

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y PROPIEDADES FUNCIONALES DEL
ALMIDÓN DE ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza*) MODIFICADO POR
IRRADIACIÓN UV-C.**

SANDRA YINNETH SALAS CUESTAS

**Trabajo de grado como requisito para obtener el título de
Magister en Ciencias Agroalimentarias**

Director

ANGELICA PIEDAD SANDOVAL ALDANA

Doctora en Ingeniería énfasis Ingeniería de Alimentos

**UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
PROGRAMA MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
IBAGUÉ-TOLIMA**

2018

**COMITÉ DE INVESTIGACIONES
ACTA DE GRADO**

**Estudiante: Sandra Yinneth Salas Cuestas
MSc en Ciencias Agroalimentarias**

**TITULO: "Caracterización fisicoquímica y propiedades funcionales del almidón de arracacha
(Arracacia xanthorrhiza) modificado por irradiación UV-C".**

Fecha Sustentación: 6 de abril de 2018

Directores: Angélica Piedad Sandoval Aldana

Jurado No.1: Claudia Patricia Valenzuela Real

Jurado No.2: Walter Murillo Arango

Factores Evaluados	Jurado 1	Jurado 2	Definitiva
Relevancia Científica (30%)	4,0	4,1	4,1
Complejidad y Profundidad (20%)	4,0	4,0	4,0
Calidad Estructural (10%)	3,7	3,6	3,7
Estilo y Presentación (10%)	4,0	3,7	3,9
Sustentación del trabajo (30%)	3,8	3,8	3,8
Definitiva	3,9	3,9	3,9



**Hernán Jair Andrade Castañeda
Coordinador del Comité de Investigaciones**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1 OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. MARCO DE REFERENCIA	20
2.1 ALMIDÓN.....	20
2.1.1 Propiedades fisicoquímicas del almidón.....	24
2.1.2 Propiedades Funcionales.....	28
2.2 ALMIDON DE ARRACACHA.....	29
2.3 ALMIDON NATIVO Y MODIFICADO.....	33
3 METODOLOGÍA	38
3.1 FASE I: CARACTERIZACION ALMIDON DE ARRACACHA EN CRECIMIENTO FISIOLÓGICO.....	38
3.1.1 Selección de material vegetal y extracción del almidón.....	38
3.1.2 Análisis Proximal.....	38
3.1.3 Propiedades Funcionales.....	39
3.1.4 Curvas de empastamiento perfil amilográfico.....	39
3.1.5 Sinéresis.....	40
3.2 FASE II: MODIFICACIÓN FISICA UV-C PARA ALMIDON DE ARRACACHA.....	40
3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	43
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1 FASE I: CARACTERIZACION ALMIDON DE ARRACACHA EN CRECIMIENTO FISIOLÓGICO.....	44

4.2 FASE II: RESULTADO MODIFICACIÓN FISICA UV-C PARA ALMIDON DE ARRACACHA.....	59
4.2.1 Propiedades de empastamiento de almidón por UV-C.....	59
4.2.2 Apariencia microscópica en almidones modificados.....	62
4.2.3 Fuerza de gel por punción.....	64
5 CONCLUSIONES.....	66
REFERENCIAS.....	68
ANEXOS.....	¡E
rror! Marcador no definido.	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Área cosechada y producción de arracacha en 9 Departamentos de Colombia 2013-2014).....	15
Tabla 2 Propiedades de la amilosa y la amelopectina el almidón en plantas superiores.....	21
Tabla 3 Valores e las propiedades fisicoquímicas y térmicas en diferentes fuentes de almidón nativo.....	30
Tabla 4 Usos del almidón modificado físicamente.....	34
Tabla 5 Determinación de la irradiancia para calcular las dosis de irradiación para 5 y 10 lámparas.....	42
Tabla 6 Dosis de modificación UV-C con variación en número de lámparas y tiempos de irradiación.....	42
Tabla 7 Longitud y peso de las raíces en etapa de crecimiento con rendimiento y N° de Cepas.....	43
Tabla 8 Caracterización bromatológica de los almidones en etapas de crecimiento....	43
Tabla 9 Reportes previos de análisis proximal para caracterización análisis proximal para arracacha amarilla (% base seca).....	45
Tabla 10 Valores para solubilidad, índice de absorción de agua y poder de hinchamiento.....	47
Tabla 11 Comparación de las propiedades del almidón de yuca con arracacha.....	48
Tabla 12. Propiedades de empastamiento del almidón en estado de crecimiento.	52
Tabla 13 Sinéresis del almidón en etapas de crecimiento.....	51
Tabla 14 Apariencia microscópica valores promedio para el diámetro (aumento 20X).54	
Tabla 15 Tamaño y forma de gránulos de almidón comparado con diferentes fuentes.....	55
Tabla 16. Propiedades de empastado almidón modificado por UV-C a diferentes dosis de irradiación con 10 lámparas.	62
Tabla 17. Fuerza de gel por punción (PTP) y Apariencia microscópica almidón modificado UV-C.	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación de la estructura y proceso de calentamiento observado durante el calentamiento y almacenamiento en suspensiones de almidón.....	26
Figura 2. Seguimiento crecimiento fisiológico <i>Arracacia Xanthorrhiza</i>	47
Figura 3. Propiedades de empastamiento de almidón en etapas de crecimiento.....	51
Figura 4. Micrografías gránulos de almidón en estado de crecimiento fisiológico.....	56
Figura 5. Tamaño de granulo para diferentes fuentes de almidón.....	58
Figura 6. Propiedades de empastamiento de almodón Modificado por UV-C con 5 lámparas.....	59
Figura 7. Propiedades de empastamiento de almidón Modificado por UV-C con 10 lámparas.....	60
Figura 8. Microfotografías de los gránulos de almidón nativo y Modificado por UV-C con 10 lámparas.....	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Análisis Estadístico	81
Anexo B. Pruebas De Múltiples Rangos Para Longitud_Cm_Por Mes Crecimiento	82
Anexo C. Tabla Anova Para Peso_G_ Por Mes Crecimiento.....	83
Anexo D. Pruebas De Múltiples Rangos Para Peso_G_Por Mes Crecimiento.....	84
Anexo E. Tabla Anova Para Iaa Por Mes.....	85
Anexo F. Tabla Anova Para Isa Por Mes.	86
Anexo G. Tabla Anova Para Ph Por Mes.	87
Anexo H. Tabla Anova Para Sinéresis % Agua Liberada Por Mes.....	88
Anexo I. Pruebas De Múltiples Rangos Para Sinéresis % Agua Liberada Por Mes	89
Anexo J. Tabla Anova Para Temperatura De Gelatinización [°C] Por Mes.	90
Anexo K. Pruebas De Múltiples Rangos Para Temperatura [°C] Por Mes.	91
Anexo L. Tabla Anova Para Viscosidad Máxima [Bu] Por Mes.	92
Anexo M. Pruebas De Múltiple Rangos Para Viscosidad Por Mes.....	93
Anexo N. Tabla Anova Para Viscosidad Final [Bu] Por Mes	94
Anexo O. Pruebas De Múltiple Rangos Para Viscosidad Final [Bu] Por Mes.....	95
Anexo P. Tabla Anova Para T Por Dosis.....	96
Anexo Q. Prueba De Múltiple Rangos Para T Por Dosis.....	97
Anexo R. Tabla Anova Para V Max Por Dosis	98
Anexo S. Pruebas De Múltiple Rangos Para V Max Por Dosis	99
Anexo T. Tabla Anova Para V Final Por Dosis	100
Anexo U. Pruebas De Múltiple Rangos Para V Final Por Dosis	101
Anexo V. Tabla Anova Para Fuerza Por Dosis.....	102
Anexo W. Pruebas De Múltiple Rangos Para Fuerza Por Dosis.	103
Anexo X. Pruebas De Múltiple Rangos Para Tamaño Por Dosis	104
Anexo Y. Pruebas De Múltiple Rangos Para Tamaño Por Dosis.	105
Anexo Z. Investigaciones Realizadas En <i>Arracacia Xanthorrhiza B.</i> Años 2000 Al 2013.....	93

Anexo A.A. Investigaciones Realizadas En Almidón De *Arracacia Xanthorrhiza* B,
Años. 1999-2016.....93

RESUMEN

Raíces de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) en diferentes etapas de crecimiento fisiológico cultivadas en el municipio de Cajamarca fueron procesadas para extraer almidón. Inicialmente se realizó seguimiento al crecimiento fisiológico desde el mes 7 al 13, con la finalidad de analizar el comportamiento de las propiedades funcionales al almidón nativo; poder de hinchamiento (Ph), Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y propiedades de empastamiento.

Posteriormente se realizó la modificación física con irradiación UV-C a 254 nm al almidón nativo, donde se valoraron aspectos cómo; el efecto de la intensidad de irradiación para 5 y 10 lámparas UV-C con diferentes dosis de exposición en (kJ / m²) 68 – 136 – 204 - 272 y 34,94 – 69,87 – 104,81 – 139,74 respectivamente. Evaluando su influencia sobre las propiedades de empastamiento, fuerza de gel por punción (PTP) y apariencia microscópica.

Los resultados indicaron que el almidón de arracacha en relación a la edad fisiológica de la planta, presentó temperaturas de gelatinización desde 56,8 a 62,2°C. Las raíces recolectadas con 9 y 11 meses de edad mostraron temperaturas de gelatinización más altas, presentando mayor hinchamiento granular, lo que favorece su uso para productos que requieran altas temperaturas de procesamiento, estos pueden ser incluidos como estabilizante para alimentos refrigerados. A diferencia del almidón con edad de 10 meses con 56,8 °C y el almidón modificado con 34,94 kJ/m² generada por el uso de 10 lámparas UV-C, con 53,8°C, que presentaron las temperaturas más bajas de gelatinización, que pueden ser utilizados en sistemas viscosos (cremas, sopas, salsas, etc.), donde se requiere espesar a bajas temperaturas de procesamiento.

Se evidenciaron efectos en el almidón nativo de arracacha, al ser modificado por tratamiento físico UV-C, con intensidad de irradiación de 58,22 W/m², sobre las propiedades de empastamiento y fuerza del gel por punción. La irradiación afectó la

estructura granular, disminuyendo su tamaño de grano desde $(7,45 \pm 0,969)$ μm hasta $(4,32 \pm 0,727)$ con la 2 dosis $(69,87 \text{ kJ/m}^2)$ y su capacidad de hinchamiento. En forma general irradiar genera almidones de fácil cocción pero con menor capacidad de espesamiento, lo cual podría utilizarse para productos donde no se requieren altas viscosidades.

Palabras Clave: Almidón, Arracacha, propiedades fisicoquímicas, Propiedades funcionales, Modificación física, Irradiación UV-C.

ABSTRACT

Roots of Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) in different stages of physiological growth cultivated in the municipality of Cajamarca were processed to extract starch. The physiological growth was monitored from month 8 to 13 for analyzing functional properties of native starch; power of swelling (Ph), water absorption index (IAA), water solubility index (ISA) and pasting properties.

Subsequently physical modification was carried out with UV-C irradiation at 254 nm with different irradiation intensity for 5 and 10 UV-C lamps with different exposure doses in (kJ / m²) 68 - 136 - 204 - 272 and 34,94 - 69,87 - 104,81 - 139,74 respectively. Assessing its influence on pasting properties, gel strength by puncture (PTP) and microscopic appearance.

The results indicated that arracacha starch in relation to the physiological growth presented gelatinization temperatures from 56.8 to 62.2°C. The roots harvested at 9 and 11 months showed higher gelatinization temperatures, presenting greater granular swelling. It could be used for products that require high processing temperatures, these can be included as a stabilizer for refrigerated foods. Unlike the starch with 10 months with 56.8 ° C and the modified starch with 34.94 kJ / m² generated by the use of 10 UV-C lamps, which had the lowest temperatures of gelatinization. It could be used in viscous systems (creams, soups, sauces, etc.), where thickening is required at low processing temperatures.

It was evidenced effects on arracacha starch modified by physical treatment UV-C, with intensity of irradiation of 58.22 W / m², on pasting properties and strength by puncture. The irradiation resulted in a decreased granular size from (7,45 ± 0,969) µm to (4,32 ± 0,727) with the 2 doses (69,87 kJ / m²) and its swelling capacity. In general, irradiation generates easy cooked starches but with less thickening capacity, which could be used for products where high viscosities are not required.

Keywords: Starch, arracacha, physicochemical properties, Functional properties, Physical modification, UV-C irradiation.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo agroindustrial y la comercialización de raíces como la Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), ofrecen posibilidades de gran valor en la economía nacional, lamentablemente por desconocimiento de sus propiedades básicas no se ha facilitado la implementación industrial de esta especie.

Para incentivar al sector productivo y aumentar su competitividad, es necesario impulsar la investigación al respecto de esta raíz, generando nuevo conocimiento, con el objetivo de ofrecer nuevas tecnologías que permitan aumentar su valor agregado, buscando aprovechamiento integral de su recurso genético. La biodiversidad agrícola de la arracacha, está relacionada con las condiciones ambientales y del suelo.

El mercado de la arracacha en Colombia presenta diversidad primaria del género las plantas se han mantenido y dispersado gracias a etnias y culturas indígenas que la cultivan para venta o auto-consumo (Alvarado & Ochoa 2010). *Arracacia xanthorrhiza* la especie del género más conocida, es considerada como uno de los cultivos andinos más importantes y representa, al igual que otras especies, una opción de sostenimiento económico y nutricional para un gran número de familias campesinas en el continente (Rojas, Soto, Pinto, Jäger & Padulosi, 2010).

Colombia sobresale por su volumen de producción, su cultivo se basa en el conocimiento tradicional del agricultor, donde es transferido de generación en generación; aunque la raíz es poco aprovechada (Corpoica, 2003), Su uso como materia prima para la fabricación de dulces, bebidas, fritos y alimentos para animales la hace importante en la industria farmacéutica y cosmética (Sívoli *et al.*, 2005).

El análisis sectorial de arracacha y tubérculos andinos en Colombia 2012-2013 reportó para el año 2011, un total de 7.212 hectáreas cultivadas a nivel nacional, las cuales disminuyeron en 3.661 hectáreas para el año 2013.

Particularmente, el departamento del Tolima es considerado el principal productor de este tubérculo, según cifras del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR (2014), el cual reportó para el año 2013 una producción total de este tubérculo a nivel nacional de 73.124 t/año, un 12% menor respecto al año anterior. El departamento del Tolima tuvo un porcentaje de participación del 31% con una producción de 29.177 toneladas al año (DANE, 2015).

La importancia de participación en la producción a nivel nacional en el departamento del Tolima se presenta por las 4.030 hectáreas cosechadas. De acuerdo a sus rendimientos por toneladas al año, el departamento presenta un crecimiento, pasando de 7,3 toneladas en el año 2013 a 45,80 para el año 2016. (Tolima en cifras 2013-2017). En la tabla 1 se presentan las variaciones en hectáreas cosechadas para los años 2013-2014.

Colombia se destaca entre los países andinos por tener las mayores áreas de producción comercial de arracacha (Vásquez, Medina & Lobo, 2004). El Tolima en cifras (2014) reporta que el departamento se ha caracterizado por ser el principal productor de arracacha a nivel nacional (Base agrícola EVA 2007-2014) y el municipio de Cajamarca además de ser considerado “la despensa agrícola de Colombia”, cuenta con una participación del 69,2%, siendo el principal cultivo de la zona y el mayor productor a nivel nacional (Cajamarca en cifras, 2000-2010). este municipio se caracteriza por la buena productividad, debido al gradiente altitudinal que retarda la producción del cultivo, éste puede demorar entre doce y dieciséis meses, de acuerdo con la temperatura promedio de la zona en que se siembre (Evaluaciones Agropecuarias Municipales, 2010; Agronet, 2014; Valenzuela-Real, Bohórquez-Pérez, Bermeo-Andrade & Sánchez-Riaño, 2016).

Tabla 1 Área cosechada y producción de arracacha en 9 Departamentos de Colombia (2013-2014).

Cultivo	Área Cosechada (ha)				
	Año 2013	Participación %	Año 2014	Participación %	Variación 2014/2013
Total 9 departamentos	6.887	100	7.853	100,0	14,0
Antioquia	307	4,5	318	4,0	3,6
Boyacá	917	13,3	1.017	13,0	10,9
Cauca	90	1,3	104	1,3	15,6
Cundinamarca	368	5,3	409	5,2	11,1
Huila	473	6,9	578	7,4	22,2
Nariño	333	4,8	370	4,7	11,1
Norte de Santander	842	12,2	982	12,5	16,6
Santander	566	8,2	533	6,8	-5,8
Tolima	2.991	43,4	3.542	45,1	18,4
Cultivo	Producción (t)				
	Año 2013	Participación %	Año 2014	Participación %	Variación 2014/2013
Total 9 departamentos	66.903	100,0	77.777	100,0	16,3
Antioquia	2.763	4,1	2.862	3,7	3,6
Boyacá	8.540	12,8	11.085	14,3	29,8
Cauca	652	1,0	786	1,0	20,6
Cundinamarca	3.173	4,7	3.587	4,6	13,0
Huila	3.199	4,8	3.878	5,0	21,2
Nariño	2.271	3,4	2.501	3,2	10,1
Norte de Santander	11.737	17,5	13.578	17,5	15,7
Santander	5.391	8,1	4.828	6,2	-10,4
Tolima	29.177	43,6	34.672	44,6	18,8

Fuente: base agrícola Eva 2007-2014

El cultivo puede almacenarse en tierra durante dos meses, sin embargo; este almacenamiento desmejora el sabor del producto y se castiga con menores precios de compra (Gutiérrez, 2011). Existen problemas en la comercialización en fresco y este tema en una de las mayores preocupaciones de los productores ya que por su alta perecibilidad y la falta de técnicas de conservación adecuadas, conduce a que cerca del 40% de la producción se pierda en la etapa de mercadeo, siendo en la actualidad la venta en fresco la única opción de comercialización, así como la inexistencia de empresas que realicen productos de su harina como materia prima base (Idarraga, Tocora, Camacho & Silva, 2011).

El DANE (2014), señala que esta raíz presenta una tendencia a bajar en su cotización, debido al aumento de las zonas de cultivo. Este hecho, desencadena problemas en su comercialización en fresco y pérdidas postcosecha. Frente a esto se debe destacar del procesamiento de la raíz, la buena calidad de su almidón y su alto contenido en caroteno, calcio, fósforo y hierro, potencializando variedad de productos. La harina de arracacha puede utilizarse en alimentos como cremas para consumo en caliente, bebidas lácteas, dulces y productos panificados (tortas, galletas, y pan).

A pesar de su alta potencialidad para la agroindustria y sus cualidades nutricionales, *Arracacia xanthorrhiza* es una especie a la que no le han dado la suficiente importancia dentro de los planes de desarrollo agrícola, posiblemente por su manejo empírico y desconocimiento de las tecnologías apropiadas para su transformación. Por lo que su mercadeo refleja pérdidas del producto en fresco.

