla, F. 2006. Evaluación de harinas y almidones de Mapuey (*Dioscorea trifida* L.), variedades blanco y morado. *Arch. Latinoam. Nutr.* **56** (4): 375 – 383.
- Briceño, A. 1990. Resultados preliminares de la introducción de material clonal de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en los andes venezolanos. *Agron. Trop.* **25** (1): 31-37.
- Buléon, A.; Colonna, P.; Planchot, V. Ball, S. 1998. Starch granules: Structure and biosynthesis. *Int. J. Biol. Macromol.* **23**: 85-112.
- Cagampang, G.; Pérez, C.; Juliano, B. 1973. A gel consistency for testing quality of rice. *J. Food Sci. Agric.* 1589- 1594.
- Caraballo De Manna, D. 2011. Modificación del almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) por metilación para aplicación en alimentos y biomedicina. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Cerada, M. 2002. Propiedades generales de los almidones. En cultivos de tuberosas amiláceas de Latinoamérica. *Centro Interam. Papa.* **22**: 141-153.
- Cheftel, J.1976. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Vol. II. Editorial Acribia.
- Chin-Lin, H.; Wenbung, Ch.; Yih-Ming, W.; Chin-Lin, T. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chem.* **83**: 85 – 92.
- CIP (Centro Internacional de la Papa). 2000. Historias del campo - Informe Anual 2000. Arracacha: Un cultivo perdido llega al mercado.
- 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.

- Colmenares, M.J. 2009. Elaboración de harina de pulpa y cáscara de plátano verde clon Hartón Común para la formulación de una mezcla de harina para arepas a base de plátano: maíz. Tesis Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Colonna, P.; Baulcon, A.; Mercier, Ch. 1984. Physically modified starch. In: Starch: properties and potential. Institut National de la Recherche Agronomique. Laboratoire de Biochimie et technologie des Glucides. Rue de la Géraudière-France.
- COVENIN 1979 – 2001. Nomas N° 1194 – 79; 2278 – 85; 2300 – 85; 2005 – 94; 217 – 01. Sencamer. Caracas – Venezuela.
- Dublier, S.; Colonna, P.; Mercier, C. 1986. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. II Rheological characterization of starch pastes. *Cereal Chem.* **63** (3): 240-246.
- Dufourt, D.; Hurtado, J. 1996. Procesamiento de algunas raíces y tubérculos. Estudio de la factibilidad técnica y económica para la producción de almidón y harinas y de sus propiedades fisicoquímicas. Seminario técnico sobre raíces y tubérculos autóctonos. Corpoica-Pronata, Colombia, 24p.
- Dunn, J.; Clark, R.; Asmus, J.; Pearlman, J.; Boyer, K.; Painchaud, F. 1989. Methods for preservation of food-stuffs. US Patent number 4871559.
- Ellis, R.; Conchrane, F.; Dale, C.; Duffus, A.; Lynn, M.; Morrison, S.; Prentice, S.; Swanston, S.; Tiller, S. 1998. Starch production and industrial use. *J. Sci. Food Agric.* **77**: 289 – 311.
- Elmnasser, N.; Guillou, S.; Leroi, F.; Orange, N.; Bakhrouf, A.; Federighi, M.. 2007. Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. *Can. J. Microbiol.* **53**: 813-821.
- Escudero, E.; González, P. 2006. La fibra dietética. Unidad de dietética y nutrición. *Nutr. Hosp.* **21**: 61 – 72.

