

 Universidad Pontificia Bolivariana	PRESENTACIÓN INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	VICERRECTORIA ACADÉMICA FO-IP-007
---	---	---

CARACTERIZACION FISICA, QUIMICA Y TERMICA DEL ALMIDON NATIVO Y OXIDADO DE
BATATA (IPOMOEA BATATAS)

LUIS DARIO CORONADO PASTRANA
EDWARD ANTONIO RENDON QUINTERO

DIRECTOR DE LA INVESTIGACIÓN
DRA. CARMEN ELENA PÉREZ CERVERA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS & ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
MONTERÍA – CÓRDOBA
2021

PRESENTACIÓN DE INFORME FINAL TRABAJOS DE GRADO

CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y TÉRMICA DEL ALMIDÓN NATIVO Y OXIDADO DE
BATATA (IPOMOEA BATATAS)

LUIS DARIO CORONADO PASTRANA
EDWARD ANTONIO RENDON QUINTERO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

DIRECTOR DE LA INVESTIGACIÓN
DRA. CARMEN ELENA PÉREZ CERVERA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS & ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
MONTERÍA – CÓRDOBA
2021

PRESENTACIÓN DE INFORME FINAL TRABAJOS DE GRADO

A. INFORMACIÓN GENERAL

Título del trabajo de grado	Caracterización física, química y térmica del almidón nativo y oxidado de batata (<i>Ipomoea batatas</i>)
Estudiantes de Trabajo de Grado	Luis Darío Coronado Pastrana Edward Antonio Rendon Quintero
Directore(s):	Ing. Carmen Helena Pérez Cervera
Unidad académica	Ingeniería Agroindustrial
Empresa donde realizó el trabajo	Universidad Pontificia Bolivariana sede Montería
Fecha de inicio	Julio 2019
Fecha de finalización	Noviembre 2021
Costo total del proyecto (incluyendo descargas – pago de personal -).	32.227.799 COP
Montos de contrapartida (Entidad o dependencia que cofinanció).	Universidad Pontificia Bolivariana
Línea de trabajo o área del conocimiento en la cual se inscribió el trabajo	Desarrollo de nuevos materiales

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE	4
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN.....	9
1.MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE.....	11
2.METODOLOGÍA.....	24
2.1.Extracción del almidón.....	24
2.2.Oxidación del almidón de batata	24
2.3.Contenido de humedad	25
2.4.Determinacion de color	25
2.5.Determinacion de grupos carboxilos	26
2.6.Poder de hinchamiento y solubilidad.....	26
2.7.Espectroscopia infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)	27
2.8.Morfologia de los granulos de almidon.....	27
2.9.Calorimetria diferencial de barrido (DSC)	28
2.10.Analisis termogravimetrico (TGA)	28
2.11.Analisis estadistico.....	28
3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
3.1.Rendimiento del almidón.....	29
3.2.Determinacion de color	32
3.3.Poder de hinchamiento y solubilidad.....	34
3.4.Espectroscopia infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)	29

PRESENTACIÓN DE INFORME FINAL TRABAJOS DE GRADO

3.5.Morfología de los granulos de almidon..... 36

3.6.Calorimetria diferencial de barrido (DSC) 40

3.7.Analisis termogravimetrico (TGA) 37

3.8.Analisis estadistico..... 37

4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 42

5.BIBLIOGRAFÍA..... 43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la batata	13
Tabla 2. Contenido nutrimental de tubérculos de camote1	14
Tabla 3. Contenido nutrimental de vitaminas, minerales y elementos traza de tubérculos de camote	15
Tabla 4. Contenido nutrimental de tubérculos de camote	16
Tabla 5. Caracterización física de camote anaranjado (CA), blanco (CB) y morado (CM)	28
Tabla 6. Parámetros de color del almidón nativo y oxidado de batata	30
Tabla 7. Resultados de la solubilidad e hinchamiento del almidón nativo y oxidado de batata	32
Tabla 8. Resultados termogravimétricos del almidón nativo y oxidado de la batata ...	37
Tabla 9. Resultados de DSC almidon nativo y oxidado de fatata	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resultados TGA vs DSC.....	21
Figura 2. Forma y tamaño de los almidones nativos y oxidados de batata.	34