La industria del almidón está en constante expansión, y los procesos de modificación aumentan su versatilidad, lo que hace centrar el interés por nuevas fuentes de almidón valorando el grado de desarrollo de los gránulos al momento de evaluar su posible aplicación, dado que de acuerdo a su caracterización, rendimiento y calidad, se podrá identificar al almidón de arracacha como sustituyente parcial o total de materias primas tradicionales como el trigo o el maíz, adecuando su uso en la industria alimentaria, farmacéutica o cosmética.

La posibilidad de formar geles en productos instantáneos que necesitan tener consistencia y cuerpo, o como espesante mejorando la estabilidad del gel a baja temperatura sin presencia de sinéresis. Además de otros usos no alimentarios, como adhesivo para la industria del papel. La funcionalidad del almidón es la clave para la utilización industrial y define su comportamiento durante el procesamiento, almacenamiento y preparación.

Poder adaptar sus características fisicoquímicas, a través de la modificación UV-C, como una alta pureza, sabor neutro, fácil hinchamiento, solubilización, desarrollo de viscosidad considerable y una baja tendencia a retrogradar, de acuerdo a su propósito industrial, dará un valor agregado a este alimento (Corpoica, 2003), minimizando las pérdidas en el cultivo, por tener un corto periodo de vida de almacenamiento (Azahuanche & Luna, 2007).

Las aplicaciones de modificaciones de almidón (físicas o químicas) pueden aumentar el uso de almidones no convencionales y residuos vegetales que contienen almidón en la industria dentro de los cuales se encuentra la arracacha (Alcázar *et al.*, 2015). Azahuanche & Luna (2007) en los últimos años indican investigaciones de nuevas fuentes naturales de almidón y en el caso de *Arracacia xanthorrhiza*, se plantea la necesidad de caracterizar sus componentes y conocer mejor sus propiedades, para contar con una herramienta que permita optimizar su campo de aplicación en la transformación de almidón de arracacha, el cual estimularía la creación de empresas en el sector, incremento del valor agregado del cultivo y especialización del mismo (Acosta, Blanco, & Matiz, 2013).

Adarve & Mejía (2012) postulan que la industria hoy en día, se halla en búsqueda de almidones nativos que presenten ciertas propiedades específicas de tolerancia a diferentes tratamientos industriales estresantes que deterioran la estructura del gel de almidón, por ejemplo: resistencia a un pH de 2,4 durante un periodo de uno a dos meses (concentrado de tomates); resistencia a una esterilización de dos horas a 121°C (norma de alimentos para bebés); congelación a -20°C (productos congelados).

En investigaciones sobre modificación de almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) se encuentran artículos relacionados con la evaluación y caracterización de algunas sus propiedades por medio de modificación química. Carrascal (2013), realiza un estudio comparativo entre las propiedades funcionales del almidón nativo de arracacha no modificado, el almidón nativo de arracacha modificado y el almidón modificado de maíz, encontrando que almidones nativos, como el de arracacha, no resisten la exposición a alta temperaturas o valores de pH extremos. Por eso, en muchos casos es necesario modificar algunas de sus propiedades por vías químicas, físicas o microbiológicas, con el objetivo de superar las limitaciones que posee. Varios estudios han llegado a la conclusión de que es posible producir una nueva generación de detergentes en los que los tensoactivos y los componentes blanqueadores se derivan por completo del almidón. Se estima que del 50 al 60% de los productos químicos en formulaciones para detergentes en polvo y del 65 al 75% en formulas líquidas podrían sustituirse por productos derivados del almidón (Alcázar *et al.*, 2015).

Fortalecer económicamente el cultivo de arracacha, con su aprovechamiento integral y funcional, ampliara su competitividad en el mercado frente a otros cultivos más sobresalientes como el arroz, maíz y la papa (Ministerio de agricultura y desarrollo rural – MADR, 2014).

Considerando lo expuesto, el objetivo del presente estudio es caracterizar fisicoquímicamente y evaluar las propiedades funcionales del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), extraído durante diferentes etapas de su desarrollo fisiológico y posteriormente modificarlo por irradiación UV-C, de raíces cultivadas en el municipio de Cajamarca (Tolima). El estudio realizó la evaluación del desarrollo del granulo de almidón a diferentes meses de edad fisiológica, determinando sus propiedades fisicoquímicas, con el fin de valorar su potencial agroindustrial, su funcionalidad y beneficios con respecto al de otras fuentes usadas en la industria agroalimentaria. Posteriormente, se realizó modificación física del almidón nativo a través de tratamiento físico de irradiación UV-C, con el fin de determinar su efecto sobre las propiedades funcionales con el fin de tener alternativas de transformación en el sector agroindustrial para esta cadena productiva.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Efectuar la caracterización fisicoquímica y funcional del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), extraído durante diferentes etapas de desarrollo, para evaluar sus propiedades funcionales en comparación con almidón modificado físicamente por irradiación UV-C.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extraer y caracterizar fisicoquímicamente el almidón de *Arracacia xanthorrhiza* , determinando las propiedades funcionales de poder de hinchamiento, solubilidad e índice de absorción de agua durante las diferentes etapas de desarrollo a partir del 7 mes de crecimiento hasta el mes 13 de cosecha.
- Evaluar el efecto de la irradiación UV-C del almidón de *Arracacia xanthorrhiza*, sobre las propiedades de empastamiento, apariencia microscópica y fuerza de gel por punción.
- Comparar el almidón de *Arracacia xanthorrhiza* nativo y modificado por UV-C sobre las propiedades de empastamiento, apariencia microscópica y fuerza de gel por punción.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 ALMIDÓN

El almidón constituye la forma más generalizada, aunque no la única de reserva de energía en los vegetales, es usualmente aislado de diversas fuentes como cereales, leguminosas, raíces y frutas. En estas últimas varía con el estado de madurez (Guerra-Della Valle *et al.*, 2008). Se almacena en forma de gránulos, estos pueden presentar diversas formas; elongada, oval, elipsoidal, esférica, lisa o aplanadas, angular, lenticular con un surco longitudinal. La acumulación de gránulos de almidón, la forma, el tamaño, la estructura y la composición es única para cada especie botánica (Alcázar *et al.*, 2015). Tienen tamaños microscópicos con diámetros que van de 0,1 a 200 micras (Hoover 2002; Singh *et al.*, 2003; Blazek *et al.*, 2009). El almidón presenta, pequeñas cantidades de minerales como calcio, magnesio, fósforo, potasio y sodio, donde el componente principal corresponde a los monoéster fosfatos en concentraciones inferiores al 0,4% (Singh, 2003).

Las características asociadas con el gránulo tales como la forma, el tipo de superficie y grupos fosfato influyen sobre las propiedades y usos del almidón (Alcázar *et al.*, 2015; Smith, 2001). El método de aislamiento de ciertos almidones nativos es importante porque puede afectar potencialmente el tamaño original de los gránulos de almidón en la observación microscópica (Lawal, Lapasin, Bellich & Olayiwola 2011).

Se forma en los cloroplastos de las hojas verdes y amiloplastos, responsables de la síntesis de reservas de almidón de cereales y tubérculos (Acosta *et al.*, 2013). Se deposita en capas concéntricas sucesivas y superpuestas alrededor de un núcleo central, formando así un gránulo compacto (Hoover, 2002).

La amilosa y la amilopectina se pueden organizar en una estructura semicristalina que forma una matriz de gránulos de almidón con el material amorfo (amilosa) y cristalina

(amilopectina), que se conoce como los anillos de crecimiento en el almidón de plantas superiores (Alcázar, 2015).

En términos generales los almidones contienen aproximadamente 17-27% de amilosa, y el resto de amilopectina (Peñaranda, Perilla & Algecira, 2008). En la proporción amilosa / amilopectina, la longitud de las cadenas de amilopectina, muestran relación con el tamaño de los gránulos del almidón y efectos en la velocidad de retrogradación causando endurecimiento para los productos a base de almidón durante su almacenamiento (Aristizábal, Sánchez & Mejía 2007). Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización (Badui - Dergal, 2006).

Badui - Dergal (2006); Peñaranda *et al.*, (2008), describen que la amilopectina, se diferencia de la amilosa por las ramificaciones que le dan una forma molecular similar a las de un árbol; las ramas están unidas a un tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α (1-6), localizadas cada 15-25 unidades de glucosa. La macromolécula posee un peso molecular comprendido de 107 a 108 gramos/mol, es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Guan & Hanna 2004).

La estructura molecular de la amilopectina podría utilizarse para indicar los posibles usos de los almidones y predecir su comportamiento, cuando se incorporan al sistema alimentario u otras aplicaciones industriales (Raphael *et al.*, 2011). La longitud de las cadenas de glucano, proporción de amilosa-amilopectina y el grado de ramificación de esta última definen drásticamente el tamaño, estructura del gránulo y utilidad del almidón particular de cada especie (Tofiño *et al.*, 2006). Algunos almidones están constituidos exclusivamente por amilopectina y son conocidos como céreos, la amilopectina de papa es la única que posee en su molécula grupos éster fosfato, unidos más frecuentemente en una posición O-6, mientras que el tercio restante lo hace en posición O-3 (Santacruz, 2005). (Ver tabla 2)

Tabla 2 Propiedades de la amilosa y la amilopectina del almidón en plantas superiores.

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura Molecular	Lineal α (1-4)	Ramificada α (1-4), α (1-6)
Dilución en solución	Inestable	Estable
Geles	Firme e irreversible	Suave y reversible
Formación de complejos	Favorable	Desfavorable
Susceptibilidad a la retrogradación	Grande	Pequeña
Masa Molecular	$1-2 \times 10^5$	$>2 \times 10^7$
Longitud de onda de absorción máxima del complejo de Yodo	644 nm	544 nm
Afinidad por el yodo	$20,1 \text{ g (100g)}^{-1}$	$1,1 \text{ g (100g)}^{-1}$
Grado de polimerización	2660	7000

Fuente: Tofiño *et al.*, 2006.

La amilosa es el componente minoritario (Vamadevan *et al.*, 2015), es un polímero lineal con cadenas más largas que la amilopectina. Con unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en el cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa, la cual adquiere fácilmente una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice tiene seis moléculas de glucosa (Cuervo *et al.*, 2012). La amilosa generalmente se encuentra entre 1000 unidades de glucosa por molécula de amilosa, tiene afinidad por el yodo y sus moléculas contienen segmentos hidrofílicos e hidrofóbicos (Thomas *et al.*, 1999).

La presencia de amilosa ha atribuido a la formación de geles, presentando una fuerte tendencia a formar complejos con lípidos y otros componentes, observándose como un núcleo hidrófobo situado dentro de hélices formadas por cadenas de amilosa. Los lípidos en los gránulos de almidón, a pesar de representar una pequeña fracción, pueden reducir significativamente la capacidad de hinchamiento de la pasta de almidón (Alcazar *et al.*, 2015). Mientras que la amilopectina, tiene efectos estabilizantes (Rodríguez, Espitia,

Caicedo, Córdoba, Baena & Mora, 2005). La producción de niveles elevados de amilosa (70-90%) por algunos genotipos de maíz y otros cereales, es importante para la fabricación de golosinas debido al alto poder de gelificación (Tofiño *et al.*, 2006). Alayo Sánchez, (2015) menciona que los almidones ricos en amilosa mantienen su forma cuando se moldean; gelifican, mientras los almidones con 100% amilopectina (almidones céreos) espesan, pero no gelifican, tienen bajo contenido de grasa y alta digestibilidad, por lo cual es de importancia en la producción de alimentos y en la industria de películas y adhesivos por su baja retrogradación (Tofiño, *et al.*, 2006). El contenido de amilosa de almidón de diversas procedencias varía; para granos de cereales: 26-28%, raíces y tubérculos: 17-23% y variedades céreas de amilosa 0%.

La combinación entre el contenido de proteína, la concentración de lípidos y las características de los alfa glucanos dentro del almidón, determinan la capacidad de hinchamiento del almidón, principalmente durante la gelatinización debido a que la concentración de lípidos mono acíclicos inducen la formación de un complejo amilosa-lípido-proteína el cual restringe el hinchamiento y la dispersión de los gránulos disminuyendo la solubilidad de la amilosa lo que genera una baja viscosidad (Pinilla, 2010), los orígenes de las proteínas y los lípidos en el almidón se encuentran en la superficie del gránulo (Alcázar *et al.*, 2015). Se destaca el papel de la amilosa en la resistencia inicial de los gránulos a la hinchazón y la solubilidad (Singh, 2003). Al relacionar estas combinaciones con el almidón de arracacha en su 13 mes de crecimiento, presenta forma poliédrica de tamaño $7,502 \pm 0,99$ compuesto por 9,65% de grasa, 0,97% de proteína cruda 0,11% de cenizas y un 89,27% de carbohidratos. La relación de los lípidos como componente del almidón mediante la asociación con las fracciones de amilosa en contenidos superiores al 2% (Bs), además es posible encontrar otros compuestos grasos sobre la superficie de la partícula del almidón como triglicéridos, glicolípidos, fosfolípidos y ácidos grasos libres contaminantes del almidón derivados de la membrana de los amiloplastos (Pinilla, 2010).

Para lograr entender el papel del almidón como espesante se debe comprender su composición química respecto a sus polisacáridos lineales y ramificados junto con el

desempeño que realizan estos compuestos químicos en la gelatinización y la gelificación del almidón (Kaur *et al.*, 2007), que constituyen una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos (Zamudio, Vargas, Gutiérrez & Bello 2010)

2.1.1 Propiedades fisicoquímicas del almidón. Las características asociadas con el gránulo como la forma, el tipo de superficie y los grupos fosfato influyen en las propiedades (Alcázar *et al.*, 2015). Para determinar la utilización del almidón, las propiedades más importantes a considerar son la gelatinización, retrogradación, sinéresis, viscosidad, solubilidad, poder de hinchamiento, absorción de agua y el comportamiento reológico (Herrera, 2014).

2.1.1.1 Gelatinización: El almidón experimenta un proceso de transición, durante el cual los gránulos se descomponen en una mezcla de Polímeros en solución, conocidos como gelatinización (Ubwa *et al.*, 2012). La gelatinización y empastamiento son los primeros cambios que sufren los gránulos de almidón cuando estos son calentados con agua (Ascheri *et al.*, 2014); Hernández *et al.*, (2008) menciona que, durante este proceso, con la combinación de exceso de agua, calor y cizallamiento, el orden molecular entre los gránulos de almidón es destruido y la parte amorfa se hidrata completamente lo que provoca, que la zona cristalina empiece a desaparecer.

La temperatura donde los gránulos se hinchan y absorben agua, causando un aumento en su viscosidad y su pegado, se conoce como temperatura de gelatinización. Cuando los gránulos continúan expandiéndose, la amilosa lixivia a la fase intergránular acuosa, llevando a un aumento sustancial en la viscosidad de la muestra (González, Olguín, Loayza & Severich, 2014). Este proceso hace que la temperatura de gelatinización sea característica para cada tipo de almidón, (Hernández *et al.*, 2008), además que dependa fundamentalmente de la transición vítrea de la fracción amorfa del almidón, (Ubwa *et al.*, 2012) del tipo de planta, de la cantidad de agua presente, tipos de pH, concentraciones de sal, azúcar, grasa y proteína en el medio, grado de reticulación de la amilopectina,

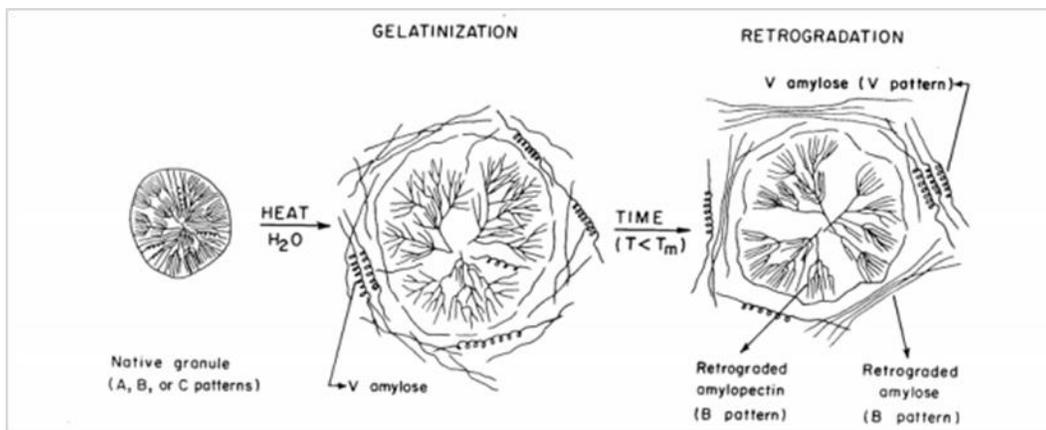
cantidad de gránulos de almidón dañados, así como la tecnología de transformación utilizada.

Alemán, (2012) y Biliaderis, (1991) mencionan tres procesos basados en la termodinámica de no-equilibrio, que constituyen el fenómeno de la gelatinización del almidón; la difusión de agua dentro de los gránulos de almidón, un proceso de fundición caracterizado por una transición hélice-enrollamiento que es facilitada por la hidratación y el hinchamiento del gránulo como resultado de la desintegración de los cristales.

2.1.1.2 Retrogradación: Nuñez-Santiago, Bello-Pérez, & Tecante, (2004), definen la retrogradación como proceso subsecuente a la gelatinización, el cual tiene lugar, cuando una dispersión de almidón se enfría, resultando en cambios de textura indeseables en el almacenamiento de alimentos (Santacruz, 2005). Este fenómeno, ocurre cuando las cadenas lineales de almidón, las moléculas de amilosa, se re-asocian entre sí, a través de sus múltiples grupos hidroxilos por medio de puentes de hidrógeno, experimentando cambios como la reorganización de las moléculas para formar un precipitado insoluble (Alemán G, 2012); esta asociación tiende a que se retenga agua en los intersticios (Herrera, 2014). Al producirse la retrogradación, la pasta de almidón se vuelve cada vez más opaca y forma un gel que se puede cortar.

2.1.1.3 Con el tiempo ese gel se vuelve elástico y tiene una tendencia a liberar agua. Esa liberación de agua se conoce como sinéresis (Aristizábal *et al.*, 2007). La retrogradación, es un fenómeno complejo y depende de varios factores, tales como el tiempo y la temperatura de almacenamiento (Santacruz, 2005), la concentración de almidón, la temperatura de cocción, enfriamiento, el pH y la presencia de solutos. Biliaderis (1991), hace referencia igualmente a los cambios que tienen lugar en el almidón gelatinizado desde un estado amorfo inicial a uno cristalino más ordenado por formación de enlaces de hidrógeno. Rodríguez *et al.*, (2005) menciona que ocurre porque los geles de almidón no son termodinámicamente estables y se produce cuando se enfrían los alimentos cocinados. A medida que empieza a bajar la temperatura y durante su almacenamiento se presentan transformaciones estructurales, reorganizando su estructura cristalina de los almidones (Hernández *et al.*, 2008). La velocidad de retrogradación depende de varios factores como son la longitud de las cadenas de la amilopectina, de la concentración de lípidos, así como de la presencia de derivados de monoéster y fosfatos, lo que causa geles de almidón que llegan a ser menos solubles durante el enfriamiento debido a la recristalización de las moléculas de almidón, las cadenas de amilopectina son responsables por los fenómenos de retrogradación que se generan a largo plazo, mientras que la amilosa se relaciona con los cambios a tiempos más cortos, (Gudmundsson, 1994).