- Espín, S.; Brito, B.; Villacrés, E.; Rubio, A.; Nieto, C; Grijalva, J. 2001. Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces tubérculos andinos. *Acta Cient. Ecuat.* **7** (1): 443-49.
- Evans, J.; Heissman, D. 1982. The effects of solutes on the gelatinization temperature of potato starch. *Starch/ Stärke.* **34**: 224 – 231.
- Fenema, O. 2000. Química de los alimentos. Editorial ACRIBIA, S.A. 2da Edición. Zaragoza- España.
- Fernández, L. 1999. Errores innatos del metabolismo. Aspectos preventivos. *Vox Pediát.* **7** (1): 49-55.
- Fine, F., Gervais, P. 2004. Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders. *J. Food Protec.* **67**: 787-792.
- García, A. 2007. Caracterización post-cosecha del apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft. Var. *xanthorrhiza*). Evaluación fisicoquímica de la raíz, harinas y productos. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- García, A.; Jiménez, A.; Martín, N.N Bravo, I.; Saura, T. 1999. Assesment some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. *Food Chem.* **66**: 181 – 182.
- García, A.; Pacheco, E. 2008. Caracterización post-cosecha del apio criollo cultivado en el Municipio Tovar, Estado Mérida-Venezuela. *Agron. Trop.* **58** (4): 409-416.
- Giese, J. 1995. Measuring physical properties of foods. *Food Technol.*, **49**: 54-63.
- Giese, N., Darby, J. 2000. Sensitivity of microorganisms to different wavelengths of UV light: implications on modeling of medium pressure UV systems. *Water Res.* **34**: 4007-4013.
- Gómez, V.; Devlieghere, F.; Bonduelle, V.; Debevere, J. 2005. Factors affecting the inactivation of microorganisms by intense light pulses. *J. Appl. Microbiol.* **99**: 460-470.
- Gómez, V.; Ragaert, P.; Debevere, J.; Devlieghere, F. 2007. Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends Food Sci. Technol.* **18**: 464-473.

- González, D. 1999. Evaluación de harinas y almidones de ñame (*Dioscorea alata*) modificados por irradiación microondas. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- González, O.; Pacheco, E. 2006. Propiedades reológicas de la harina de banana verde (*Musa AAB*) en la elaboración de geles de piña (*Ananas Colossus* L. Merr.). *Rev. Fac. Agron. (Maracay)*. **32**: 27 – 40.
- Gutiérrez, E.; Barrios, B.; Gutierrez, R.; Rossel, D. 2002. Caracterización molecular de fenilcetonúricos cubanos. *Rev. Cub. Pediat.* **7** (2): 101 – 105.
- Guzmán, R. 2011. Estudio integral de dos variedades de Musas (*Musa* spp). I. Elaboración de productos a base de harinas. II. Producción de maltodextrinas y uso en microencapsulación de antioxidantes. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencia y tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Hoover, R. 2001. Composition molecular, structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Review Carboh. Polym.* **45**: 253-267.
- Hunter. 2001. Lab. Manual Management Company Hunter Associates, Color Universal Software Version 410. Iso 9001 certified.
- Hurtado, J.; Rodríguez, G.; Dufour, D. 1997. Procesamiento de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*): Estudio de factibilidad técnica y económica para la producción de almidón y harina y de sus propiedades fisicoquímicas. En Seminario técnico sobre raíces y tubérculos autóctonos. Ibagué - Colombia. 26 p.
- Instituto Nacional de Nutrición (INN, 1999). Instituto Nacional de Nutrición. Tabla de composición de alimentos para uso práctico. Serie de cuadernos azules. Publicación número 54. Ministerio de Salud y Desarrollo Social. Caracas – Venezuela.
- Juárez, E.; Agama, E.; Sayago, S.; Rodríguez, S.; Bello – Pérez. 2006. Composition, Digestibility and application in breadmaking of banana flour. *Plant Food Hum. Nutr.* **61**: 131 – 137.

- Juliano, B. O. 1981. Polichacarides, proteins and lipids of rice, in: Juliano, B. O. Rice chemistry and technology. American Association of *Cereal Chem. Inc: 774. 3: 59 – 160.*
- Juliano, B. O. 1992. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In: Juliano, B. O. Rice chemistry and technology. American Association of *Cereal Chem. Inc: 774 (3): 59 – 160.*
- Kim, S. Y.; Weisenborn, D. P.; Orr, P. H.; Grant, L. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. *J. Food Sci. 52: 715 – 718.*
- Kirk, R.; Sawyer, R.; Egan, H. 2004. Composición química de los alimentos de Pearson. Compañía Editorial Continental. México.
- Knudsen, S.; Hermann, M. Sorensen, M. 2001. Flowering in six clones of the Andean root crop Apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *J. Hortic. Sci. Biotechnol. 76: 454-458.*
- Light, S. 1990. Modified food starches: why, what, were. *Cereal Foods World. 35 (2): 1081-1092.*
- Lim, K.; Van Calcar, S.; Nelson, K.; Gleason, S.; Ney, D. 2007. Acceptable low-phenylalanine foods and beverages can be made with glycomacropeptide from cheese whey for individuals with PKU. *Mol. Genet. Metab. 92: 176-178.*
- Marcano, O. 1975. Características físicas y químicas del almidón de apio (*Arracacia xanthorrhiza*). Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Marcos, L.; Pérez, A.; González, B.; y Tamayo, V. 2002. Situación actual del seguimiento clínico de la fenilcetonuria en cuba. *Rev. Esp. de Nutr. Com. 8 (3-4): 108 - 112.*
- Martin, M.; Legarda, M.; Dalman, J. 2007. Errores innatos del metabolismo: aproximación diagnostica en atención primaria. *Boletín de Pediatría. 47: 111-115.*