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Espectros de infrarrojos Almidón nativo y oxidado de batata	28
Gráfica 2. Gráfica 2. Análisis termogravimétrico del almidón Nativo de batata	36
Gráfica 3. Análisis termogravimétrico del almidón oxidado de batata	37
Gráfica 4. Calorimetría diferencial de barrido para el almidón Nativo de batata.....	39
Gráfica 5. Calorimetría diferencial de barrido para el almidón oxidado de batata	40

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Preparación de la materia prima	54
Anexo 2. Picado de la batata	54
Anexo 3. Sedimentación del almidón	54
Anexo 4. Obtención del precipitado	54
Anexo 5. Almidón nativo seco	55
Anexo 6. Proceso de oxidación del almidón de batata	55
Anexo 7. Almidón oxidado de batata.....	56

RESUMEN:

El almidón es un carbohidrato complejo formado por unidades repetidas de glucosa conectadas por los enlaces α -D glúcidos. Este puede ser extraído de diferentes fuentes tales como cereales, legumbres, tubérculos, palmas, frutos y tallos. Durante décadas, el almidón nativo ha sido utilizado ampliamente en varias aplicaciones en las que se destaca su uso como espesante, estabilizador, aglutinante y agente de recubrimiento. Sin embargo, los almidones nativos necesitan ser modificados para mejorar sus propiedades y hacerlos más funcionales en una amplia gama de aplicaciones. Esta investigación se centró en caracterizar las propiedades físicas, químicas y térmicas del almidón nativo y oxidado obtenido a partir de batata variedad Aurora (pulpa naranja). La extracción del almidón arrojó un rendimiento de 7,85%, valor similar al encontrado en la literatura. Para la oxidación del almidón se empleó una concentración de cloro activo de 0,25 % p/p en base seca de almidón. Los resultados indicaron que con la cantidad de cloro activo empleada se logró la incorporación de grupos carboxilos, tal como se evidenció en el espectro arrojado mediante el análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). De igual forma, los parámetros de color arrojaron resultados favorables indicando que el almidón oxidado presentaba mayor medida de blancura y eso debido al efecto blanqueador que posee el cloro activo, en cuanto a la capacidad de hinchamiento y la solubilidad en agua de los gránulos de almidón nativo y oxidado de batata, se encontró que el oxidado obtuvo menores valores y esto podría ser a causa de la despolimerización de gránulos de almidón durante el proceso de oxidación, debido a la estructura lineal y ampliamente accesible de la amilosa. Por otro lado, también se pudo comprobar que el tratamiento de oxidación no influyó en los caracteres morfológicos de los gránulos de almidón y tan sólo algunos gránulos mostraron en la estructura externa pequeñas abolladuras. En cuanto a las propiedades térmicas se encontró que el almidón oxidado obtuvo un porcentaje menor de pérdida de masa en función de la temperatura, de igual forma el almidón oxidado necesitó menos energía para gelatinizar y presentó menor temperatura de gelatinización. Esta investigación podría contribuir al desarrollo de futuras investigaciones donde se requiera emplear almidones modificados que presenten cambios significativos en sus propiedades, tal como recubrimientos comestibles, películas comestibles y diferentes aplicaciones alimentarias y no alimentarias.

PALABRAS CLAVE: Almidón, oxidación, batata, propiedades, caracterización.

ABSTRACT:

Starch is a complex carbohydrate made up of repeating glucose units connected by α – D glucoside bonds. This can be extracted from different sources such as cereals, legumes, tubers, palms, fruits and stems. For decades, native starch has been widely used in various applications, notably as a thickener, stabilizer, binder, and coating agent. However, native starches need to be modified to improve their properties and make them more functional in a wide range of applications. This research focused on characterizing the physical, chemical and thermal properties of native and oxidized starch obtained from sweet potato variety Aurora (orange pulp). The starch extraction yielded 7.85%, a value similar to that found in literature. For the starch oxidation, an active chlorine concentration of 0.25% w / w on a dry starch basis was used. The results indicated that with the amount of active chlorine used, the incorporation of carboxyl groups was achieved, as evidenced in the spectrum produced by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis. Similarly, the color parameters yielded favorable results indicating that the oxidized starch had a greater measure of whiteness due to the bleaching effect that active chlorine has. Regarding the swelling capacity and the water solubility of the starch granules of native and oxidized sweet potato, it was found that the oxidized obtained lower values and this could be due to the depolymerization of starch granules during the oxidation process, due to the linear and widely accessible structure of amylose. On the other hand, it was also found that the oxidation treatment did not influence the morphological characters of the starch granules and only some granules showed small dents in the external structure. Regarding the thermal properties, it was found that the oxidized starch obtained a lower percentage of mass loss as a function of temperature, in the same way, the oxidized starch needed less energy to gelatinize and presented a lower gelatinization temperature. This research could contribute to the development of future research where it is required to use modified starches that present significant changes in their properties, such as edible coatings, edible films and different food and non-food applications.

KEY WORDS: Starch, oxidation, sweet potato, properties, characterization.

INTRODUCCIÓN:

Actualmente, un gran número de investigaciones se centran en el desarrollo y caracterización de películas y recubrimientos biodegradables, obtenidas a partir de polímeros naturales, con el fin de estudiar la posibilidad de sustituir los envases plásticos sintéticos que son resistentes al ataque microbiano y a la biodegradación (Jiménez et al,2012). Uno de los polímeros ampliamente estudiado para este fin, es el almidón; debido a su bajo costo, abundancia, renovabilidad y biodegradabilidad (Alves et al, 2007). Dentro de los almidones estudiados para la obtención de películas y recubrimientos biodegradables, se encuentra el almidón de batata.

La batata pertenece a la familia *convolvuláceae*, del género *Ipomoea* (Austin, 1998), se encuentra dentro del grupo de raíces y tubérculos. Las raíces de esta planta son abundantes y ramificadas, produce raíces reservantes, de colores y diferentes formas dependiendo la variedad (Marín, 1994), con una riqueza de almidón entre 58 - 76% en base seca, es catalogada como excelente fuente de energía (Iheagwara MC, 2013). Se utiliza principalmente para la alimentación humana, pero también posee otros usos industriales como en la fabricación de concentrado animal y en la industria de los almidones (Lago, 2011).

El almidón es un biopolímero cuyos gránulos se componen de cadenas de amilosa y amilopectina, que, dependiendo de la composición y arreglo estructural, confieren propiedades fisicoquímicas y funcionales únicas propias de cada especie (Wang y White, 1994). Se utilizan como espesante, estabilizante, aglutinante, encapsulante y formador de películas en la industria de alimentos, sin embargo, exhiben limitaciones cuando se someten a estrés mecánico, térmico o químico. No obstante, estas desventajas pueden ser superadas mediante la modificación del almidón, proceso que puede realizarse por métodos químicos, físicos y enzimáticos (Sánchez et al., 2005).

Actualmente, la información acerca de las propiedades del almidón de batata nativo y oxidado es escasa, por tanto, la caracterización de éstos es de gran importancia para la industria creciente del uso de materiales poliméricos naturales, para diferentes fines, especialmente en el área de envases.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, esta investigación busca caracterizar el almidón de batata nativo y oxidado, con el propósito de determinar los cambios más relevantes debido a la modificación del almidón. Se espera que esta investigación contribuya a la agroindustrialización del almidón de batata y de esta forma ampliar su uso en diferentes productos agroindustriales, especialmente como matriz polimérica para el desarrollo de nuevos materiales de envasado.

1.MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE

Almidón

En las últimas décadas, debido a la grave contaminación ambiental causada por los residuos plásticos, un gran número de investigaciones se ha centrado en evaluar la posibilidad de sustituir el plástico por materiales biodegradables de bajo costo con propiedades similares (Flores, Fama & Rojas, 2007). Estos estudios se han basado en el desarrollo y caracterización de películas obtenidas a partir de polímeros naturales (Jiménez et al., 2012) donde se destaca ampliamente el uso de proteínas, carbohidratos como la celulosa y los almidones (Hu, Chen & Gao, 2009).