Figura 1. Representación de la estructura y proceso de calentamiento observado durante el calentamiento y almacenamiento en suspensiones de almidón.



Fuente: Biliaderis (1991).

2.1.1.3 Congelación-descongelación y sinéresis. Durante el almacenamiento en frío o en la congelación de un gel de almidón, se produce una organización en las moléculas con la formación de cristales de hielo lo que produce mayor concentración de almidón en la fase de descongelación; formando agregados cristalinos, opacidad en la suspensión y la separación de las fases entre el polímero y el solvente, que dan como resultado la exudación de agua o mejor conocido como sinéresis. Ocasionando cambios en las propiedades funcionales del mismo, (Alemán, 2012). Aquí la amilosa sufre una retrogradación cuando el gel es sometido a procesos de congelación/descongelación, transforma el gel en una estructura más elástica (Santacruz, 2005; & Gudmundsson, 1994). Conforme el agua se congela y se descongela, el agua que se forma por la fusión de los cristales no se reasocia con el almidón, por tanto, esta propiedad debe ser considerada en la formulación de alimentos congelados (Vaclavick *et al.*, 1998).

2.1.1.4 Apariencia microscópica tamaño de gránulo: Los gránulos de almidón se encuentran en un sistema polimérico semicristalino, donde la cristalinidad varía de 15 a 45% y es atribuida a las cadenas cortas lineales de la amilopectina, que forman dobles hélices organizadas en una estructura cristalina tridimensional (Hernández *et al.*, 2008). Para la *A. xanthorrhiza* el tamaño del gránulo varía entre 7 – 23 micras y presentan forma irregular, (Santacruz, 2005). Tanto la forma como el tamaño del gránulo están profundamente relacionadas con el orden de la amilopectina y la amilosa dentro del gránulo. Así, cortas cadenas ramificadas de amilopectina forman gránulos ovalados y pequeños, mientras que cadenas largas forman gránulos más grandes (Hernández, Cocha, & Medina 2017). Ascheri *et al.*, (2014) & Leonel *et al.*, (2002), mencionan que el cristal característico de los gránulos de almidón en tubérculos presenta picos de alta intensidad a 5, 6, 15, 17, 22, y 23°; indicando un cristal tipo B a través de difracción de rayos X, el tamaño de los gránulos varía de 1 μm a 100 μm y de acuerdo a esto, se clasifican en gránulos grandes (>25 μm), medianos (10-25 μm), pequeños (5-10 μm) y muy pequeños (< 5 μm), (Alayo 2015, Rodríguez *et al.*, 2005).

2.1.1.5 Firmeza de gel: Sandhu & Kaur (2010), mencionan que la firmeza del gel es causada principalmente por la retrogradación de los geles de almidón, que se asocia con la sinéresis del agua y la cristalización de la amilopectina, lo que conduce a geles más duros debido a un mayor contenido de amilosa y cadenas de amilopectina más largas. Casas & Pardo (2005), en pruebas de perfil de textura comparando mezclas de almidón con hidrocoloides, describen los geles como duros, firmes, frágiles y no elásticos.

2.1.2 Propiedades Funcionales. Ascheri *et al.*, (2014), nombra dentro de las propiedades funcionales más importantes del almidón para aplicaciones alimentarias la transparencia, opacidad del gel, gelatinización, retrogradación, solubilidad, hinchamiento, absorción agua, sinéresis y viscosidad de la pasta.

2.1.2.1 Poder de hinchamiento (PH): El hinchamiento de los gránulos y la disrupción da lugar a una masa viscosa (la pasta) que consiste en una fase continua de amilosa y/o amilopectina solubilizadas y una fase discontinua de restos de los gránulos (membranas y fragmentos). Ratnayake, Hoover, & Warkentin, (2002); señalan que, el poder de hinchamiento y la solubilidad pueden ser utilizados para evaluar el grado de interacción entre las cadenas de almidón dentro de las zonas amorfas y cristalinas del gránulo otros estudios han indicado que un mayor poder de hinchamiento es un indicio de fuerzas de unión más débil en los gránulos de almidón que al modificarlo químicamente cambia la estructura de la molécula y por lo tanto su capacidad de hinchamiento, esto se ve reflejado en la disminución de la viscosidad (Kaur *et.*, al 2007).

2.1.2.2 Índice de absorción de agua (IAA): El almidón tiene la habilidad de enlazar las moléculas de agua, propiedad importante en las aplicaciones donde se requiere una textura seca o con consistencia (González *et al.*, 2014). Las diferencias en el IAA de almidones nativos, puede estar relacionada con la variedad de la fuente biológica, el tamaño y la forma del gránulo (Lozano *et al.*, 2013). La retención de agua es un proceso notablemente influido por el estado físico, cristalino o amorfo, bajo el que se encuentran las redes moleculares que por otra parte va a depender del procesamiento. Así, el pretratamiento que deben recibir los almidones modificados influye de modo intenso en la absorción de agua, pues el fenómeno de gelatinización transforma la red cristalina, que en estado amorfo suele ser bastante impermeable al agua.

2.1.2.3 Índice de solubilidad en agua (ISA): Lozano *et al.*, (2013) presenta variación del ISA de la yuca entre 0,27-12,32%, comportamiento causado por un aumento en las temperaturas de reacción. Radosta *et al.*, (2004), enuncia que los almidones muestran mayor grado de sustitución y consecuentemente mayor grado de modificación, disminuyendo ISA mediante cambios en la estructura del almidón y un aumento en la degradación dispersando las moléculas de amilosa y amilopectina con la temperatura.

2.1.2.4 Propiedades de Empastamiento: Ascheri *et al.*, (2014), menciona que la viscosidad de la pasta es una de las más importantes propiedades de los materiales almidonados. Junto con la característica de empastamiento en la dispersión granular; una alta viscosidad de la pasta es adecuada como agente espesante en alimentos y como agente de acabado en las industrias textiles y de papel (Wani *et al.*, 2012). La curva de viscosidad representa el comportamiento durante el calentamiento y permite evaluar las características de la pasta formada, debido a modificaciones estructurales de las moléculas de almidón y retrogradación durante el enfriamiento y almacenamiento. Esto incluye retrogradación a corto plazo principalmente por la amilosa y la retrogradación a largo plazo por la amilopectina (Zhou & Lim, 2012).

2.2 ALMIDON DE ARRACACHA

Autores como Guerra & Martínez (INIAP Ecuador, 2004) referencian que esta raíz es considerada un cultivo prometedor de entre las nueve especies de raíces andinas muy utilizada en la mayoría de países latinoamericanos, rico en almidón, con un contenido de 81,85% y 72% (Base seca). Autores como Quiroga (2009); Azahuanche & Luna (2007); reportan contenidos de amilosa y amilopectina con valores que van desde 10,33 – 20,00 % en amilosa y 80,00 – 89,67% en amilopectina. Acosta *et al.*, (2013) menciona que la composición de este almidón varía significativamente, dependiendo de la variedad de arracacha. En la variedad amarilla es aproximadamente 10,33 % y 89,67%, blanca 19,17% y 80,83% y morada 20% y 80% respectivamente (Azahuanche & Luna, 2007). Santacruz (2005) por su parte señala que, el almidón de arracacha se caracteriza por tener un alto contenido de amilopectina, con una longitud de cadena de 22,6; además su contenido de amilosa se encuentra en un 4%, lo cual podría ser una alternativa interesante a los almidones modificados de alto contenido de amilopectina, comparados con otras fuentes nativas de almidón, donde los contenidos de amilosa van desde 4,1%, hasta el orden de 31,6% (Kaur *et al.* 2007).

Estudios sobre esta raíz, de la Universidad Nacional de Cajamarca en Perú (2013), destacan que, aunque la arracacha es poco reconocida científicamente, representa un alimento tradicional, con importantes valores nutricionales, aportando calorías, fibra y minerales. Mencionando además que posee apreciables contenidos de potasio 2,13%, hierro 139,5 ppm, vitamina C 13 mg/100 g de materia fresca; 27,78 equivalentes de retinol (ER) en provitamina A, 27,28 en 100g de materia fresca (Espín *et al.*, 1991). Espín, (1991) la recomiendan para niños que empiezan a consumir alimento sólido, ancianos, convalecientes, etc. Además, es un producto ecológicamente sano, en cuya producción no se usa fertilizantes ni pesticidas.

Tienen muy poco contenido de amilosa < 4, es una fuente de almidón con alto contenido en amilopectina, es fácilmente digerible y es importante para aplicaciones alimentarias (Charlotte, 2004). Teniendo en cuenta el índice glucémico de la respuesta metabólica del cuerpo hacia esta raíz, se debe tener en cuenta el tamaño de las partículas ya que cuanto menor sea el tamaño de la partícula, mayor será el índice glucémico, además

del grado de gelatinización ya que al ser mayor el grado de gelatinización de los gránulos, mayor será su índice glucémico, y por último la relación amilosa/ amilopectina, este es mayor para la amilopectina debido a que las enzimas digestivas atacan mejor su estructura encadenada. Además hay evidencias que la amilosa no es totalmente digerida por las enzimas digestivas (Tablas de índice glucémico, 2000); Sívoli *et al.*, (2005) reporta que su temperatura de gelatinización empieza a los 49 °C y termina a los 65 °C. Acosta *et al.*, (2013) reporta una temperatura de $57,5 \pm 1,29$ °C y coinciden en que esta temperatura es menor que la que se da en todos los almidones, reflejando una baja estabilidad y baja energía de red de su estructura cristalina, la característica distintiva es que presenta porcentaje de sinéresis relativamente alto (Sívoli *et al.*, 2005). Ledezma (2009), indica que para el almidón de arracacha el proceso de gelatinización inicia a temperaturas bajas y su temperatura de empaste es 50,8°C, esto permite obtener almidones que no requieren un posterior calentamiento para adquirir sus propiedades espesantes.

Santacruz (2005) el almidón nativo de *Arracacia xanthorrhiza* contiene pocos lípidos, los cuales juegan un papel importante en el control del envejecimiento del almidón mediante la inhibición de la retrogradación, los geles de este almidón exhiben baja retrogradación y pueden ser usados en la industria de alimentos para productos almacenados a bajas temperaturas.

A continuación, en la Tabla 3 se comparan algunas propiedades fisicoquímicas de diferentes almidones nativos

Tabla 3. Valores de las propiedades fisicoquímicas y térmicas en diferentes fuentes de almidón nativo.

Muestra	Amilosa%	pH	SP 60°C	Solubilidad 60°C	Claridad de la pasta	Tamaño de granulo	Viscosidad Max BU
Papa	25,4 ¹	5,8	18,0	3,9	OP		
Patata dulce	19,1 ¹ 18,21 ³	5,7	3,1 43,6(g/g) ⁴	- 16,9 ⁴	OP	37,12 ³	2494 ³
Arracacha	23,0 ²	5,3	17,6	4,0	TL		
Cassava	18,6 ¹	5,9	18,8	4,4	TR		

Fuente: Takizawa *et al.*, 2004. 1Hoover (2002); 2Leonel and Cereda (2002); 3(Kaur *et al.*, (2007); 4 Sandhu & Kaur (2010); OP=opaca; TL=Traslucida; TR=Transparente.

Son pocas las investigaciones realizadas sobre la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) en los últimos 16 años. Para el año 2011 se presenta un aumento con 9 investigaciones, al contrario del año 2013 año donde solo registra un estudio. El criterio de búsqueda fue almidón de Arracacha, modificación física, irradiación UV-C. Investigaciones realizadas en *Arracacia xanthorrhiza* B. años 2000 al 2013 (ver anexo 26) y en almidón de *Arracacia xanthorrhiza* B. años 1999-2016 (ver anexo 27). Los países que presentan más artículos científicos son Brasil, Estados Unidos, Venezuela, Colombia, Perú, Bélgica, Ecuador y Puerto Rico.

Las áreas más importantes donde se realizan estas investigaciones corresponde un 81,2 % para agricultura y ciencias biológicas, 17,4% para bioquímica, 8,7% química. Sobre investigación en almidón de arracacha se reducen los resultados, siendo el nivel máximo de investigación de 2 artículos aproximadamente por año.

Carrascal (2013) modificó almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*, variedad amarilla) mediante acetilación con anhídrido acético a diferentes niveles variando el volumen adicionado. Donde evaluó algunas de sus propiedades funcionales, utilizando almidón de maíz como referencia, esta investigación se realizó con el fin de sugerir su posible uso como auxiliar farmacéutico.

Los almidones con modificación química por acetilación generalmente muestran mejor claridad de pasta y estabilidad, menor tendencia a la retrogradación y aumento en la estabilidad al congelamiento – descongelamiento (Rincón *et al.*, 2007). Rodríguez *et al.*, (2005) realizan la caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón de arracacha amarilla, evaluando su aplicación en las industrias farmacéutica, cosmética y/o alimentaria. De acuerdo a los resultados obtenidos este almidón puede conferir propiedades aglutinantes, con capacidad para actuar como desintegrante y ser considerado como posible diluyente.

Kivia, Albano, Franco, Vânia & Telis (2014), evaluaron el comportamiento reológico de los geles de almidón de zanahoria peruana (Arracacha) variando su temperatura y concentración, el almidón resulta más viscoso o más elástico. Estos pueden ser aplicados en diferentes alimentos tipo gel, por presentar baja temperatura de gelatinización lo que contribuye a una fácil cocción y alta digestibilidad por otro lado cuenta con alta susceptibilidad a la intensa cizalladura. Cuervo *et al.*, (2012) evaluó el efecto de la modificación de almidón de arracacha y la concentración del plastificante sobre las propiedades mecánicas de películas biodegradables.

2.3 ALMIDON NATIVO Y MODIFICADO

Amani *et al.*, (2008) menciona que el uso de almidones es importante porque regulan y estabilizan la textura de los alimentos de acuerdo a sus propiedades espesantes y gelificantes. Sin embargo, la estructura nativa del almidón a veces resulta poco eficiente, al provocar una baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (ya que ciertas condiciones en los procesos tecnológicos, al ser aplicados industrialmente tales como temperatura, pH y presión, reducen su uso (Herrera, 2014).

El almidón es utilizado en la industria alimentaria, de stikers, textil, elaboración de tintes, imprentas, fabricación de papel. Tiene múltiples funciones entre las que cabe destacar:

adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, conservante para el pan, gelificante, aglutinante, etc. (Azahuanche, & Luna, 2007).

Aunque existe la preocupación por el uso de almidones modificados en la industria alimenticia, este debe ser modificado para mejorar sus propiedades (Zamudio *et al.*, 2010), eliminando de esta forma las deficiencias en sus características nativas (Alcázar *et al.*, 2015). Se ha recurrido a métodos de modificación químicas, físicas o enzimáticas que provocan cambios en su estructura y en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (Rivas, 2012). En la mayoría de las investigaciones sobre modificación física de almidón por UV se emplea una fuente artificial de UVC. La radiación solar ultravioleta (UV) se puede clasificar en UVA (315 - 400 nm), UVB (280 - 315 nm) y UVC (100 -280 nm) (Vatanasuchart *et al.*, 2005).

Ubwa (2012) y González *et al.*, (2014) nombran algunos almidones modificados usados en la elaboración de alimentos. López (2011), los métodos para modificar los almidones nativos pueden clasificarse en físicos o químicos. En la Tabla 5 se visualizan algunos usos y estado físico de los almidones modificados físicamente. Estos métodos de modificación física utilizan calor y humedad (pregelatinización); mientras que los métodos químicos involucran la introducción de grupos funcionales dentro de las moléculas constituyentes del almidón mediante reacciones de derivatización (eterificación, esterificación, entrecruzamiento o grafting) o reacciones de Introducción o descomposición (hidrólisis ácida o enzimática y oxidación).

Modificar cualquier almidón involucra cambios en su estructura granular, molecular y cristalina para aplicaciones específicas, (Andino Ortiz, 2008). Muchas veces, un almidón es mucho más sensible a la modificación dependiendo del tamaño del gránulo, estructura y origen botánico (Sívoli *et al.*, 2005).

La modificación por microondas; resulta del reordenamiento de las moléculas de almidón que genera cambios en la solubilidad, capacidad de hinchamiento, comportamiento reológico, y entalpías, dependiendo de la fuente de almidón y la humedad, la

modificación por microondas también produce variaciones en la morfología y cristalinidad en el gránulo (Braşoveanu & Nemţanu 2014).

Tabla 4. Usos del almidón modificado físicamente.

Estado Físico	Uso
Seco	Agente Higroscópico, remueve productos horneados.
Hinchado	Texturizante aporta Viscosidad o palatabilidad
Dispersión Molecular	Agente encapsulante y estabilizante
Film seco	Adherir ciertos elementos alimenticios a otros productos

Fuente: Rodríguez, (2015).

La modificación por ultrasonido; afecta principalmente a la región amorfa, manteniendo la forma y tamaño del gránulo. La superficie del almidón se vuelve porosa y se modifican propiedades tales como la capacidad de hinchamiento, la solubilidad y la viscosidad de la pasta (Luo *et al.*, 2008).

La modificación por radiación ultravioleta (UV); se encuentra entre las bandas de rayos X y luz visible, con longitudes de onda que van desde 180 hasta 400 nm (Guerra, 2001), la longitud de onda de 254 nm es la más utilizada para esterilizar agua, aire y algunos alimentos, inactivando así los procesos de crecimiento y reproducción microbianos (Bolton, 2001).

La radiación ultravioleta de almidón conduce a una despolimerización oxidativa. Dependiendo de la longitud de onda y la intensidad de radiación, el proceso puede

proporcionar dextrinas, mono y oligosacáridos, e incluso agua y dióxido de carbono (Fiedorowicz, Tomasik & Lii 2001).

Alcázar *et al.*, (2015) menciona que la transformación del almidón durante la fabricación depende de la relación temperatura-tiempo-mezcla y la relación de modificación durante el procesamiento por lo anterior la dosis de irradiancia que se distribuye en la superficie del almidón y se convierte en un factor crítico que rige el comportamiento y las características de la pasta para lograr obtener un efecto durante la modificación.

Campos *et al.*, (2012) investigo, la influencia de la irradiación UVC sobre las propiedades del almidón termoplástico y el biocompuesto de policaprolactona con fibras blanqueadas con sisal. Los cambios estructurales y morfológicos producidos cuando las películas se expusieron a irradiación UV durante 142 h, se controlaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), pruebas mecánicas de tracción, calorimetría de barrido diferencial (DSC), difracción de rayos X, análisis termogravimétrico (TGA), y el análisis infrarrojo de transformada de Fourier (FTIR). Las fibras al ser irradiadas mostraron una disminución en las propiedades de tracción debido a la escisión de la cadena. Polímeros y muestras compuestas se expusieron a irradiación de luz UV-C a temperatura constante (25 ° C) y humedad relativa constante (65%) durante 6 días. En cámara de irradiación con 8 lámparas tubulares paralelas (16 W cada uno).

El almidón modificado físicamente con luz ultravioleta genera cambios en algunas de sus propiedades funcionales, tales como el incremento en la capacidad de enlazamiento y solubilidad de agua, y la disminución de la viscosidad de la pasta (Fiedorowicz *et al.*, 2001). Sin embargo, también se ha reportado que la radiación UV-C, no altera la estructura cristalina de almidón o su entalpía de gelatinización (Mestres & Rouau, 1997).