- Matos, M. E. 1996. Aprovechamiento integral y uso industrial de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Seminario Especial de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Mc Donald, K.; Curry, R.; Clevenger, T.; Unklesbay, K.; Einsenstark, A.; Golden, J. 2000. A comparison of pulsed & continuous ultraviolet light sources for the decontamination of surface. *IEEE Trans. Plasm. Sci.*, **28**: 1581-1587.
- Mestres, C.; Matencio, F.; Pons, B.; Yahid, M.; Fliedel, G. 1996. A rapid method for the determination of amilosa content by using differential scanning calorimetry. *Starch/ Stärke*. **48**: 2 – 6.
- Mitchell, D. L.; Jen, J.; Cleaver, J. E. 1992. Sequence specificity of cyclobutane pyrimidine dimers in DNA treated with solar (ultraviolet B) radiation. *Nucleic. Acids. Res.* **20**: 225-229.
- Moa, M. T.; Molina, K.; Ojeda, V. 2004. Desarrollo de un colado a base de batata con coco y pina enriquecido con vitamina C, calcio y hierro para niños en edad preescolar. Trabajo Especial de Grado. Universidad Santa María. Caracas - Venezuela.
- Montaldo, A. 1979. Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. Instituto Inter-Americano de Cooperación para la Agricultura. San José de Costa Rica. 403 p.
- Ney, D.; Hull, A.; Van Calcar, S.; Liu, X.; Etzel, M. 2008. Dietary glicomacropéptide supports growth and reduces the concentrations of phenylalanine in plasma and brain in murine model of Phenylketonuria. *J. Nutr.* **318**: 316- 322.
- 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. *F. Chem. and Toxicol.* **67** (5): 1701-1705.
- Nurul, I.; Azemi, B.; Manan, D. 1999. Rheological behavior of sago (*Metroxylon sagu*) starch past. *Food Chem.* **64**: 501 – 505.

- Pacheco, E. 2001. Evaluación nutricional de sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde. Digestibilidad in vitro de almidón. *Acta Cient. Venez.* **52**: 278 – 282.
- Pacheco, E.; Maldonado, E.; Pérez, E.; Schroeder, M. 2008. Production and characterization of Unripe Plantain (*Musa paradisiacal* L.) Flours. *Interciencia.* **33** (4): 209 – 296.
- Pacheco, E.; Maldonado, R.; Díaz, D.; y López, I. 2000. Valor nutricional de las musáceas y uso en la tecnología de alimentos. Memorias. Primer Seminario Venezolano de Plantas Agámicas Tropicales. Universidad Central de Venezuela. Maracay-Venezuela pp. 172-186.
- Pérez, E. 1994. Caracterización de las propiedades funcionales de almidones nativos y modificados. I. Métodos físicos de extrusión, deshidratación con doble tambor e irradiación gamma y microondas. Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Pérez, E. 2001. Modificación de las propiedades funcionales de harinas y almidones extraídos de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*), Ocumo chino (*Colocasia esculenta*) y batata (*Ipomoea batata*) para su aprovechamiento en la formulación de alimentos horneados. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela.
- Pérez, E. 2007. Raíces y tubérculos. En: Edel, A.; y Rosel, C. De tales harinas tales panes. Báez Ediciones. Córdoba-Argentina, pp. 363-401.
- Pérez, E.; Borneo, R.; Melito, C.; Tovar, J. 1999. Chemical, physical and morphometric properties of Peruvian Carrot (*Arracacia xanthorrhiza* B.) starch. *Acta Cient. Venez.* **50**: 240-244.
- Pérez, E.; Borneo, R.; Melito, C; y Tovar, J. 1999. Características físicas, químicas y morfométricas del almidón de apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* B.). *Acta Cient. Venez.* **50**: 240-244.
- Pérez, E.; Schultz, F.; Pacheco, E. 2005. Characterization of some properties of starch isolated from *Xanthosoma sagittifolium* (Tannia) and *Colocassia esculenta* (Taro). *Carboh. Polym.* **60**: 139 – 145.