El almidón ha sido considerado uno de los biopolímeros con mayor potencial industrial para producir películas biodegradables, ya que es una fuente renovable, ampliamente disponible, económica y relativamente fácil de manejar (Maizura et al., 2007). Este polímero constituye más del 60% de los granos de cereal y es relativamente fácil de separar de los otros componentes químicos (Arvanitoyannis & Kassaveti, 2009). También se encuentra presente en tubérculos, semillas de leguminosas y en algunas frutas, y su concentración varía con el estado de madurez de los mismos (Thomas, Arwell & Starches ,1999).

En la actualidad, hay una gran tendencia en buscar fuentes no convencionales que funcionen como alternativas para obtener almidones cuyas características fisicoquímicas, funcionales y estructurales sean diversas, con el fin de ampliar la gama de usos en la industria.

Entre estas nuevas fuentes de extracción de almidones podemos encontrar a los tubérculos, siendo así los más importantes a nivel mundial la yuca (*Manihot esculenta*), batata (*Ipomea batata*), papa (*Solanum tuberosum*), ñame (*Dioscorea spp.*), entre otros (CIAT,1997), por su alto contenido en almidón.

En cuanto a la estructura química, el almidón es un polímero de alto peso molecular, conformado por unidades de hidro-glucosa unidas por enlaces α -D glúcidos (Hu, Chen, Gao, 2009). Estructuralmente, el almidón está conformado por dos polisacáridos los cuales son la amilosa y la amilopectina. Estas moléculas se disponen juntas en un gránulo relativamente insoluble en agua fría, los cuales presentan un tamaño, forma y morfología característica de la fuente vegetal particular (Jay-lin et al., 1994).

La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), donde algunos enlaces α (1-6) se pueden presentar (Knutzon & Grove,1994), su peso molecular es menor que el de la amilopectina (Espinosa, 2008), puede llegar a formar micelas hidratadas debido a su propiedad de alcanzar moléculas vecinas por puentes de hidrogeno y formar una estructura helicoidal la cual puede obtener un color azul por la formación de un complejo con yodo (Knutzon & Grove,1994). Por su parte, la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa las cuales están unidas en un 94 % a un 96 % por enlaces α (1-4) y en un 4 % a un 6 % α (1-6). Estas ramificaciones están ubicadas aproximadamente entre cada 15 y 25 unidades de glucosa, este polisacárido es parcialmente soluble en agua caliente y en la presencia del yodo se torna en color rojizo violeta (Guan & Hanna,2004).

Dependiendo de la fuente vegetal, en el almidón, la amilosa y la amilopectina pueden representar cantidades de peso aproximado de 15 - 30 % y 85 – 70 %, respectivamente (Jay-lin et al, 1994). La relación entre la amilosa y amilopectina es un valor muy importante, ya que

tiene influencia en las propiedades fisicoquímicas del almidón (Tongdeesoontorn, Wirongrong & Mauer, 2011) y por ende en las características de los productos obtenidos a partir del mismo. Los almidones extraídos de la fuente vegetal son considerados almidones nativos, los cuales, de acuerdo con Wang & White (1994), son aquellos almidones cuya estructura no ha sido modificada por ningún método, conservando así su estructura nativa, es decir, los almidones de las diferentes especies de vegetales que tienen como característica fundamental propiedades fisicoquímicas y funcionales influenciadas por sus estructuras granular y molecular.

Propiedades fisicoquímicas de los almidones

Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en aplicaciones industriales, especialmente en la industria alimentaria incluyen las propiedades fisicoquímicas como la gelatinización y las funcionales como la solubilidad, capacidad de hinchamiento de los gránulos, entre otros (Hernández, Torruco, Guerrero & Betancur, 2008).

Dentro de las propiedades físicas podemos encontrar el contenido de amilosa y amilopectina. La mayoría de los gránulos de almidón vegetal representan aproximadamente una cuarta parte de las moléculas de amilosa y tres cuartas partes de las moléculas de amilopectina. La amilosa es fácilmente soluble en agua, formando una solución ligeramente viscosa, que es difícil de gelatinizar, tiende a formar una estructura helicoidal y puede contener otras moléculas como ácidos grasos o hidrocarburos (Charley, 2008), mientras que la amilopectina tiende a ser más estable gracias a su estructura ramificada, debido a esto es menos propensa a la retrogradación después de la cocción (Varnam, 1994).