Lee *et al.*, (2005), menciona que el almidón de sagú con inserción de ácido poliacrílico y modificado por radiación UV, causo la hidratación controlada de gránulos, alta temperatura de pasta, y alta viscosidad máxima. La inserción de monómeros de ácido acrílico causó la formación de una red hidrofílica 3-dimensional, la cual condujo al efecto

de hidratación limitado de la radiación UV; y por lo tanto incrementó la capacidad de retención de agua en el almidón. El atraso en el hinchamiento y la solubilidad de almidón con ácido poliacrílico, fue atribuido a una alteración de la configuración provocada por el tratamiento Radiación UV.

3. METODOLOGÍA

3.1 FASE I: CARACTERIZACION ALMIDON DE ARRACACHA EN CRECIMIENTO FISIOLÓGICO

3.1.1 Selección de material vegetal y extracción del almidón. Las raíces de *Arracacia xanthorrhiza* variedad amarilla evaluadas, se recolectaron de un cultivo de Anaime - Cajamarca vereda Potosí, finca la Magdalena ubicada a 2.100 msnm. La extracción se realizó a plantas recolectadas mensualmente a partir del séptimo mes de su crecimiento fisiológico, hasta su cosecha. Alvarado *et al.*, (2010). El método utilizado para la extracción de almidón fue basado en el método de Peroni (2003) con algunas modificaciones.

Las raíces traídas al laboratorio se pesaron y midieron, posteriormente fueron cortados en pequeños trozos, se rayaron adicionando agua en relación 3:1 para decantar el almidón, se dejó en reposo durante 5 minutos. La lechada se filtró a través de un lienzo con pequeños poros hasta que se eliminó por completo las partículas sólidas (bagazo). La mezcla se dejó en reposo por 12 horas a temperatura ambiente. Luego se descartó el sobrenadante y el residuo fue secado entre 37° - 40°C por 18 h. El producto secó se macero y almacenó a temperatura ambiente hasta su análisis.

El cálculo del rendimiento de extracción de almidón.

$$\%R (Bs) = \frac{\text{Almidon Seco}}{\text{Muestra Procesada}} \times 100 \quad (1)$$

3.1.2 Análisis Proximal. La composición proximal se determinó en el Laboratorio Bromatología del departamento del Tolima. Comprendiendo los siguientes análisis: Cenizas, proteínas, grasas y carbohidratos, de acuerdo a OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS - AOAC (16th Ed) (1995).

3.1.3 Propiedades Funcionales. Índice de absorción de agua (IAA), Índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH): El poder de hinchamiento, solubilidad e índice de absorción de agua fue realizado siguiendo el método propuesto por Wang *et al.*, (2010). Una suspensión de almidón al 2% P/V se calentó en baño de agua a 90°C durante 30 min. Las muestras de almidón se centrifugaron en una centrifuga SIGMA 6000 (Reino Unido) a 2000 rpm durante 20 minutos. Se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento. Las alícuotas de sobrenadante se secaron en una estufa a 100°C hasta un peso constante. El índice de absorción de agua (IAA), la solubilidad (ISA%) y el poder de hinchamiento (PH g/g de peso seco) se calcularon de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 1 IAA} = \frac{\text{Peso del Gel (g)}}{\text{Peso Muestra (g)Bs}} \quad (2)$$

$$\text{Ecuación 2 ISA} = \frac{\text{Peso Solubles (g)}}{\text{Peso Muestra (g)Bs}} * 100 \quad (3)$$

$$\text{Ecuación 3 PH} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso Muestra (g)Bs} - \text{PesoSolubles (g)}} \quad (4)$$

3.1.4 Curvas de empastamiento perfil amilográfico. Se siguió la metodología propuesta por Aristizábal *et al.*, (2007), se utilizó un micro-Viscoamiloógrafo, Brabender GmbH. Se estableció programación en el equipo, inició con un calentamiento de 20°C hasta 95°C a una velocidad de 1,5 °C/min. La temperatura de 95°C se mantuvo durante 10 minutos y luego se enfrió la suspensión hasta a una velocidad 1,5 °C/min. La temperatura de 50 °C se mantuvo durante 5 minutos determinando valores de temperatura de gelatinización, viscosidad máxima e inestabilidad del gel. Los datos se reportaron en unidades Brabender (BU) y fueron leídos con el software Brabender ® Viscograph – Data correlation Versión 4.0

3.1.5 Sinéresis. La sinéresis fue medida siguiendo lo descrito por Kaur *et al.* (2007) con algunas variaciones. Una suspensión de almidón (5% P/V masa de almidón seco) se calentó en un baño de agua a 90°C durante 20 minutos. Después de enfriar a temperatura ambiente, las muestras se colocaron en un congelador a -10°C durante 48 h y luego se colocaron en un baño de agua a 30°C para descongelar hasta el equilibrio. La sinéresis se midió como la cantidad en % de agua liberada después de centrifugar a 2500 rpm durante 40 min.

3.1.6 Apariencia Microscópica. La forma y tamaño de los gránulos se determinó mediante observación microscópica directa, utilizando un microscopio de fluorescencia marca Zeiss ref Axio Imager A1 y el programa Axio Visión ACrel.

3.1.7 Textura De Gel. Se evaluó el efecto de la dosis irradiancia UV-C sobre las propiedades texturales del gel de almidón de arracacha. Bajo un régimen de deformación con prueba de perfil de textura por punción, se realizó la comparación con el almidón sin irradiar a las muestras cilíndricas de los geles (10 % p/v), sometiendo a un ciclo de punción con un cilindro de acrílico de 4 cm de diámetro y de 2 cm de altura a una velocidad inicial de 1,0 mm/s, luego a 10,0 mm/s. se utilizó 0,05 N de fuerza de contacto con la muestra determinando su dureza. Utilizando el Texturómetro TA-XT2i.

3.2 FASE II: MODIFICACIÓN FISICA UV-C PARA ALMIDON DE ARRACACHA.

Se modificó el método de irradiación de almidón, propuesto por Chen *et al.*, (2004). La irradiación se realizó en cámara a 254 nm sobre 100 g del almidón, el almidón se dividió en diferentes recipientes de vidrio en capas delgadas inferiores a un 1 cm de espesor. Se utilizaron lámparas con potencia eléctrica de 5 a 80 W, referencia Philips T8 de descarga de baja presión de mercurio.

Para el cálculo de la irradiancia emitida por el número de lámparas; se utiliza el equipo de luz ultravioleta, UV C light Meter UV512C. Se expresaron las irradiancias en función del tiempo en $\text{kJ} / \text{min} \cdot \text{m}^2$, determinando las dosis (kJ/m^2) de irradiación (ver ecuación

5), para 5 y 10 lámparas con 4 intervalos de tiempo (min) diferentes para cada uno: 20, 40, 60 y 80 minutos para 5 lámparas y 10, 20, 30 y 40 minutos para 10 lámparas (SterilAir UVC Disinfection).

La dosis de irradiación (kJ/m^2), se obtuvo con la intensidad de irradiación antes calculada (W/cm^2) multiplicada por el tiempo (min) de irradiación (Mediante la siguiente ecuación:

$$Dosis = Tiempo (min) * Irradiancia \frac{kJ}{min * m^2}; \text{ Luego la Dosis} = \frac{kJ}{m^2} \quad (5)$$

Tabla 5. Determinación de la irradiancia para calcular las dosis de irradiación para 5 y 10 lámparas.

N° Lámparas	5	N° Lámparas	10
Tiempo (min)	Irradiancia (mv/cm ²)	Tiempo (min)	Irradiancia (mv/cm ²)
0	4,76	0	6,31
2	5,73	2	6,17
4	5,76	4	6,04
6	5,79	6	5,99
8	5,84	8	5,77
10	5,76	10	5,79
12	5,76	12	5,71
14	5,79	14	5,65
16	5,71	16	5,59
18	5,69	18	5,53
20	5,75	20	5,50
Promedio	5,67	Promedio	5,87
Valor de irradiancia en: $\frac{kJ}{min*m^2}$	3,40	Valor de irradiancia en: $\frac{kJ}{min*m^2}$	3,49

Tabla 6. Dosis de modificación UV-C con variación en número de lámparas y tiempos de irradiación.

DOSIS	5 lámparas		10 lámparas	
	TIEMPO (min)	(kJ/m ²)	TIEMPO (min)	(kJ/m ²)
1	20	68,00	10	34,94
2	40	136,00	20	69,87
3	60	204,00	30	104,81
4	80	272,00	40	139,74

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se empleó un diseño experimental de un factor para cada número de lámparas con cuatro niveles definido por la irradiación absorbida, como se presenta en la tabla 7. Aplicando cuatro unidades muestrales con 2 repeticiones.

Se realizó un análisis de varianza y prueba de Tukey para determinar diferencias entre grupos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 FASE I: CARACTERIZACION ALMIDON DE ARRACACHA EN CRECIMIENTO FISIOLÓGICO.

El patrón de acumulación de gránulos de almidón en cada tejido vegetal, forma, tamaño, estructura y composición es único para cada especie botánica (Smith, 2001)

A continuación, se presenta la variación en longitud y peso de las raíces en etapas de crecimiento.

Tabla 7. Longitud y peso de las raíces en etapa de crecimiento con rendimiento y N° de Cepas.

Mes de crecimiento	Longitud (cm)	Peso (g)	Almidón obtenido (g)	% Rendimiento BS	N° de Cepas
7	13,03 ^a ± 5,67	90,58 ^a ± 75,18	98,52	8,37	13
8	23,54 ^a ± 33,34	121,56 ^{ac} ± 84,83	100,05	5,14	16
9	20,41 ^b ± 10,33	330,38 ^b ± 248,77	81,37	1,89	10
10	12,86 ^a ± 7,79	207,22 ^{abc} ± 194,26	118,39	3,17	15
11	14,41 ^a ± 5,33	355,91 ^{bc} ± 234,86	110,88	2,83	9
12	22,20 ^c ± 4,92	531,80 ^{abc} ± 536,32	109,37	4,11	5
13	14,90 ^c ± 4,58	366,00 ^{bc} ± 244,13	86,69	2,96	8

Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza

4.1.1 Análisis Proximal. Durante el crecimiento de las raíces, el almidón se almacena y se moviliza cíclicamente, las reservas que son producidas por los amiloplastos se depositan durante varios días o incluso semanas (Alcázar *et al.*, 2015).

A continuación, se presentan los resultados del análisis proximal en la Tabla 9.

Tabla 8. Caracterización bromatológica de los almidones en etapas de crecimiento.

Prueba	Método	Meses de crecimiento			
		7	9	11	13
Humedad	Gravimétrico	10,07	10,97	12,73	11,46
Cenizas	Gravimétrico	0,11	0,15	0,9	0,11
Grasa	Soxhlet	0,93	4,02	5,16	9,65
Proteína cruda	kJeldalh	1,23	1,3	0,58	0,97
Carbohidratos	Diferencia	97,73	94,53	93,36	89,27

Unidad expresada en (%).

Se presentaron variaciones en el contenido de carbohidratos a medida que la planta crece. Disminuyendo a los 11 y 13 meses de edad, con 93.36% y 89.27%. Lo anterior podría explicarse, con el metabolismo del almidón, asociado a la cadena bioquímica responsable de la síntesis de almidón, que involucra moléculas de glucosa producidas en las células de las plantas mediante fotosíntesis (Alcázar *et al.*, 2015), la eficiencia de exportación, transporte de sacarosa, de esta forma la planta presenta consumo de su almidón para lograr su desarrollo, supliendo los requerimiento de carbono del metabolismo (Tofiño *et al.*, 2006). Además de las condiciones del suelo, del manejo agronómico y las condiciones climáticas. Por lo tanto, se podría estimar que el tiempo óptimo de la raíz para aprovechar su almidón, es a los 9 meses de edad, en este momento la planta presenta mayor contenido en proteína (1,3%) y ceniza (0,15%). Alcázar *et al.*, (2015) menciona que el almidón contiene aproximadamente un 0,6% de proteína asociada a la molécula, además de una cantidad relativamente pequeña

(<0,4%) de minerales (calcio, magnesio, fósforo, potasio y sodio). Entre estos, el fósforo es de importancia primaria y está presente en el almidón en tres formas principales: ésteres de monofosfato, fosfolípidos y fosfato inorgánico. La presencia de complejo lipídico es formado por cadenas de amilosa, cuya finalidad es dar resistencia inicial de los gránulos a la hinchazón y la solubilidad evitando su lixiviación (Alcázar *et al.*, 2015)

Tabla 9. Reportes previos de análisis proximal para caracterización análisis proximal para arracacha amarilla (% base seca).

Arracacha Amarilla				
Componente %	1.	2.	3.	4.
Materia seca	16,36 ± 4,18			
Ceniza (g/100 g m.s)	6,03			
(%)		0,80%	0,27%	0,32 ± 0,39%
Almidón	65,49 ± 7,36	18		
Humedad (%)		71,5	4,71	11,31 ± 1,11
Amilosa (%)	10,33		15,16	
Amilopectina (%)	89,67		84,84	
Grasa (%)		0,2		4,94 ± 3,61
Proteína (%)	6,41 ± 1,04	1,18		1,02 ± 0,33
Fibra (%)		0,8		
(g/100g m.s)	5,46			
Carbohidratos		25,52		93,72 ± 3,5
Rendimiento (%)	20,3		11,1	4,11

1. Azahuanche & Luna (2007) - 2. Ramírez (2016) - 3. Alayo (2015) - 4. El Autor.

En la Tabla 10, se aprecian datos bibliográficos de análisis proximal de arracacha amarilla. Los resultados obtenidos muestran diferencias con respecto a Azahuanche & Luna (2007) en el porcentaje de proteína (6,41 ± 1,04) y porcentaje de ceniza (6,03). Con Ramírez (2016), se presentan diferencias en el porcentaje de grasa (0,2%). divergencias que pueden ser contribuidas al efecto del método de extracción de almidón, que afectan sus propiedades fisicoquímicas (Alayo Sánchez, 2015) o altitud de siembra del cultivo

(Azahuanche & Luna 2007). Un contenido medio de proteína mantiene un valor adecuado sobre la viscosidad de la solución con un poder de hinchamiento del almidón equilibrado (Pinilla, 2010)

Azahuanche & Luna (2007) reportan un rendimiento para el almidón de arracacha amarilla de 20,3%; Alayo (2015) reportó un rendimiento para la variedad amarilla del Perú <11,1%; Liendo *et al.* (2011) refiere un rendimiento más bajo de 6,12 %. Estas diferencias se podrían relacionar con la variedad, época y factores ambientales, relacionado además con el contenido intrínseco de almidón en cada especie, el tamaño de la raíz y el tamaño de granulo de almidón (Alayo Sánchez, 2015).

De igual forma fue posible observar un crecimiento poco homogéneo de los rizomas en los primeros meses. El mayor rendimiento en extracción de almidón se obtuvo en el mes 7, donde este actúa como reserva para la planta, sin embargo, durante el crecimiento utiliza esta fuente energética disminuyendo el rendimiento de extracción.

4.1.2 Poder de hinchamiento, solubilidad e índice de absorción de agua: Una de las características estructurales más importantes del almidón es que pasa por diferentes etapas desde la absorción de agua hasta la desintegración de los gránulos. (Alcázar *et al.*, 2015). La absorción de agua y la consiguiente hinchazón del gránulo de almidón contribuyen a la separación de fases de amilopectina-amilosa y la pérdida de cristalinidad, lo que a su vez promueve la lixiviación de amilosa al espacio intergranular. A continuación, se muestran los resultados de la caracterización del almidón de arracacha variedad amarilla el poder de hinchamiento, solubilidad e índice de absorción de agua.

Figura 2. Seguimiento crecimiento fisiológico *Arracacia xanthorrhiza*



Fuente: Autor

Tabla 10. Valores para solubilidad, índice de absorción de agua y poder de hinchamiento.

PRUEBA	UNIDAD	MES DE CRECIMIENTO FISIOLÓGICO							
			7	8	9	10	11	12	13
IAA	(g/g)	PRO	2,481	2,454	3,05	2,519	2,780	2,446	3,297
		M			0				
		DST	0,027	0,201	0,16	0,019	0,532	0,064	0,656
		D			8				
ISA	%	PRO	0,754	0,890	1,04	1,190	1,062	1,048	1,045
		M			9				
		DST	0,215	0,000	0,21	0,421	0,167	0,212	0,211
		D			0				
PHI	(g/g)	PRO	2,500	2,476	3,08	2,550	2,959	2,472	3,333
		M			2				
		DST	0,021	0,203	0,16	0,030	0,744	0,059	0,670
		D			3				

Con los datos obtenidos en la Tabla 11 podemos inferir que durante su crecimiento la edad de 13 meses presentó un comportamiento estable respecto a sus propiedades IAA, ISA y PHI ubicado en un rango alto. Al contrario a la edad de 7 meses con ISA en un rango inferior a los demás meses. Takizawa *et al.*, (2004) menciona que el almidón de arracacha presenta un poder de hinchamiento restringido, que puede ser atribuido a el alto contenido de amilosa. No existieron diferencias estadísticamente significativas en los valores de las propiedades de los almidones durante las diferentes etapas de crecimiento (ver Anexos). El contenido de amilosa puede variar dentro de la misma variedad botánica debido a las diferencias en el origen geográfico y las condiciones de cultivo (Alcázar *et al.*, 2015). La amilosa es anhídrica y puede formar películas excelentes, que son características importantes para aplicaciones industriales. Las películas formadas por amilosa son muy fuertes, incoloras, inodoras e insípidas (Campos *et al.*, 2012).

Las propiedades funcionales, soportadas por la literatura (tabla 12) como Alayo Sánchez, (2015), Acosta *et al.*, (2013), Aristizábal *et al.*, (2007) entre otros, generalmente reportan; que el almidón nativo de arracacha amarilla, presenta índice de absorción de agua (IAA) desde 0,82 a 16,03 g gel/ g muestra – índice de solubilidad (ISA) desde 0,27 a 15,36% y poder de hinchamiento (PHI) desde 0,79 a 16,42 g agua / g almidón.

Al comparar las propiedades con otras fuentes de almidón nativo como achira, ñame, plátano, batata y yuca; la arracacha se destaca por tener menor contenido de amilosa (25,24 ± 5,97), Menor temperatura de gelatinización (57,5 – 1,29 °C), poder de hinchamiento inferior al maíz, arroz, achira, ñame, plátano, batata y superior a la yuca (9,65 ± 1,03), (Acosta *et al.*, 2013).

En la tabla 10, se comparan las propiedades obtenidas del almidón de arracacha del municipio de Cajamarca, con las propiedades de la yuca (Lozano *et al.*, 2013) por ser una de las fuentes más utilizadas en la industria.

Tabla 11. Comparación de las propiedades del almidón de yuca con arracacha.