- Pérez, F.; Caypo, C. 2007. Raíz de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) una fuente de carbohidratos. *Cienc. Salud*. Vol. 1. N° 1. Pp: 14.
- Radley, J. 1976. Examination and analysis of starch and starch products. Applied Science Publishers LTD London. 133 p.
- Rajee, R.; Karim, A. 2009. Impact of radiation processing on starch. Vol. 8. *Comp. Rev. Food sci. Food safety*. P.p. 44-58.
- Rao, M.; Tattiyakul, J. 1999. Granules size and rheological behavior oh heated tapioca starch dispersions. *Carboh. Polym.* **38**: 123-132.
- Rasper, L. 1980. Theoretical aspects of amylographology. In: Shuey, W. C. and Tipples, K. H. (eds). The amylograph handbook. *Amer. Assoc. Cereal Chem.* St. Paul, MN, USA.
- Real, J. 1994. El Apio (*Arracacia xanthorrhiza*) Plant Production and Protection- FAO, **26**: 165- 179.
- Repo-Carrasco, R. 1992. Cultivos andinos y la alimentación infantil. Revista de la Coordinación de Tecnología Andina (CCTA). Lima, 1: 54p.
- Requena, L. 2003. Extracción y caracterización de la carragenina obtenida a partir de la especie de alga marina roja *Kappapyous elvaredi* (Doty), Doty proveniente de arribazones de la isla de Margarita, Edo. Nueva Esparta, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas – Venezuela.
- Requena, L. 2010. Formulación de un colado a base de harinas compuestas de lentejas (*Lens esculenta*) y batata (*Iopomoea batata*) con bajo contenido en fenilcetonuria. Tesis de Maestría. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Rivas, M.; Cáceres, A.; Mora, N.; Rivas, G. 2003. Fenilcetonuria: bases moleculares e implicaciones sociales. *MEDISAN*, **7** (2): 89- 99.
- Rodríguez, D.; Espitia, M.; Caicedo, Y.; Córdoba, Y.; Baena, Y.; Mora, C. 2005. Caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y

farmacotécnicas del almidón de arracacha (*Arracacia Xanthorrhiza*). *Rev. Col. Cienc. Quim. Farm.* **34** (2): 140-146.

- Rodríguez, G. 1997. Aspectos generales de algunas especies promisorias de raíces y tubérculos en Colombia (arracacha, achira, ulluco, ibia, cubio y ñame). Corpoica.
- Rodríguez, G.; García, H.; Camacho, J.; Arias, F.; Rivera, J.; De la Torre, F. 2000. La harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). Manual técnico para su elaboración. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- Pronatta. Pp. 2
- Rogols, S. 1986. Starches modifications: A view into the future. *Cereal Foods World.* **31** (2): 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. *Appl. Environ. Microbiol.* **65**: 1312-1315.
- Schoch, T. 1964. Fatty substances in starch. In methods in carbohydrate chemistry. (Wistler. R. L. Ed.). New York: Academy Press. **5**: 56-61.
- Schwiser, T.; Reimann, S. 1986. Influence of drum-drying and twin screw extrusion cooking on the wheat carbohydrates. I: A comparison between wheat starch and flours of different extraction. *J. Cereal Sci.* **4**: 193-206.
- Segovia, X. 2010. Elaboración de coberturas y películas comestibles de almidón de mapuey (*Dioscorea trifida* L.) nativo y modificado y su aplicación sobre plátano verde (*Musa paradisiaca* L.). 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.
- Seminario, C. 1998, Producción de Raíces y Tubérculos Andinas: Fascículos. *Centro Interam. Papa* (CIP), Lima- Perú.
- Singh, N.; Singh, J.; Kaur, L.; Sodhi, N.; Gill, B. S. 2003. Morphological, thermal y rheological properties of starch from different botanical sources. *Food Chem.* **81**: 219 – 231.