Dentro de las propiedades funcionales del almidón se encuentra la gelatinización; la cual ocurre cuando los gránulos de almidón se exponen a un medio de calefacción y alta

humedad; provocando la expansión del gránulo, los cuales se hinchan debido a la capacidad de absorción de agua que presentan los grupos polares hidroxilo que contiene el almidón. Durante la gelatinización la viscosidad de la pasta formada aumenta considerablemente, ya que los gránulos hinchados se adhieren unos con otros (Cheftel y Cheftel, 1976; Tester y Debon 2000).

Otra propiedad funcional que poseen los almidones es el poder de hinchamiento y solubilidad, esta se puede observar cuando los gránulos de almidón no cocidos ni dañados se colocan en agua fría, estos absorben agua y se hinchan. No obstante, la capacidad que tienen de absorción y el hinchamiento son limitadas (Charley, 2008). Estas propiedades están acompañadas por cambios significativos en la viscosidad y en varias propiedades reológicas de las pastas, dichas propiedades son muy importantes ya que funcionan como indicadores de la utilidad del almidón en aplicaciones específicas (Delgado, 2018).

La viscosidad es otra propiedad que es de mucha importancia, esta aumenta notoriamente luego de que los gránulos se han hinchado lo suficiente para que empiecen a chocar con frecuencia (Charley, 2008).

El estudio de las propiedades fisicoquímicas de los almidones es muy importante debido a que el comportamiento de éstas brinda información para el uso del almidón en diferentes aplicaciones industriales. Según, Arzapalo & Huamán, (2014), el almidón se utiliza para mejorar la consistencia y la textura de los alimentos debido a su funcionalidad. No obstante, el uso de almidón nativo se ve limitado ya que su estructura no responde adecuadamente a los procesos que es sometido, debido a su baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis. Una forma de mejorar estas propiedades y optimizar la funcionalidad del almidón, puede lograrse modificando el peso molecular de la amilosa y la amilopectina, así como la organización molecular de estos

dentro del gránulo; por lo que se han estudiado diferentes métodos de modificación de los almidones nativos (Ortiz et al,2016).

Estos almidones modificados son utilizados ampliamente en la industria ya que actúan como espesantes, estabilizadores, humectantes, aglomerantes anti humectantes, acarreadores en el secado de pigmentos, etc. También son diseñados para que puedan trabajar a diferentes condiciones de pH, sales y con diferentes componentes de los alimentos (Badui, 2013).

Como se dijo anteriormente, el almidón puede provenir de diferentes fuentes, no obstante, actualmente se está en la búsqueda de almidones que presenten características adecuadas para su uso en diferentes áreas, no sólo en los procesos de alimentos, sino también en el desarrollo de materiales biodegradables, donde también deben presentar propiedades que permitan la obtención de productos de interés. Es así como además de las fuentes comúnmente empleadas para la extracción de almidón, se ha venido estudiando el almidón extraído de batata.

Batata

La especie *Ipomoea batatas* (L.) Lamb., conocida como batata, papa dulce, camote o boniato, es una planta dicotiledónea que pertenece a la familia Convolvulaceae (Espitia et al. 2021) (ver clasificación taxonómica en la tabla 1.) es perenne y herbácea de tallos rastreros, originaria de la zona tropical de América (Sihachakr et al. 1995, Pérez y Pacheco 2005). Siendo el centro del origen América central, donde se han encontrado la mayor diversidad genética, tal como lo han evidenciado Investigaciones realizadas mediante marcadores moleculares (Huang y Sun 2000, Zhang et al. 2004).

PRESENTACIÓN DE INFORME FINAL TRABAJOS DE GRADO

La batata es un vegetal económico y de fácil acceso que se cultiva extensamente en muchas regiones del mundo por su valor nutritivo (Alotaibi & Tagergorabi,2018). Destacándose como mayor productor el continente asiático (78,1%), seguido por África (17,6%) y América (3,4%); el país con mayor producción es China continental con 73 225 521,67 toneladas representado el 81,3% de la producción mundial (FAOSTAT 2018).