Propiedad	Yuca	Arracacha***	Literatura
IAA (g gel / g muestra)	(2,24 – 4,18)	(2,38 – 3,95)	*(0,82 – 15,52) – 16,03**
ISA (%)	(2,33 – 6,22)	(0,77 – 1,61)	*(0,27 – 12,32) – 15,36**
(%PHI)	(2,25 – 4.3)	(2,21 – 3.33)	*(0,79–15,45%)–16,23**

* Aristizábal *et al.*, (2007) - **Alayo Sánchez, 2015 – ***El autor - **** Acosta *et al.*, (2013)

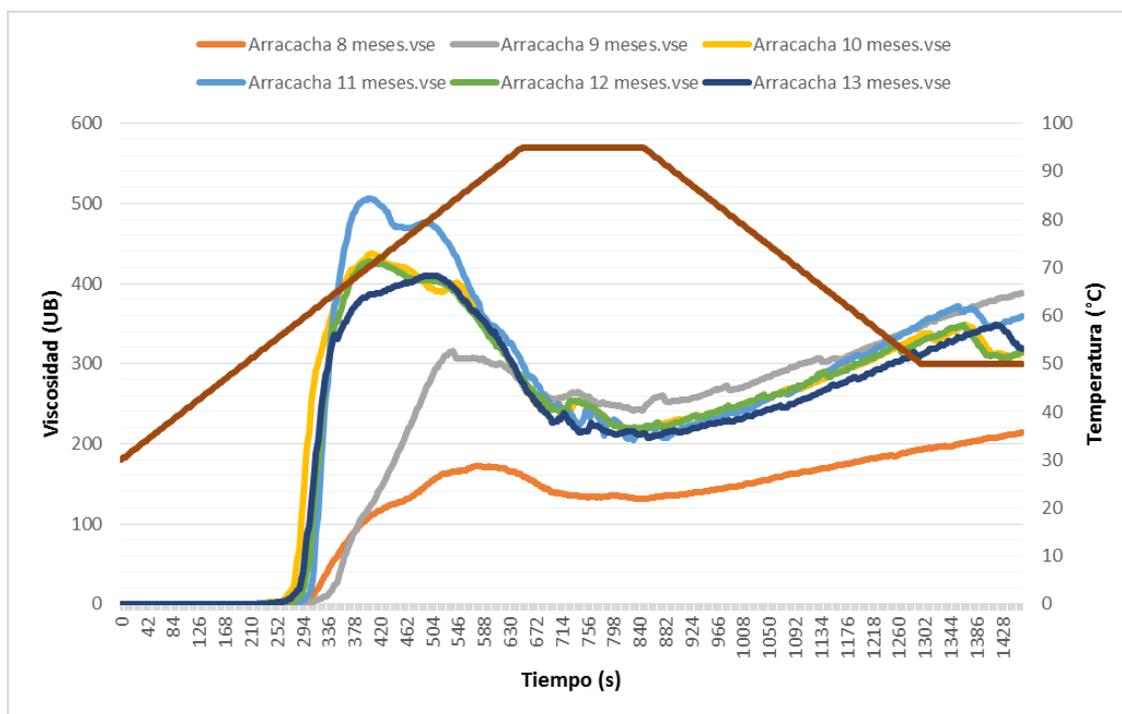
Con lo anterior, el almidón de arracacha por su baja solubilidad y poder de hinchamiento, refleja una estructura fuertemente organizada y estable con respecto a otras fuentes de almidón nativo. Las variaciones en sus propiedades durante el tiempo de crecimiento, se pueden relacionar con cambios estructurales que se hacen más evidentes a partir del décimo mes. Esto es atribuible al aumento en el contenido de amilosa, haciéndolos más solubles, reflejado en la edad de los 10,12 y 13 meses. Mayor IAA mes trece con 3,95 g

gel/ g muestra; mayor ISA para el décimo mes con 1,61% y mayor PHI para el mes trece con 4,00 g agua / g almidón.

Las etapas de crecimiento desde el 7 al 9 mes de edad , de acuerdo al comportamiento de sus propiedades funcionales, se sugiere corroborar la proporción en contenido de amilopectina, debido a que requieren, temperaturas más altas para la gelatinización, lo que los haría propensos a la descomposición al ser sometidos a altas temperaturas. Alayo Sánchez (2015), menciona que el tamaño de granulo va a reflejar el poder de hinchamiento y la solubilidad, que además, los gránulos grandes tiene mayor cantidad de amilosa., comportamiento presentado por el noveno mes de crecimiento con tamaño granular de $7,1287 \pm 2,82 \mu\text{m}$. La capacidad de hinchamiento y la solubilidad del almidón ilustran las interacciones de las cadenas poliméricas que comprenden las fracciones de gránulos amorfos y cristalinos

4.1.3 Propiedades de empastamiento de almidón en etapas de crecimiento. A continuación, se visualiza el Amilograma del almidón nativo de arracacha en sus diferentes etapas de crecimiento fisiológico.

Figura 3. Propiedades de empastamiento de almidón en etapas de crecimiento.



Fuente: Autor

Tabla 12. Propiedades de empastamiento del almidón en estado de crecimiento.

Mes	Inicio Gelatinización		Viscosidad Máxima		Estabilidad		Set back (Final)
	Temperatura	Viscosidad	Temperatura	Viscosidad	Viscosidad	Viscosidad	
	[°C]	[BU]	[°C]	[BU]	[BU]	[BU]	
8	59,6 ^a	172 ^a	88,4	134	152 ^a		
9	62,2 ^b	316 ^b	83,8	259	272 ^{bc}		
10	56,8 ^c	438 ^c	70,6	249	269 ^b		
11	62 ^b	506 ^f	70,6	475	299 ^d		
12	58,4 ^d	427 ^d	70,8	228	288 ^d		
13	58,4 ^d	410 ^e	80,4	214	279 ^c		

Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza

La gelatinización o hidratación del almidón es un proceso que se da debido a las propiedades hidrofílicas que este tiene por la presencia de grupos hidroxilo que tienen

los polímeros de glucosa, atrayendo moléculas de agua y formando puentes de hidrogeno entre ellas (Acosta *et al.*, 2013). Este proceso definido como la pérdida de la semicristalinidad de los gránulos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua (Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. 2007). De acuerdo a los datos obtenidos, en la (Tabla 13), se presentan temperaturas de inicio de gelatinización entre 56 °C y 62,2 °C, valores que guardan similitud con los valores reportados por Azahuanche & Luna (2007), donde las temperaturas de gelificación para la variedad amarilla se encuentran entre 59 – 65,3 - 69 °C. (Alayo Sanchez, 2015) presenta para la variedad blanca temperaturas entre 61 a 71°C y la variedad morada entre 62 – 71°C. La temperatura de gelatinización depende de factores como la fuente de almidón, las cantidades relativas de amilosa y amilopectina y la cantidad de humedad disponible para la hidratación (Rodríguez *et al.*, 2005; Alayo Sanchez, 2015). Acosta *et al.*, (2013) menciona que el almidón de arracacha presenta una temperatura de gelatinización de $57,5 \pm 1,29$ inferior a otras fuentes de almidón, como el arroz ($86,5 \pm 0,24$), Maiz ($83 \pm 0,71$), plátano ($79 \pm 0,31$), batata ($78,5 \pm 0,65$), ñame ($74 \pm 0,99$), Yuca ($71,75 \pm 1,41$), achira ($70,5 \pm 0,41$); lo que puede ser de gran interés para la industria alimentaria, en procesos donde se utilicen sistemas viscosos (cremas, sopas, salsas, etc), a más baja temperatura.

Los reportes en viscosidad máxima, se presentan para el mes de crecimiento once, en 506 (BU), con una temperatura máxima de 70,6 °C; a diferencia del octavo mes de crecimiento en 172 (BU), con una temperatura máxima de 88,4 °C. Las diferencias en la viscosidad se deben en gran medida a la presencia de la amilopectina en el almidón, ya que es el polímero que se solubiliza más rápido en el medio acuoso y da estabilidad viscoelástica a la curva de empastamiento (Wang, Truong & Wang 2003). Igual el mes once, es uno de los que presentó la temperatura más alta de gelatinización junto con el noveno mes (62 °C), lo que indica un almidón de difícil cocción pero con mayores propiedades espesantes. Una mayor temperatura de gelatinización en almidones, refleja una mayor estabilidad interna del granulo de almidón, normalmente asociada a una mayor presencia de zonas semicristalinas (amilosa) y a un menor contenido de amilopectina (Acosta *et al.*, 2013).

Para el octavo mes, aunque fue uno de los más altos porcentajes de rendimiento 5,14% BS de extracción de almidón, este presenta características poco aprovechables pues presenta una baja viscosidad, por lo que no podría ser utilizado como espesante. Sin embargo, su tendencia a la retrogradación es baja. Considerando las propiedades de empastamiento y el rendimiento de extracción, se debería realizar la cosecha entre el mes decimo y once, para obtener almidones de alta viscosidad y con alta temperatura de gelatinización.

4.1.4 Sinéresis. A continuación, se presentan los resultados de análisis sinéresis al almidón de arracacha en las diferentes etapas de crecimiento

Tabla 13 Sinéresis del almidón en etapas de crecimiento.

Sinéresis	% de agua liberada	MES DE CRECIMIENTO FISIOLÓGICO						
		7	8	9	10	11	12	13
promedio		21,34	20,75	20,72 ^c	9,67 ^b	2,55 ^a	3,12 ^a	22,18
o		c	c					c
desv std		0,734	0,057	0,300	0,455	0,628	0,013	0,461

Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza

Los valores de sinéresis (tabla 14), mostraron baja incidencia para los meses once y doce ($2,55 \pm 0,628$ y $3,12 \pm 0,013$) % respectivamente, lo cual muestra una estabilidad de congelación-descongelación, indicando una baja tendencia a retrogradarse (Chen *et al.*, 2004; Hoover 2002).

Ascheri *et al.* (2014) indica que la exudación de agua se debe a la reasociación de moléculas de almidón, particularmente amilosa, que forma estructura ordenada que conduce a la retrogradación. De acuerdo a esta información, las etapas de crecimiento de los meses siete ocho y nueve en el almidón de arracacha no son adecuados para su utilización en alimentos refrigerados, cuando la pérdida de agua se encuentra $\geq 9\%$ (Takizawa *et al.*, 2004). El mayor resultado obtenido, se presentó en el noveno mes de crecimiento 20,72%, la pérdida de agua es alta, allí el gel presenta la tendencia a

contraerse y exudar líquidos, debido a que el efecto de ligar agua no se obtiene completamente.

En la literatura se encuentran los siguientes reportes de sinéresis; en almidón de arracacha variedad amarilla, donde liberan agua después de centrifugar pasadas 24 horas de 6,35% y pasadas las 48 horas de 6,90% (Alayo Sánchez, 2015). Acosta *et al.*, (2013) reporta $7,08 \pm 1,51$ %; resultados cercanos, al presentado por, el décimo mes de crecimiento $9,67 \pm 0,455$. Ascheri *et al.*, (2014), indican que la exudación de los componentes moleculares del almidón, se ve influenciado por el tamaño, estructura del granulo, relación amilosa- amilopectina, características moleculares, tipo de cristalinidad y las condiciones de calentamiento inducidos para la gelatinización. Basados en la anterior información y con los resultados obtenidos, el mes de crecimiento once, que presento tamaño de grano $6,6034 \pm 0,74$ (μm) más pequeño y % de sinéresis $2,55 \pm 0,628$ % de más baja incidencia de perdida de agua, con sus propiedades de empastamiento, en Temperatura de inicio de gelatinización de 62 °C, se caracterizó por presentar la Viscosidad Máxima de 506 [BU] y 475 [BU] de estabilidad de la viscosidad, este mes de crecimiento puede ser considerado el apropiado para su utilización en aplicaciones industriales, por presentar una mayor temperatura de gelatinización, reflejando la estabilidad interna y buena viscosidad, confirmando lo mencionado por Takeiti *et al.*, (2007) donde reportan que el comportamiento de la arracacha es estable a diferentes ciclos de congelación-descongelación, adicional la textura del gel presenta buenos valores de dureza.

4.1.5 Apariencia microscópica de los almidones en diferentes etapas de crecimiento a (20X) de aumento. González *et al.* (2014) menciona que los gránulos de almidón más pequeños tienen mayor poder de hinchamiento, menor solubilidad, mayor capacidad de retención de agua y más baja susceptibilidad a la alfa amilasa.

Azahuanche & Luna (2007) y Alayo (2015), mencionan que la variedad de arracacha amarilla presenta gránulos en forma poliédrica, con tamaño entre 2 - 33 μm y 7 a 25 μm respectivamente. Los datos obtenidos son comparables con los reportados en la

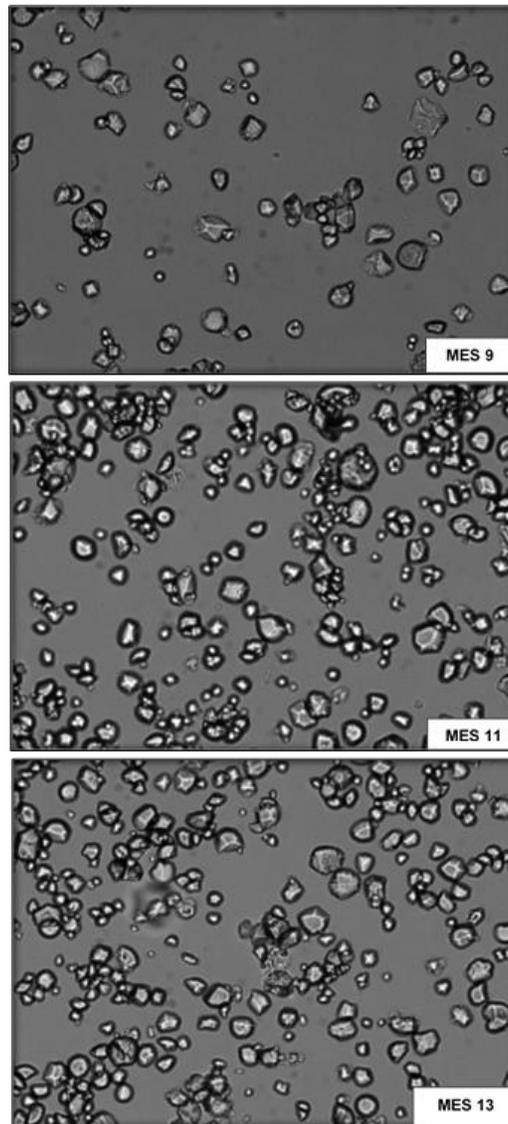
literatura, los cuales se encuentran entre el rango de los gránulos pequeños, hasta medianos.

En la tabla 15 y en la figura 4, se observan las microfotografías del granulo de almidón con forma poliédrica, el 9 mes de edad presento diversidad en su tamaño de granulo $7,128 \pm 2,82 \mu\text{m}$, diferencias que pueden ser atribuidas al método de extracción o a la morfología del gránulo que generalmente contiene una línea central conocida como hilio o "cruz de Malta". Cada gránulo de almidón puede contener uno o más cruces de Malta, característica que reduce la capacidad de birrefringencia y su orden cristalino, asociado con la gelatinización de los gránulos, por la ruptura de la doble hélice en la región cristalina y lixiviación de la amilosa. Luego la longitud de las cadenas de α -glucano, la relación amilosa-amilopectina y el grado de ramificación de la amilopectina definen el tamaño, la estructura y la utilidad particular de los gránulos de almidón en cada especie de planta (Alcázar *et al.*, 2015)

Tabla 14. Apariencia microscópica valores promedio para el diámetro (aumento 20X).

MES	DIAMETRO (μm)
9	$7,128^b \pm 2,82$
11	$6,603^a \pm 0,74$
13	$7,502^b \pm 0,99$

Figura 4. Micrografías gránulos de almidón en estado de crecimiento fisiológico.



Fuente: Autor

En la tabla 16, se comparan diferentes fuentes de almidón en su forma y tamaño de gránulo. La papa presenta un mayor tamaño de 33 μm (Charlotte, 2004). Ledezma (2009), indica que los almidones de arracacha tienen forma poliédrica. Son muy pequeños en comparación a los de otras raíces, los gránulos pequeños presentan mayor solubilidad y una alta capacidad de adsorción de agua (Singhal & Kulkarni, 1988).

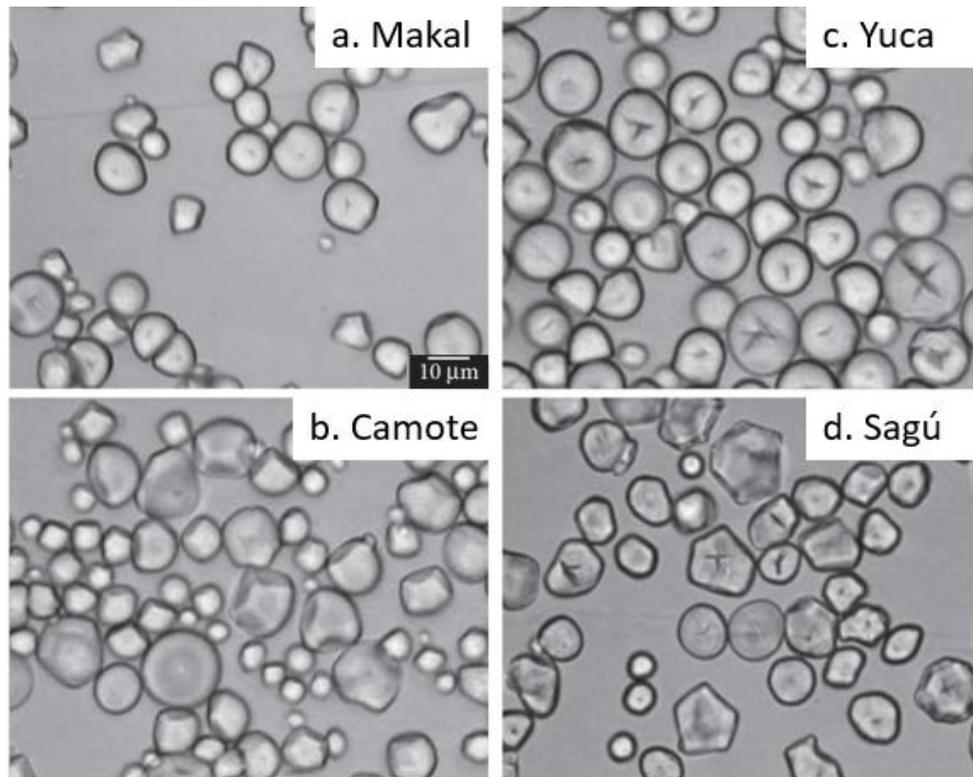
Tabla 15. Tamaño y forma de gránulos de almidón comparado con diferentes fuentes.

Almidón	PROMEDIO (μm)	Forma
Makal	12,40	Esférica
Camote	12,41	Esférica
Yuca	16,50	Esférica, truncada
Sagú	10,64	Poligonal
Maíz	15,00	Poligonal
Papa	33,00	Oval, Esférica
Arracacha	7,07	Poligonal
Achira	136,10	Oval

Fuente Hernández *et al.*, (2008).

Los gránulos de almidón de la figura 5 presentan valores promedio de tamaño de diámetro de 12,40 μm para el makal con forma esférica, 12,41 μm para el camote con forma esférica, 16,5 μm para la yuca con forma esférica u ovoide y 10, 64 μm para el sagú con forma poligonal (Hernández *et al.*, 2008), los gránulos de almidón tienen estructuras muy complejas y estas se basan en variaciones en su composición (α -glucanos, humedad, lípidos, proteínas y fosforilación)

Figura 5. Tamaño de granulo para diferentes fuentes de almidón.