- Slavin, J. 1987. Dietary fiber: Classification, chemical analysis, and food sources. *J. Am. Diet Ass.* **87**: 1164 – 1171.
- 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.
- Southgate, D.; Hudson, G.; Englyst, H. 1978. The choice for the analyst. *J. Sci. Food Agric.* **29**: 979 – 988.
- Stevens, D. J.; Elton, G. A. 1971. Thermal properties of starch/ water system. I. Measurement of heat of gelatinization by differential scanning calorimeter. *Starch/ Staerke.* **23**: 8 – 11.
- Subramanian, S.; Viswanathan, R. 2007. Bulk density and friction coefficients of selected minor millet grains and flours. *J. Food Eng.* **81**: 118- 126.
- Swinkels, J.J. 1985. Industrial starch chemistry. Vol. I. Chap. 8. In: *Hanbook of food additives*. 2^{da}.ed. E.E. Furia, ed. CRC Press. Boca Raton (s.f).
- Tapia, M. 1997, Cultivos Andinos Sub-explotados y su aporte en la alimentación. Segunda edición de la oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago- Chile.
- Toledo, G. 1972. Efecto del procesamiento y de las temperaturas de almacenamiento en las características físicas y químicas del puré de apio (*Arracacia xanthorrhiza* B.) enlatado. Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Wang, J.; White, P. 1994. Structure and properties of amylose, amylopectin and intermediate material of oat starch. *Cereal Chem.* **71** (3): 263 – 268.
- Whistler, R.L. 1964. “Swelling Power” En: “*Methods in Carbohydrate Chemistry*”. Vol. II. Ed. Academic Press. New York. USA.

- Wurzburg, O. 1986. Forty years of industrial starch research. *Cereal Food World*. **31** (12): 897- 903.
- Wurzburg, O. B. 1972. Starch in the food industry. Vol. I. Chap. 8. In: Hanbook of food additives. 2^{da}.ed. E.E. Furia, ed. CRC Press. Boca Raton.
- Wurzburg, O.; Szymanski, C. 1970. Modified starches for the food industry. *J. Agric. Food Chem.* **18** (6): 997- 10001.
- Yuan, R. C.; Thomson, D. B.; Boyer, C.D. 1993. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from three wax-containing genotypes in two inbred lines. *Cereal Chem.* **70**: 81 – 89.
- Zhou, M.; Robard, S.; Glemie, M.; Heliwell, S. 1998. Structure and pasting properties of oat starch. *Cereal Chem.* **75**: 273 – 281.

CONSULTAS EN LÍNEAS

- Baldellou, A. 2004. Lactancia materna y errores congénitos del metabolismo. Sociedad española de errores innatos del metabolismo. Disponible en: www.eimaep.org. [Consulta: 18 de Octubre de 2010].
- Frere, M. & Rea, J. 1975. Estudio agro climatológico de la zona andina. Proyecto Interinstitucional FAO- UNESCO en agro climatología. Roma. Citado por: Jiménez, F. (2005) Características nutricionales de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y sus perspectivas en la alimentación. Publicación virtual red peruana de alimentación y nutrición. <http://www.rpan.org/monografias/monografia002.pdf>. [Consulta: 18 de octubre de 2010].
- Greenfield, H.; Southgate, D. 2003. Datos de composición de alimentos: obtención, gestión y utilización. Organización de Agricultura y alimentación. <http://books.google.co.ve/books?id=sj8arOGA3P0C&dq=carbohidratos+>

[disponibles+y+totales&hl=es&source=gbs_navlinks_s](#). [Consulta: 10 de Abril de 2011].

- Jiménez, F. 2005. Características nutricionales de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y sus perspectivas en la alimentación. Publicación virtual red peruana de alimentación y nutrición. <http://www.rpan.org/monografias/monografia002.pdf>. [Consulta: 18 de octubre de 2010].
- USDA (United State Department of Agriculture). Natural Resources Conservation Service Plants Database. <http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=ARXA2>. [Consulta: 18 de Abril de 2011].