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de la batata

División:	Magnoliophyta
Subdivisión :	Angiospermae
Clase :	Magnoliopsida
Sub clase :	Asteridae
Orden :	Solanales
Familia :	Convolvulaceae
Género :	<i>Ipomoea</i>
Especie :	<i>Ipomoea batatas (L.) Lam.</i>

Fuente: National Center for Biotechnology information (NCBI)

En Colombia, la región caribe es la principal productora y consumidora de este tubérculo, especialmente en los departamentos de Sucre, Magdalena y Córdoba. El cultivo se rige por el conocimiento empírico de los agricultores, por lo que la gran mayoría que se produce se destina al consumo familiar y venta en mercados locales (Flórez, Contreras, Uribe, 2016). No obstante, el interés en el cultivo de batata ha venido en aumento, pasando de 80 ton en el 2006 a 2759.87 ton en 2018 a nivel nacional (Agronet, 2020), lo cual es debido a las nuevas variedades que se han venido incorporando en el país, tal es el caso la variedad de

PRESENTACIÓN DE INFORME FINAL TRABAJOS DE GRADO

pulpa anaranjada, Agrosavia Aurora. El atributo de su pulpa anaranjada es muy demandado en el mercado para la exportación, fabricación de harinas biofortificadas y la alimentación animal (Rosero et al. 2019). Aunque se sabe que independientemente del color de la pulpa, la importancia de la batata radica en su valor nutricional, a continuación, se presenta el contenido nutricional reportado para este tubérculo (tabla 2, tabla 3 y tabla 4)

Tabla 2

Contenido nutrimental de tubérculos de camote

Contenido	Unidad/100g
Agua	64 – 74
Fibra	1.2 – 3.5 gr
Lípidos	0.5 – 2.1 gr
Proteína	1.2 – 7.2 gr
Grasas	0.4 – 3 gr
Carbohidratos	20.19 – 27.3 gr
Azúcar	4.18 – 9.7 gr
Glucosa	2.37 – 4.68 mg
Sacarosa	56.94 – 59.97 mg
Fructosa	1.43 – 4 mg
Almidones	11.8 gr

Fuente: Lim et al, 2016; Linares et al, 2008; Pagalo et al, 2010;Cusumano et al, 2013; Martí et al, 2011; Wang y Zhu, 2016.

Tabla 3

Contenido nutrimental de vitaminas, minerales y elementos traza de tubérculos de camote

Contenido	Unidad/100g
Ácido ascórbico	2.4-25 mg
Retinol	0.1 – 4.256 mg
Tiamina	0.078 – 0.7 mg
Riboflavina	0.05 – 0.061 mg
Niacina	0.557 – 52 mg
Acido pantoténico	0.800
Piridoxina	0.209 – 0.27 mg
Folato	11 – 17 µg
Colina	12.3 mg
Vit K	1.84 mg
B- caroteno	5.63 – 15.63 mg
Sodio	19 – 55 mg
Potasio	200 – 385 mg
Fósforo	47 – 55 mg
Calcio	7 – 34 mg
Magnesio	18 – 25 mg
Hierro	0.61 – 1 mg
Zinc	0.30 – 0.39 mg
Selenio	0.6 – 1 mcg

PRESENTACIÓN DE INFORME FINAL TRABAJOS DE GRADO

Cobre	0.151 mg
Manganeso	0.258 mg

Fuente: Lim et al, 2016; Linares et al, 2008; Pagalo et al, 2010; Cusumano et al, 2013; Martí et al, 2011; Wang y Zhu, 2016.

Tabla 4

Contenido nutrimental de tubérculos de camote

Contenido	Unidad/100g
Triptófano	0.031
Treonina	0.083
Isoleucina	0.055
Leucina	0.092
Lisina	0.066
Metionina	0.029
Cisteína	0.022
Fenilalanina	0.08
Tirosina	0.034
Valina	0.086
Arginina	0.055
Histidina	0.031
Alanina	0.077
Ácido. Aspártico	0.382
Ácido. Glutámico	0.155
Glicina	0.063
Prolina	0.052