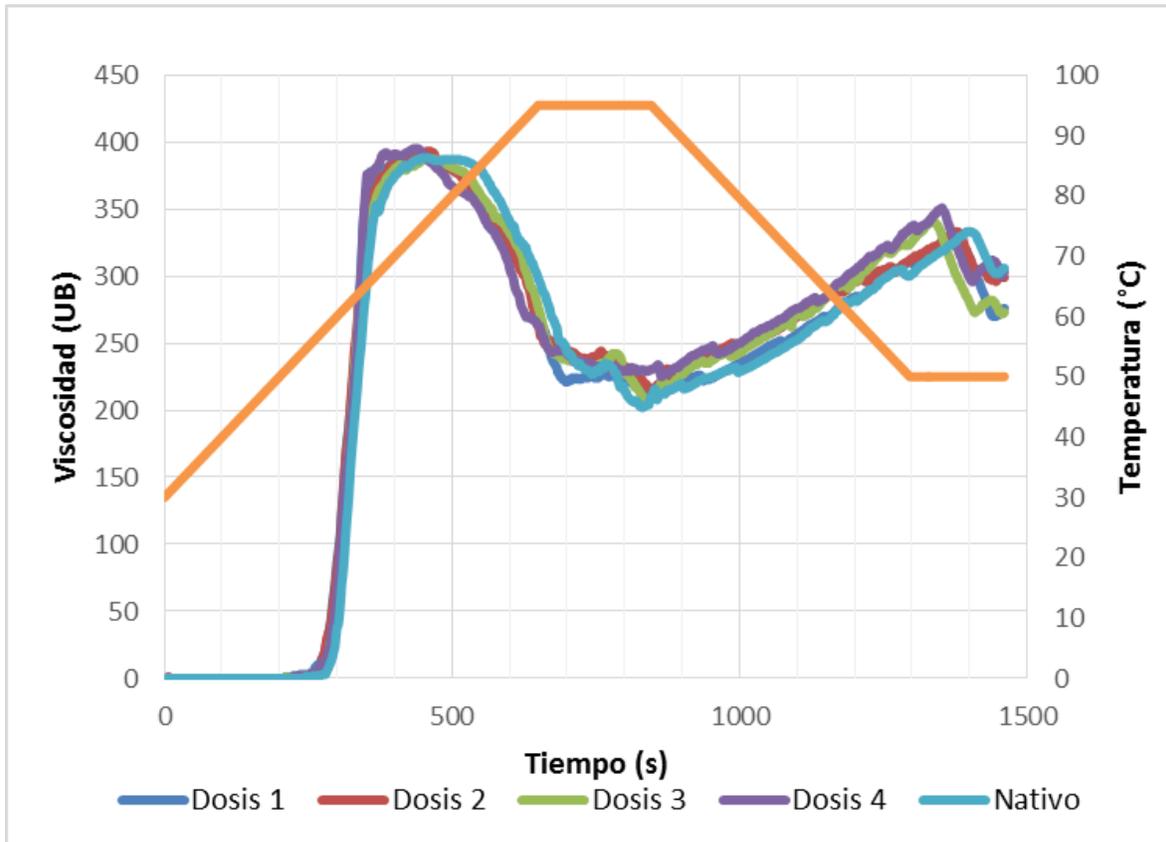


Fuente: Hernández *et al.*, (2008).

4.2 FASE II: RESULTADO MODIFICACIÓN FISICA UV-C PARA ALMIDON DE ARRACACHA

4.2.1 Propiedades de empastamiento de almidón por UV-C: A continuación, se presentan los resultados de los amilogramas, variando el número de lámparas. El efecto de la irradiación UV con las 5 lámparas no se hizo evidente sobre la curva de viscosidad para el almidón nativo. Lo que indica una fotoestabilidad para una intensidad de irradiación en $56,7 \text{ W/m}^2$. Esto se puede ver influenciado en la distribución de las lámparas dentro de la cámara UV para la correcta irradiación. Bajer, Kaczmarek & Bajer (2013) indican que los cambios mostrados en la estructura química del almidón son pequeños a una intensidad de $33,4 \text{ W/m}^2$, para muestras de almidón de maíz, trigo y papa con un tiempo de exposición máximo de 16 horas.

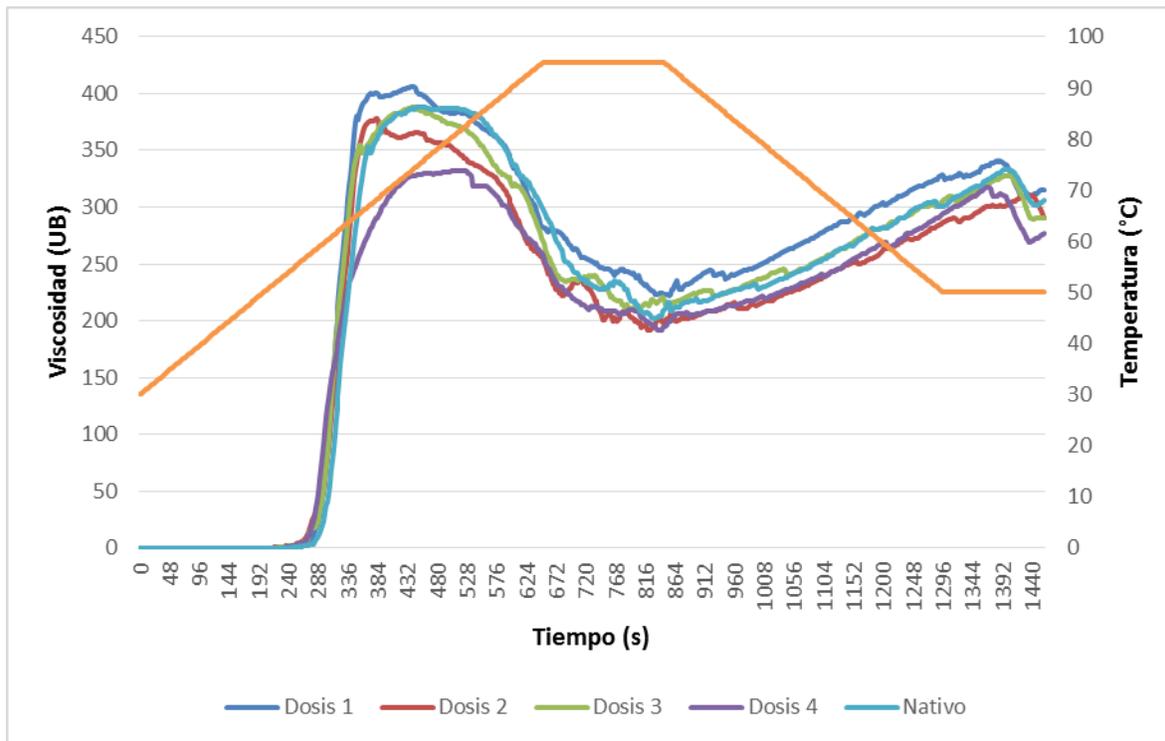
Figura 6. Propiedades de empastamiento de almidón Modificado por UV-C con 5 lámparas.



Fuente: Autor

En la figura 6, almidón Modificado por UV-C con 5 lámparas, se observa que las dosis de irradiación utilizadas no presentan efecto significativo sobre la viscosidad, lo cual puede ser atribuido a la baja intensidad de radiación $56,7 \text{ W/m}^2$, necesaria para inducir alguna despolimerización de almidón (Lee *et al.*, 2005). De acuerdo a esto, se realiza la variación del número de lámparas en la modificación del almidón con mayor intensidad de radiación $58,22 \text{ W/m}^2$.

Figura 7. Propiedades de empastamiento de almidón Modificado por UV-C con 10 lámparas.



Fuente: Autor

En la Figura 7, se observa el comportamiento de la viscosidad respecto al tiempo y temperatura del almidón Modificado por UV-C en comparación con la viscosidad del almidón nativo. Aquí La intensidad de irradiación afecta la viscosidad máxima, a medida que se incrementa la dosis, disminuyendo la temperatura de gelatinización (tabla 17).

Chan *et al.*, (2009), menciona que la disminución de la viscosidad de pico para los almidones oxidados se puede atribuir a la escisión parcial de enlaces glucosídicos, que resulta en una disminución del peso molecular de la molécula de almidón. La disminución de la viscosidad de pico sugiere que el almidón se hincha en un grado inferior. De acuerdo a estos resultados la aplicación de una dosis más alta se produce un cambio en la estructura del granulo del almidón disminuyendo su capacidad de hinchamiento lo cual puede estar relacionado con la formación de moléculas de menor tamaño.

No existe un efecto claro en la viscosidad final, pues con algunos tratamientos se incrementa la tendencia a retrogradación de los geles.

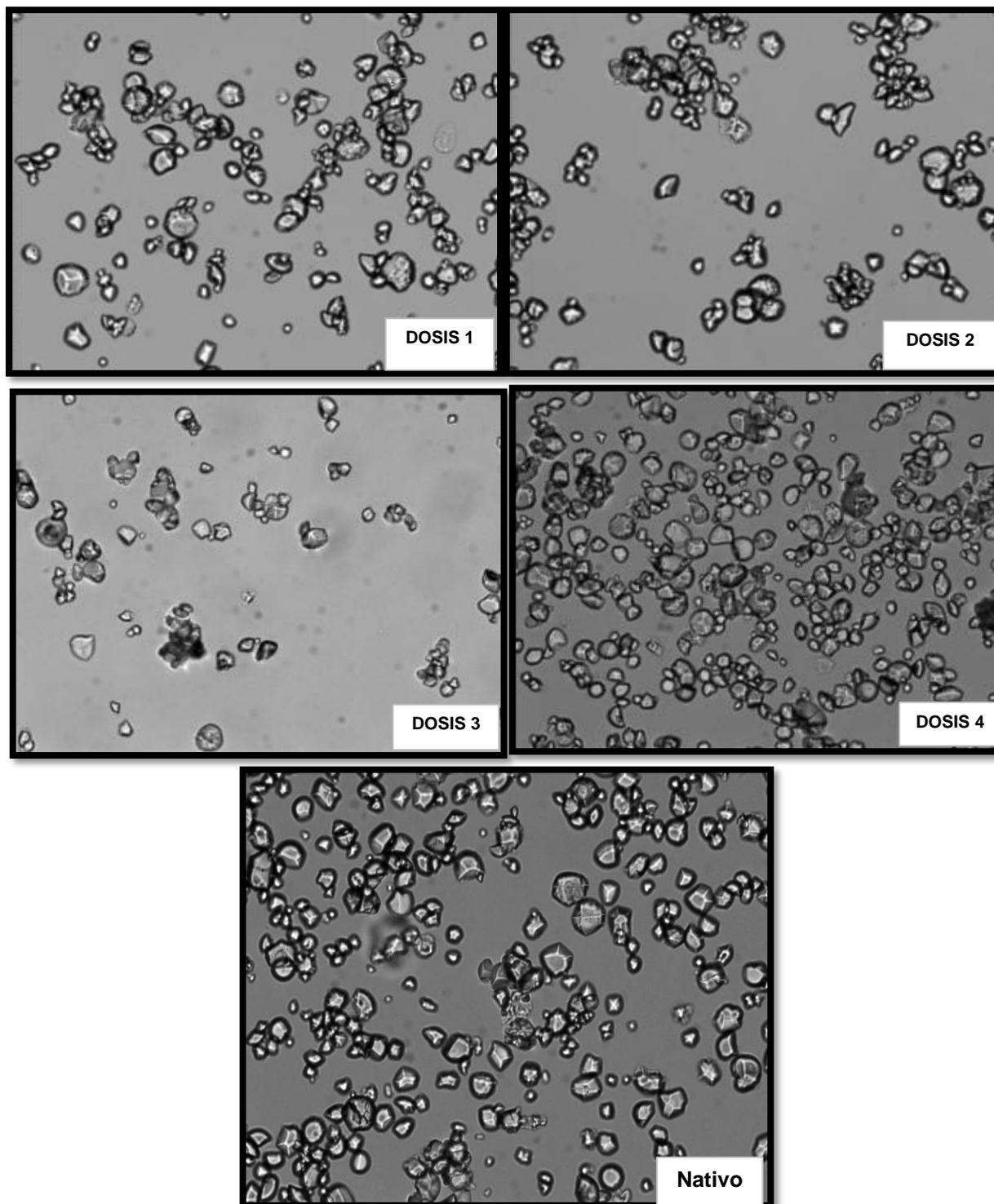
Tabla 16. Propiedades de empastado almidón modificado por UV-C a diferentes dosis de irradiación con 10 lámparas.

Dosis (kJ/m ²)	Inicio		Viscosidad Máxima		Estabilidad	Set back
	Gelatinización					(Final)
	Temperatura [°C]	Viscosidad [BU]	Temperatura [°C]	Viscosidad [BU]	Viscosidad [BU]	Viscosidad [BU]
Nativo	58,0 ^a	388 ^{ab}	75,2	231		237 ^{ac}
1 (34,94)	53,8 ^b	402 ^b	74,6	240		264 ^b
2 (69,87)	55,0 ^c	369 ^c	69,4	210		225^c
3 (104,81)	56,0 ^d	385 ^d	75,2	222		243 ^{cd}
4 (139,74)	55,4 ^c	329 ^e	83,4	209		218 ^d

Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza

4.2.2 Apariencia microscópica en almidones modificados: El tamaño granular de los almidones al ser modificados con 4 dosis diferentes de irradiación UV-C se ven afectados en su tamaño granular (ver tabla 18). La Dosis 2 reportó una mayor incidencia (Figura 10) sobre el tamaño de granulo con 4,40 μm . Algunas investigaciones han reportado a través de micrografías electrónicas de barrido efectos de modificaciones con ozono al almidón de yuca, los cuales al ser oxidados presentan cambios en la superficie y morfología de los gránulos de almidón presentando una superficie rugosa (Klein *et al.*, 2014).

Figura 8. Microfotografías de los gránulos de almidón nativo y Modificado por UV-C con 10 lámparas.



Fuente: Autor

En la figura 8, se visualizan las microfotografías de los almidones irradiados por UV-C, donde se observan formas poligonales de pequeños tamaños. Se puede inferir que el efecto de la modificación, influye en una reducción del tamaño de granulo, siendo más intensa para las dosis 2 y 3 con $(4,32 \pm 0,727)$ y $(5,37 \pm 0,656)$ respectivamente a diferencia del almidón nativo que presento un tamaño granular de $(7,45 \pm 0,969)$. Acosta *et al.*, (2013), realiza la comparación del almidón de arracacha frente a otras fuentes nativas, mostrando que junto con el almidón de arroz, el almidón de arracacha presenta los tamaños granulares más pequeños, a diferencia de los almidones de achira ($136,10 \pm 46,20$), ñame ($126,57 \pm 17,17$) y plátano ($73,58 \pm 18,94$) entre otros.

4.2.3 Fuerza de gel por punción: Los almidones modificados por UV-C presentaron mayor fragilidad con respecto al almidón nativo valores presentados en la tabla 18. Siendo más frágiles para los almidones con mayor dosis de irradiación (ver figura 8), esta debilidad se puede atribuir a su menor contenido de amilosa y defectos en su estructura cristalina (Moraes *et al.*, 2013). El orden cristalino de la estructura puede ser interrumpido por tratamientos físicos como cocción o secado (pre gelatinización). Por otra parte, las uniones de las unidades de - D- anhidroglucosa, pueden romperse con facilidad mediante una hidrólisis ácida, oxidación o un tratamiento excesivo de calor (degradación) (Andino Ortiz, 2008).

Meneses *et al.*, (2007), menciona que, la transición vítrea de un material polimérico, se refiere al cambio inducido por el calor sobre las característica de un polímero, influenciando propiedades como la rigidez de las cadenas, entrecruzamiento de cadenas o incremento de las zonas amorfas; efecto que puede ser atribuido a la irradiación UV-C, disminuyendo de esta forma, su fuerza de gel por punción.

Tabla 17. Fuerza de gel por punción (PTP) y Apariencia microscópica almidón modificado UV-C.

MUESTRA	Fuerza de gel por punción PTP	Diámetro (μm)
NATIVO	1,230 ^a \pm 0,322	7,45 \pm 0,969
DOSIS 1	0,566 ^b \pm 0,092	6,20 \pm 0,693
DOSIS 2	0,428 ^{bc} \pm 0,055	4,32 \pm 0,727
DOSIS 3	0,341 ^{bc} \pm 0,028	5,37 \pm 0,656
DOSIS 4	0,384 ^d \pm 0,059	6,32 \pm 0,815

Dosis (kJ/m²): (1) 34,94 – (2) 69.87 – (3) 104.81 – (4) 139.74

Alcázar *et al.*, (2015) las propiedades reológicas del almidón determinan su potencial aplicación como agente espesante o gelificante, La viscosidad de la pasta de almidón se asocia con lípidos, principalmente fosfolípidos, que se acomplejan con amilosa y dificultan o reducen la capacidad de hinchamiento del gránulo. Otros efectos asociados con la viscosidad de la pasta son la disminución de la solubilidad de la amilosa, el aumento del tiempo de formación y las propiedades de gelificación limitadas. Los complejos lipídicos de amilosa requieren altas temperaturas para la disociación (Singh *et al.*, 2003).

4. CONCLUSIONES

El presente estudio ha sido un aporte para las investigaciones en almidones de arracacha cultivado en Cajamarca municipio del Tolima, donde se busca encontrar la posibilidad de abrir un mercado más apetecido para este producto dando valor agregado por las propiedades que brinda la calidad de su almidón.

Las variaciones en las propiedades durante el tiempo de crecimiento, se pueden relacionar con cambios estructurales así al presentar el almidón baja solubilidad y poder de hinchamiento, muestra una estructura fuertemente organizada y estable con respecto a otras fuentes de almidón nativo.

El porcentaje de sinéresis para el 11 mes de crecimiento 2,55% lo hace factible en el uso de sopas, rellenos de pastel y alimentos infantiles. Por el contrario, la alta sinéresis de los meses 7 y 13 los hace potenciales en el uso de alimentos que requieren cierto nivel de exudación como las salsas.

El almidón nativo de arracacha, a los 11 meses de edad presentó concentraciones de proteína, ceniza y grasa que marcaron diferencias con respecto a los demás meses, con 0,97%, 0,9% y 5,16% respectivamente. Características que pueden ser establecidas como criterio en la selección de materias primas para ser utilizadas en la industria alimentaria.

El almidón nativo con respecto al modificado presentó una temperatura de gelatinización más alta, presento una estructura fuertemente organizada, lo que puede ser aprovechado para que sea utilizado comercialmente como ingrediente en alimentos procesados.

El almidón modificado por UV-C, presentó un bajo poder de hinchamiento que no los hace recomendables para el uso como retenedores de humedad, por ejemplo para productos cárnicos.

El almidón modificado por UV-C, presentó bajas temperaturas de gelatinización, que no se recomienda su uso en productos que requieran elevadas temperaturas de procesamiento como los enlatados. En cambio, pueden ser usados en la elaboración de natillas y pudines.

El efecto de modificación del almidón de arracacha por tratamiento físico con UV-C, significó un debilitamiento en su estructura; expresándose en la reducción de tamaño, baja capacidad de hinchamiento y disminución en la fuerza del gel por punción.

REFERENCIAS

- Acosta Delgado, A. P., Blanco Santander, C., & Matiz Melo, G. D. (2013). Obtención y caracterización de almidones nativos colombianos para su evaluación como posibles alternativas en la industria alimentaria (Trabajo de investigación) Facultad de Ingeniería: Universidad de Cartagena.
- Adarve, M. Mejía, Luis. (2012). Obtención y caracterización físico-química de almidón fermentado de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). Vitae, Universidad de Antioquia, vol. 19, (1). Pp s255-s257. Medellín, Colombia. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914077.pdf>
- Agronet. 2014. Estadísticas agrícolas: área, producción, rendimiento y participación. Recuperado de: <http://www.agronet.gov.co>; Consulta noviembre 2016.
- Alayo Sánchez, B. D. P. (2015). Caracterización fisicoquímica y reológicas del almidón de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) variedad amarilla procedente de la Provincia de San Ignacio-Departamento de Cajamarca, (Tesis de pregrado) Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo Perú.
- Alcázar, Alay, S. C., & Meireles, Maria Angela Almeida. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. Food Science and Technology (Campinas), 35(2), 215-236. Epub April 00, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6749>.
- Alemán Guevara S. (2012). Tesis. Estudio de la composición físico-química, propiedades funcionales y nutricionales de almidones nativos y modificados extraídos de clones de diferentes variedades de musáceas. (Tesis) Universidad Central de Venezuela 2012. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/45940/>
- Alvarado Gaona, Á., & Ochoa, L. (2010). Tecnologías locales de producción de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) en el municipio de Boyacá, departamento de Boyacá. Revista udca actualidad & divulgación científica, 13(1), 125-133. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=s0123-42262010000100014

- Amani, NG, Aka, KG, N'dri, YD, Degbeu, KC, y Sako, A. (2008). Evolution of functional properties of precocious yam starch (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) during tuberization. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 2 (3), 324-330. Recuperado de: <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/39755>
- Andino, Ortiz, C. (2008). Estabilidad congelación/descongelación y análisis de textura de mezclas de almidones andinos (Tesis Ingeniería de Alimentos) Universidad de San Francisco de Quito: USFQ, 2008). Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1220>
- Aristizábal, J., Sánchez, T., & Mejía, D. (2007). Guía técnica para producción y análisis del almidón de yuca. Roma: Organización de las naciones unidas para la Agricultura y la alimentación. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Recuperado de: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=FAONI.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression=mfn=000969>
- Ascheri, D. P. R., Morais, C. C., & Ramirez, E. (2014). Characterization of starch extracted from the roots of *Cissus simsiana* Roem. & Schult. *Caracterização do amido extraído das raízes da Cissus simsiana Roem. & Schult*. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 35(2), 787-800. Doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n2p787.
- Azahuanche, F. P., & Luna, C. C. (2007) Raíz de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) una buena fuente de carbohidratos Arracachas' root: a good source of carbohydrates. *AUTORIDADES UNIVERSITARIAS RECTOR*, 14. Recup. de : http://www.upao.edu.pe/publicaciones/ciencias_salud/REVISTA_FACULTAD_ciencias_salud.pdf#page=14
- Badui-Dergal; Salvador. (2006). *Química de los alimentos*. (4ta. ed.). México: Pearson Educación de México, Recuperado de: http://redbiblio.unne.edu.ar/pdf/0603-003736_I.pdf
- Bajer, D. Kacksamec ; Bajer (2013). The structure and properties of different types of starch exposed to UV radiation: A comparative study. *Polímeros de carbohidratos*, 98 (1), 477-482. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.090>

- Biliaderis, CG (1991). The structure and interactions of starch with food constituents. Symposium starch in human nutrition. 60-78 DOI: 10.1139/y91-011 · Source: PubMed
- Braşoveanu, M., & Nemţanu, M. R. (2014). Comportamiento del almidón expuesto al tratamiento con radiación de microondas. *Starch-Stärke*, 66 (1-2), 3-14. 10.1002 / star.201200191
- Bolton, J. R. (2001). Ultraviolet applications handbook (Vol. 18). Ayr, Ont.: Bolton Photo sciences Incorporated. Edmonton, AB, Canada, 2001.
- Blazek, Jaroslav, Copeland Les, Chiming Tang Mary, Salman Hayfa., (2009). Form and functionality of starch, *Food Hydrocolloids*, Vol. 23, Issue 6.1527-1534. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>.
- Campos, A. (2012). La influencia de la irradiación UV-C sobre las propiedades del almidón termoplástico y el biocompuesto de policaprolactona con fibras blanqueadas con sisal. *Degradación y estabilidad del polímero*, 97 (10), 1948-1955. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.11.010>
- Casas, N., & Pardo, D. (2005). Análisis de perfil de textura y propiedades de relajación de geles de mezclas almidón de maíz ceroso entrecruzado-gelana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4(1), 107-121. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/620/62040109/>
- Carrascal, J. (2013). Acetilación del almidón de *Arracacia xanthorrhiza* y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico. Tesis (Maestría en Ciencias Farmacéuticas), Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias, Departamento de Farmacia. Bogotá D.C Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11936/1/juanjosecarrascalsanchez.2013.pdf>
- Charlotte, A. E., (2004). Starch in food. Structure, function and applications. Book, Woodhead publishing in food Science and Technology, p 355
- Corpoica. (2003). Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina y almidón a partir de raíces promisorios, con énfasis en los casos de achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y ñame (*Dioscorea sp.*) informe técnico final. Colombia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11348/3743>

- Cuervo, O. H. P., Chaparro, W. A. A., & Sanabria, W. M. (2012). Efecto de la modificación del almidón de arracacha y la concentración del plastificante sobre las propiedades mecánicas de películas biodegradables. *Prospectiva*, 10(1), 37-43. Recuperado de: <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/viewFile/394/366>
- Chan, H. T., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). Physicochemical and functional properties of ozone-oxidized starch. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(13), 5965-5970. DOI: 10.1021/jf9008789
- Chen, P., Zhang, W., Lou, W., Fang, Y. (2004). Synthesis of superabsorbent polymers by irradiation and their applications in agriculture. *Journal of Applied Polymer Science*, 93 (4), 1748-1755. DOI: 10.1002 / app.20612
- DANE (2014). Estadísticas por tema demografía y población- proyecciones de población- Recuperado de: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion>
- DANE (2015). El cultivo de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), hortaliza de grandes bondades nutricionales y de alta potencialidad agroindustrial. Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Núm. 39, pp 10-11. Recuperado de: www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_sep_2015.pdf
- Espín, S., Villacrés, E., & Brito Grandes, B. (1991). Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. Recuperado de: <https://nrxms1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/wp-afri>
- Evaluaciones Agropecuarias Municipales. (2010). Ministerio de agricultura y desarrollo rural, secretarías de agricultura departamentales UMATA. Años 2006 al 2011 convenio MADR-CCI.
- Fiedorowicz, M., Tomasik, P., & Lii, C. Y. (2001). Degradation of starch by polarised light. *Carbohydrate Polymers*, 45(1), 79-87. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00238-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00238-1)
- González G. A., Olgún N., Loayza E., Severich E. (2014) Almidón Nativo y Modificado, obtención, cuantificación, modificación y usos. Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno. Facultad de Ciencias farmacéutica y bioquímica. Instituto de Investigación

- F.C.F.B. santa Cruz de la sierra. Bolivia. 2014. Recuperado de: <http://www.dui.uagrm.edu.bo/Informacion/InvestigacionesCHI/7-chi-2014.pdf>
- Guan, J., & Hanna, A. (2004). Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*, 5, (6) 2329-2339. DOI: 10.1021 / bm049512m.
- Gudmundsson, M. (1994). Retrogradation of starch and the role of its components. *Thermochimica Acta*, 246(2), 329-341. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(94\)80100-2](https://doi.org/10.1016/0040-6031(94)80100-2)
- Guerra-Della Valle, D., LA Bello-Pérez, RA-González Soto, J. Solorza-Feria, y G. Arámbula-Villa. 2008. Los estudios experimentales de la acetilación del almidón de plátano. *Rev. Mex. En g. Quim.* 7 (3) 283-291. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62011164012>
- Guerra Díaz, L. (2001). Desinfección del agua con luz ultravioleta y energía solar fotovoltaica. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 22(4), 36-8. Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento666.pdf>
- Gutiérrez, A. (2011). Nueva aparcería en la producción de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) en Cajamarca Colombia. *En Cuad.Desarro. Rural*, 8(67), 205-228. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-14502011000200009
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology (Campinas)*, 28(3), 718-726. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Hernández, J. E., Medina, O. J., Hernández, A. L., & Cocha, P. M. (2017). Oxidación y caracterización fisicoquímica de almidón de sagú “*Marantha Arundinacea*” para la elaboración de bioplástico. *REVISTA FUENTES*, 15(1), 19-26. DOI: <https://doi.org/10.18273/revfue.v15n1-2017002>
- Herrera Márquez, A. E. (2014). Evaluación de la influencia del grado de acetilación del almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) sobre algunas de sus propiedades fisicoquímicas. (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/45940/>

- Hoover, R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carboh. Polym*, 49(4); 425-437. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00354-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00354-X)
- Idarraga, D. A. M., Tocora, M. R. A., Camacho, N. A. S., & Silva, J. F. B. (2011). Calidad de la harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) a partir del método de secado por conducción Quality of arracachia flour (*Arracacia xanthorrhiza*) from the method of drying by conduction. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA)*, 2(1), 23-28. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/entrenamiento/index.php/riaa/article/view/906/901>
- Kaur, L., Singh, J., Liu, Q. 2007. Starch - a potential biomaterial for biomedical applications. En *nanomaterials and nanosystems for biomedical applications*, Victoria, Australia. Cap 5. P 83-99. Recuperado de: <http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/Mozafari2007.pdf#page=95>
- Kivia M. Albano, Célia M.L. Franco, Vânia R.N. Telis. (2014). Rheological behavior of Peruvian carrot starch gels as affected by temperature and concentration, *Food Hydrocolloids*, Volume 40, Pag 30-43, ISSN 0268-005X, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.02.003>.
- Klein, B., Vanier, N L., Moomand, K., Pinto, V Z, Colussi, R., da Rosa Zavareze, E., & Dias, ARG. (2014). Ozone oxidation of cassava starch in aqueous solution at different pH. *Food chemistry*, 155, 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.058>
- Lawal, S., Lapasin, R., Bellich, B., Olayiwola, T., (2011). Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Africa. *Food Hydrocolloids*, 25 (7), 1785-1792. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.010>
- Lee, J. S., Kumar, R. N., Rozman, H. D., & Azemi, B. M. N. (2005). Pasting, swelling and solubility properties of UV initiated starch-graft-poly (AA). *Food Chemistry*, 91(2), 203-211. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.032>
- Ledezma, C. C. Q. (2009) Caracterización Físicoquímica De Tres Fuentes Subutilizadas De Almidón De La Región Andina De Bolivia. *Revista investigación y desarrollo*, 1

- (9). Recuperado de: <http://www.upb.edu/revista-investigacion-desarrollo/index.php/id/article/view/81>
- Leonel, M., & Cereda, M. P. (2002). Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. *Food Science and Technology (Campinas)*, 65-69. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612002000100012>
- Liendo, J. (2011) Uso de almidón de apio (*Arracacia xanthorrhiza B.*) en colados de durazno (*Prunus pérsica L.*). *Rev. Fac. Agron. (UCV)* 37(3) 93-104. Recuperado de: http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/3073/1/Art._1._Rev%5B1%5D.pdf
- López, O. (2011). Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas). La plata: Universidad Nacional de la plata, 2012. ISBN 978-950-34-0852-0 Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento_completo.pdf?squence=3
- Lozano, K. P. C., Mendoza, J. G. S., & Garrido, F. E. (2013). Caracterización funcional de almidón catiónico de yuca (*Manihot esculenta*). *REVISTA ION*, 26(2). Recuperado de: <http://repvie.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/3765>
- Luo, Z., Fu, X., He, X., Luo, F., Gao, Q., & Yu, S. (2008). Effect of ultrasonic treatment on the physicochemical properties of maize starches differing in amylose content. *Starch-Stärke*, 60(11), 646-653. DOI: 10.1002 / star.200800014
- Mestres, C., & Rouau, X. (1997). Influence of natural fermentation and drying conditions on the physicochemical characteristics of cassava starch. *journal of the science of food and agriculture*, 74(2), 147-155. DOI: 10.1002/ (sici) 1097-0010(199706)74:2<147: aid-jsfa781>3.0.co; 2-j
- Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*, (8), 57-67. DOI: <https://doi.org/10.24050/reia.v4i8.185>
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural - MADR. (2014). Boletín mensual, Insumos y Factores asociados a la producción agropecuaria. El cultivo de la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), hortaliza de grandes bondades nutricionales y de alta potencialidad agroindustrial. Autor.

- Moraes, J., Alves, F., Franco, CM. (2013) Effect of ball milling on structural and physicochemical characteristics of cassava and Peruvian carrot starches. *Stärke A.* Col. 65, N° 3-4, pp. 200-209. DOI: 10.1002 / star.201200059
- Nuñez-Santiago, M. C., Bello-Pérez, L. A., & Tecante, A. (2004). Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Carbohydrate Polymers*, 56, 65e75.
- OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS - AOAC (16th Ed). (1995). Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. USA.
- Peñaranda, C., Perilla., J., Algecira N. (2008). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. *Revista ingeniería e investigación*; 28 (3) 47-52. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v28n3/v28n3a06.pdf>
- Peroni, F. (2003). Características Estructurais correo físico-Químicas de amidos obtidos de Diferentes fontes botánicas. (Tesis de maestría). Universidad estata Paulista Júlio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto, Brasil. Recuperado de: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/88414>
- Quiroga, C. (2009). Caracterización Físicoquímica de Tres fuentes subutilizadas de almidón de la Región Andina de Bolivia. *Investigacion y desarrollo*, vol 1, (9) año 2009. Recuperado de: <http://www.upb.edu/revista-investigacion-desarrollo/index.php/id/article/view/81>
- Pinilla, W. A. V. (2010). Determinación experimental de las condiciones de operación para el proceso de hidrolisis enzimática de almidón de yuca nativa de la región amazónica en la ciudad de Leticia (Tesis) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Química). Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3882/1/293752.2010.pdf>
- Radosta, S., Vorweg, W., Ebert, A., Begli, A. H., Grölc, D. and Wastyn, M. (2004), Properties of Low-substituted Cationic Starch Derivatives Prepared by Different Derivatisation Processes. *Starch/Stärke*, 56: 277–287. doi:10.1002/star.200300210
- Ramírez, N. G. (2016). Efecto antioxidante del extracto de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) sobre arracacha (*Arracacia xhantorriza*) empacada al vacío. *Agroindustrial Science*, 6(1), 107-115

- Raphael, M., Yona, B., Stephen, K., Ephraim, N., Patrick, R., Settumba, M., & Samuel, K. (2011). Amylopectin molecular structure and functional properties of starch from three Ugandan cassava varieties. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 3(9), 195-202
- Ratnayake, W., Hoover, R., & Warkentin, T. (2002). Pea starch: composition, structure and properties – a review. *Starch/Stärke*, 54: 217-234.
- Rincón, A. Bou, L. Aragoza, L. Padilla, F. (2007) efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades de almidón de semillas de fruto de pan (*artocarpus altilis*). Universidad central de Venezuela. Archivos latinoamericanos de nutrición, vol 57 N°3. Recuperado de: <https://www.alanrevista.org/ediciones/2007/3/art-12/>
- Rivas, M. (2012). Almidón acetilado de plátano: caracterización fisicoquímica y molecular. (Tesis de Doctorado). Universidad autónoma de Querétano. Facultad de Química. México. Recuperado de: <http://ri.uaq.mx/xmlui/handle/123456789/1754>
- Rodríguez, Borray., García, B., Camacho, T., Arias, G., Rivera, V & De la Torre, D. (2000). La harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). Manual técnico para su elaboración. CORPOICA. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4714/1/Harina%20de%20arracacha.pdf>
- 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*). *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 34(2) 140-146 Recuperado de: <http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/farmacia/revista/V34N2-04.pdf>
- Rodríguez, M. (2015). Elaboración de un producto tipo colado a partir de almidones modificados y harinas de *Arracacia xanthorrhiza* (Doctoral dissertation).
- Rojas, W., Soto, J. L., Pinto, M., Jäger, M., & Padulosi, S. (2010). Granos Andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. *Biodiversity International*. Recuperado de: <http://www.proinpa.Org/tic/pdf/Quinua/Varios%20quinua/pdf35.pdf>.
- Sandhu, K. S., & Kaur, M. (2010). Studies on noodle quality of potato and rice starches and their blends in relation to their physicochemical, pasting and gel textural

- properties. *LWT-Food Science and Technology*, 43(8), 1289-1293.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.03.003>
- Santacruz, S. (2005). Caracterización de almidones de *Arracacia xanthorrhiza*, *canna edulis* y *oxalis tuberosa* y extraído de hojas de papa. *Revista Boliviana de Química*, 22(1), 27-33. Recuperado de: http://www.bolivianchemistryjournal.org/QUIMICA%202005%20PDF/4_CARACTERIZACION%20DE%20ALMIDONES.pdf
- Smith, AM (2001). La biosíntesis de los gránulos de almidón. *Biomacromolecules*, 2 (2), 335-341. <http://dx.doi.org/10.1021/bm000133c>. PMID: 11749190.
- Singh, N. Singh, J., Kaur, L., Sodhi, NS, Gill, BS Propiedades morfológicas, térmicas y reológicas de los almidones de diferentes fuentes botánicas (2003) *Química de los Alimentos*. 81 (2), 219-231. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)
- Sívoli, L., Pérez, E., Rodríguez, P., De Abrisqueta, A., & Raymúndez, M. B. (2005). Cambios en la estructura granular durante el proceso de modificación química (fosfatado-acetilado) del almidón de yuca analizados por microscopía óptica y electrónica. *Acta Microscópica*, 14(1), 5-9. Recuperado de : https://www.researchgate.net/publication/230800689_Cambios_en_la_estructura_granular_durante_el_proceso_de_modificacion_quimica_fosfatado-acetilado_del_almidon_de_yuca_analizados_por_microscopia_optica_y_electronica
- Takeiti, C., Fakhouri F., Ormenese R., Steel C., Collares F. (2007). Freeze – thaw stability of gels prepared from starches of non – conventional sources. *StärkeY. Col*, 59, (3-4), 156-160. DOI: 10.1002/star.200600544
- Takizawa, F. F., Silva, G. D. O. D., Konkell, F. E., & Demiate, I. M. (2004). Characterization of tropical starches modified with potassium permanganate and lactic acid. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47(6), 921-931. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132004000600012>
- Tofiño, A., Fregene, M., Ceballos, H., Cabal, D. (2006). Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres: perspectivas de modificación.
- Artículo de revisión derivado del seminario II, Doctorado en ciencias agrarias, énfasis en fisiología vegetal, universidad Nacional de Colombia, Bogotá

- Thomas, H., Wurzburg & Atwell, W. (1999). Starches. Practical guides for the food industry. American Association of Cereal Chemist, 1-87.
- Ubwa, S. T., Abah, J., Asemave, K., & Shambe, T. (2012). Studies on the Gelatinization Temperature of Some Cereal Starches. International Journal of Chemistry, 4(6), 22. DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/ijc.v4n6p22>
- Vaclavick, J. M. (1998). Almidones en los alimentos en fundamentos de ciencia de los alimentos. 1 edición.; editorial Acribia: España. Recuperado de: http://app.ute.edu.ec/content/3250-124-20-1-6-16/LECTURA3_SESION10001.pdf
- Valenzuela-Real, C. P., Bohórquez-Pérez, Y., Bermeo-Andrade, H. P., & Sánchez-Riaño, A. M. (2016). Enxploración de redes de valor para productos hortofrutícolas representativos de la región Tolima, Colombia. Agronomía Colombiana, 34(1Supl), S31-S35.
- Vamadevan, V., & Bertoft, E. (2015). Structure-function relationships of starch components. Starch/Stärke, 67, (1-2) 55-68. DOI: 10.1002/star.201400188
- Vatanasuchart, N., Naivikul, O., Charoenrein, S., Sriroth, K. (2005). Molecular properties of cassava starch modified with different UV irradiations to enhance baking expansion, Carbohydrate Polymers, 61, (1) 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.02.012>
- Vásquez, N., Medina, C., & Lobo, M. (2004). Morfológica de la colección colombiana (Tolima, Huila, Boyacá, Cauca) de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). Recuperado de: http://nqxms1019hx1xmtstxk3k9sko.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2014/09/13_Caracteriz_morfol_de_la_coleccion.pdf
- Wang, L., Xie, B., Shi, J., Xue, S., Deng, Q., Wei, Y., & Tian, B. (2010). Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. Food Hydrocolloids, 24(2), 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.09.007>
- Wang, Y., Truong, V., & Wang, L. (2003). Structures and rheological properties of corn starch as affected by acid hydrolysis. Carboh. Polym, 52(3); 327-333. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00323-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00323-5)
- Wani, A. A., Singh, P., Shah, M. A., Achweiggert-Weisz, U., Gul, K., & Wani, I. A. (2012). Rice starch diversity: Effects on structural, morphological, thermal and

physicochemical properties - A review. *Food Science and Food Safety*, 11 (5), 417-436. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2012.00193.x

Wongsagonsup, R., Deeyai, P., Chaiwat, W., Horrungsawat, S., Leejariensuk, K., Suphantharika, M., & Dangtip, S. (2014). Modification of tapioca starch by non-chemical route using jet atmospheric argon plasma. *Carbohydrate polymers*, 102, 790-798. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.089>

Zamudio, P., Vargas, A. Gutiérrez, F. Bello, L. (2010). Caracterización fisicoquímica de almidones doblemente modificados de plátano. *Agrociencia*, vol 44, N° 3-pp 283-295. Mexico. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952010000300004&script=sci_arttext&tlng=en

Zhou, X., & Lim, S. T. (2012). Pasting viscosity and in vitro digestibility of retrograded waxy and normal corn starch powders. *Carbohydrate polymers*, 87(1), 235-239. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.045>

ANEXOS

ANEXO. A. Análisis estadístico

Tabla ANOVA para Longitud_cm_por mes crecimiento.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1063,53	6	177,255	4,48	0,0007
Intra grupos	2653,75	67	39,6082		
Total (Corr.)	3717,28	73			

ANEXO B. Pruebas de Múltiples Rangos para Longitud_cm_por mes crecimiento
Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

<i>mes crecimiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
8	13	12,6385	X
7	13	13,0292	X
11	11	14,4091	X
10	15	14,4333	X
13	8	14,9	XX
12	4	21,75	XX
9	10	23,8	X

ANEXO C. Tabla ANOVA para Peso_g_ por mes crecimiento.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,0028E6	6	167133,	4,81	0,0004
Intra grupos	2,32842E6	67	34752,6		
Total (Corr.)	3,33122E6	73			

ANEXO D. Pruebas de Múltiples Rangos para Peso_g_por mes crecimiento

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>mes crecimiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
7	13	90,58	X
8	13	143,462	XX
10	15	242,333	XXX
12	4	321,25	XXX
11	11	355,909	XX
13	8	366,0	XX
9	10	416,0	X

ANEXO E. Tabla ANOVA para IAA por mes.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,37664	6	0,22944	2,04	0,1864
Intra grupos	0,787608	7	0,112515		
Total (Corr.)	2,16425	13			

ANEXO F. Tabla ANOVA para isa por mes.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,23803	6	0,0396717	0,72	0,6462
Intra grupos	0,384567	7	0,0549381		
Total (Corr.)	0,622597	13			

ANEXO G. Tabla ANOVA para PH por mes.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1,49211	6	0,248686	1,62	0,2710
Intra grupos	1,0761	7	0,153728		
Total (Corr.)	2,56821	13			

ANEXO H. Tabla ANOVA para Sinéresis % agua liberada por mes.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	958,012	6	159,669	772,94	0,0000
Intra grupos	1,44601	7	0,206572		
Total (Corr.)	959,458	13			

ANEXO I. Pruebas de Múltiples Rangos para Sinéresis % agua liberada por mes

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>mes</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
11	2	2,55643	X
12	2	3,12392	X
10	2	9,67626	X
9	2	20,7206	X
8	2	20,7573	X
7	2	21,3474	X
13	2	22,1889	X

ANEXO J. Tabla ANOVA para Temperatura de gelatinización [°C] por mes.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	46,9467	5	9,38933	1877,87	0,0000
Intra grupos	0,03	6	0,005		
Total (Corr.)	46,9767	11			

ANEXO K. Pruebas de Múltiples Rangos para temperatura [°C] por mes.

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>mes</i>	<i>Caso</i>	<i>Medi</i>	<i>Grupos</i>
	<i>s</i>	<i>a</i>	<i>Homogéneos</i>
10	2	56,85	X
13	2	58,35	X
12	2	58,45	X
8	2	59,55	X
11	2	62,05	X
9	2	62,25	X

ANEXO L. Tabla ANOVA para Viscosidad máxima [BU] por mes.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	139572,	5	27914,5	15951,13	0,0000
Intra grupos	10,5	6	1,75		
Total (Corr.)	139583,	11			

ANEXO M. Pruebas de Múltiple Rangos para Viscosidad por mes

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>mes</i>	<i>Caso</i> <i>s</i>	<i>Medi</i> <i>a</i>	<i>Grupos</i> <i>Homogéneos</i>
8	2	171,0	X
9	2	315,0	X
13	2	410,5	X
12	2	426,0	X
10	2	437,0	X
11	2	505,0	X

ANEXO N. Tabla ANOVA para Viscosidad final [BU] por mes

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	28830,8	5	5766,15	395,39	0,0000
Intra grupos	87,5	6	14,5833		
Total (Corr.)	28918,3	11			

ANEXO O. Pruebas de Múltiple Rangos para Viscosidad final [BU] por mes.

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>mes</i>	<i>Caso</i>	<i>Medi</i>	<i>Grupos</i>
	<i>s</i>	<i>a</i>	<i>Homogéneos</i>
8	2	151,0	X
10	2	264,5	X
9	2	271,0	XX
13	2	279,5	X
12	2	289,0	X
11	2	294,5	X

ANEXO P. Tabla ANOVA para T por Dosis.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	18,514	4	4,6285	210,39	0,0000
Intra grupos	0,11	5	0,022		
Total (Corr.)	18,624	9			

ANEXO Q. Prueba de Múltiple Rangos para T por DOSIS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>DOSI</i>	<i>Caso</i>	<i>Medi</i>	<i>Grupos</i>
<i>S</i>	<i>s</i>	<i>a</i>	<i>Homogéneos</i>
1	2	53,9	X
2	2	55,15	X
4	2	55,5	X
3	2	56,1	X
0	2	58,05	X

ANEXO R. Tabla ANOVA para V MAX por DOSIS

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	7036,6	4	1759,15	135,32	0,0000
Intra grupos	65,0	5	13,0		
Total (Corr.)	7101,6	9			

ANEXO S. Pruebas de Múltiple Rangos para V MAX por DOSIS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>DOSI</i>	<i>Caso</i>	<i>Medi</i>	<i>Grupos</i>
<i>S</i>	<i>s</i>	<i>a</i>	<i>Homogéneos</i>
4	2	324,5	X
2	2	367,0	X
3	2	382,5	X
0	2	389,0	XX
1	2	401,0	X

ANEXO T. Tabla ANOVA para V FINAL por DOSIS

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2366,6	4	591,65	57,44	0,0002
Intra grupos	51,5	5	10,3		
Total (Corr.)	2418,1	9			

ANEXO U. Pruebas de Múltiple Rangos para V FINAL por DOSIS

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

<i>DOSIS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
4	2	219,0	X
2	2	222,5	XX
0	2	233,5	XX
3	2	241,5	X
1	2	262,0	X

ANEXO V. Tabla ANOVA para FUERZA por DOSIS

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,83483	4	0,208708	37,27	0,0006
Intra grupos	0,0279985	5	0,0055997		
Total (Corr.)	0,862829	9			

ANEXO W. Pruebas de Múltiple Rangos para FUERZA por DOSIS.

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>DOSIS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	2	0,330 5	X
4	2	0,372	XX
2	2	0,414	XX
1	2	0,548	X
0	2	1,115	X

ANEXO X. Pruebas de Múltiple Rangos para TAMAÑO por DOSIS

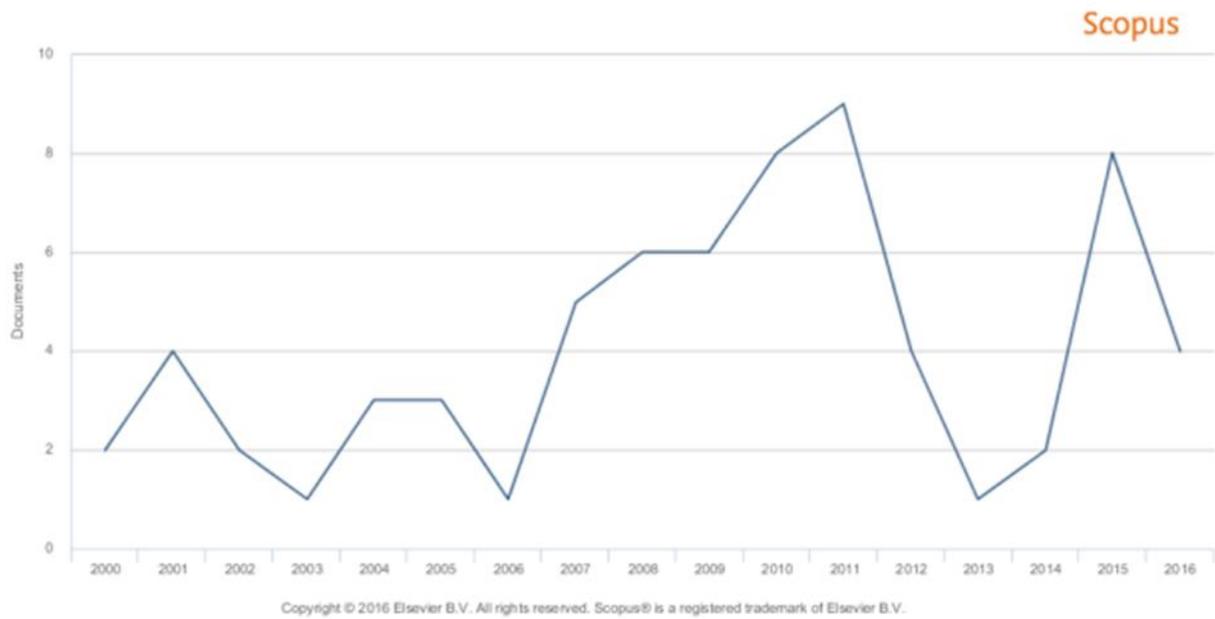
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	10,8572	4	2,71431	495,31	0,0000
Intra grupos	0,0274	5	0,00548		
Total (Corr.)	10,8846	9			

ANEXO Y. Pruebas de Múltiple Rangos para tamaño por dosis.

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

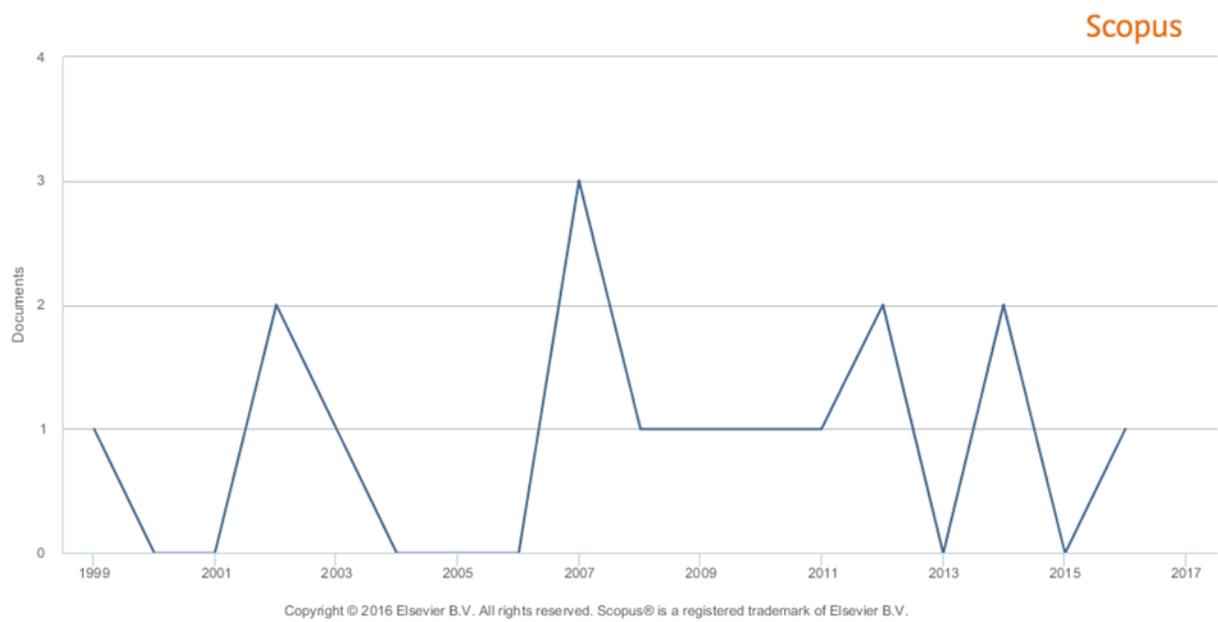
<i>DOSI</i>	<i>Caso</i>	<i>Medi</i>	<i>Grupos</i>
<i>S</i>	<i>s</i>	<i>a</i>	<i>Homogéneos</i>
2	2	4,3	X
3	2	5,335	X
1	2	6,175	X
4	2	6,285	X
0	2	7,425	X

ANEXO Z. Investigaciones realizadas en *Arracacia xanthorrhiza* B. años 2000 al 2013



Fuente: Scopus (2016)

ANEXO A.A. Investigaciones realizadas en almidón de *Arracacia xanthorrhiza* B, años 1999-2016.



Fuente: Scopus (2016)

 Universidad del Tolima	PROCEDIMIENTO DE FORMACIÓN DE USUARIOS AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 1 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 03
		Fecha Aprobación: 15 de Febrero de 2017

Los suscritos:

Sandra Yinneth Salas Cuestas con C.C N° 28548317

Manifiesto (an) la voluntad de:

Autorizar

No Autorizar Motivo: _____

La consulta en físico y la virtualización de **mi OBRA**, con el fin de incluirlo en el repositorio institucional de la Universidad del Tolima. Esta autorización se hace sin ánimo de lucro, con fines académicos y no implica una cesión de derechos patrimoniales de autor.

Manifestamos que se trata de una OBRA original y como de la autoría de LA OBRA y en relación a la misma, declara que la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA, se encuentra, en todo caso, libre de todo tipo de responsabilidad, sea civil, administrativa o penal (incluido el reclamo por plagio).

Por su parte la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA se compromete a imponer las medidas necesarias que garanticen la conservación y custodia de la obra tanto en espacios físico como virtual, ajustándose para dicho fin a las normas fijadas en el Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad, en la Ley 23 de 1982 y demás normas concordantes.

La publicación de:

Trabajo de grado	<input checked="" type="checkbox"/>	Artículo	<input type="checkbox"/>	Proyecto de Investigación	<input type="checkbox"/>
Libro	<input type="checkbox"/>	Parte de libro	<input type="checkbox"/>	Documento de conferencia	<input type="checkbox"/>
Patente	<input type="checkbox"/>	Informe técnico	<input type="checkbox"/>		
Otro: (fotografía, mapa, radiografía, película, video, entre otros)					<input type="checkbox"/>

 Universidad del Tolima	PROCEDIMIENTO DE FORMACIÓN DE USUARIOS AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 2 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 03
		Fecha Aprobación: 15 de Febrero de 2017

Producto de la actividad académica/científica/cultural en la Universidad del Tolima, para que con fines académicos e investigativos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad del Tolima. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento en el momento mismo que hago entrega del trabajo final a la Biblioteca Rafael Parga Cortes de la Universidad del Tolima.

De conformidad con lo establecido en la Ley 23 de 1982 en los artículos 30 “**...Derechos Morales. El autor tendrá sobre su obra un derecho perpetuo, inalienable e irrenunciable**” y 37 “**...Es lícita la reproducción por cualquier medio, de una obra literaria o científica, ordenada u obtenida por el interesado en un solo ejemplar para su uso privado y sin fines de lucro**”. El artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “**los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores**” y en su artículo 61 de la Constitución Política de Colombia.

- Identificación del documento:

Título completo: CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza*) MODIFICADO POR IRRADIACIÓN UV-C.

- Trabajo de grado presentado para optar al título de:

MAGISTER EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

- Proyecto de Investigación correspondiente al Programa (No diligenciar si es opción de grado “Trabajo de Grado”):

- Informe Técnico correspondiente al Programa (No diligenciar si es opción de grado “Trabajo de Grado”):

- Artículo publicado en revista:

- Capítulo publicado en libro:

- Conferencia a la que se presentó:

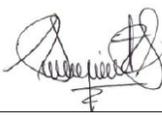
 Universidad del Tolima	PROCEDIMIENTO DE FORMACIÓN DE USUARIOS AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 3 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 03
		Fecha Aprobación: 15 de Febrero de 2017

Quienes a continuación autentican con su firma la autorización para la digitalización e inclusión en el repositorio digital de la Universidad del Tolima, el:

Día: **18** Mes: **MAYO** Año: **2018**

Autores:

Firma

Nombre:	SANDRA YINNETH SALAS CUESTAS		28548317
Nombre:	_____	_____	C.C.
Nombre:	_____	_____	C.C.
Nombre:	_____	_____	C.C.
Nombre:	_____	_____	C.C.

El autor y/o autores certifican que conocen las derivadas jurídicas que se generan en aplicación de los principios del derecho de autor.