PRESENTACIÓN DE INFORME FINAL TRABAJOS DE GRADO

Serina	0.080
--------	-------

Fuente: Lim et al, 2016

En los últimos años la batata a nivel mundial ha tenido un aumento en su uso industrial, en China, se utiliza para obtener almidón, en Perú es usada ampliamente para la obtención de harina que es empleada para la elaboración de alimentos panificados, fideos y demás derivados (Grüneberg et al, 2015). En Japón tiene una variedad significativa de usos, además de la harina, se utiliza para la elaboración de salmueras y lacto-bebidas. En Filipinas se utilizan las antocianinas del tubérculo para agregarlas en la leche fermentada aprovechando así la bacteria *lactobacillus acidophilus* y obteniendo todos los beneficios de este probiótico (El sheika et al, 2017). En los estados unidos se utilizan algunas sustancias bioactivas contenidas en la pulpa (carotenoides, vitaminas, polifenoles y fibra) para mezclarlas con zumos de grosella negra, arándano y moscatel (Tang et al, 2015). Esto con el fin de que se ejerza un efecto protector ante enfermedades crónicas gracias a estas sustancias (Padilla et al, 2008).

Además de todos los usos mencionados anteriormente, por su valor nutritivo, la batata tiene un alto potencial para ser empleado en el desarrollo de recubrimientos y películas comestibles (Alotaibi & Tagergorabi,2018), debido a que es una fuente rica en fibra dietética, minerales, vitaminas y antioxidantes, como ácidos fenólicos, antocianinas, tocoferol, β -caroteno y ácido ascórbico (Issa, Salam & Ibrahin, 2017). Estos nutrientes podrían migrar a los alimentos y, por lo tanto, aumentar el valor nutricional del producto (Alotaibi & Tagergorabi,2018). Sin embargo, las películas obtenidas a partir del almidón de batata, así como de cualquier otra fuente, exhiben varias deficiencias tales como fragilidad, alta sensibilidad a la humedad y poca resistencia mecánica (Jiménez et al,2012). Por lo que al

igual que otros almidones debe ser modificado para mejorar sus propiedades y aumentar su funcionalidad.

Diferentes métodos de modificación de almidones han sido estudiados tanto físicos como químicos. Dentro de los físicos podemos encontrar la gelatinización (Guy,1994) y la hidrólisis por ácidos (Badui,2013) y dentro de los químicos la esterificación (Guy,1994; Badui, 2013), la oxidación (Badley et al,1975), la reticulación (Guy,1994) y la sustitución (Delgado, 2018).

Modificación química por Oxidación

La modificación química del almidón se usa para mejorar propiedades mecánicas y de barrera de las películas a base de almidón, alterando sus características micro y macroscópicas (Fonseca et al., 2018). Dentro de los métodos químicos se destaca el tratamiento por oxidación. La oxidación es el método químico más usado para obtener almidones modificados de baja viscosidad y alto contenido de sólidos (Shah & Singhal, 2018). El proceso de oxidación puede ocurrir por dos tipos de reacciones: oxidación específica, la cual presenta influencia de peryodatos y oxidación inespecífica, la cual ocurre como resultado del tratamiento de los almidones con agentes oxidantes tales como halógenos libres y sus compuestos oxidados, peróxidos, nitratos, persulfatos y permanganatos, entre otros.

La oxidación específica del almidón con la ayuda de peryodatos está condicionada por la producción de una combinación compleja temporal entre el peryodato y el sistema glicólico de los hidratos de carbono, que provoca la deformación (torsión) del enlace intercarbónico en el sistema de glicol y conduce a la ruptura del enlace formando dos grupos aldehídos con carbonos separados (Boruch,1985).

El proceso de oxidación nos permite la introducción de grupos carbonilo y carboxilo dentro de las cadenas de almidón (CUI,2005), este proceso se lleva a cabo mediante dos reacciones. La primera se observa cuando los grupos hidroxilo del almidón son oxidados a grupos carbonilo y después a carboxilo. La segunda reacción interviene la degradación de moléculas de almidón principalmente debido a la ruptura del enlace D-1,4 moléculas de amilosa y amilopectina. Es por ello que el contenido de los grupos carbonilos y carboxilos, y el grado de despolimerización nos sirven para indicar el grado de oxidación de un almidón (Kuakpetoon,2006).

Los agentes oxidantes que más se utilizan son: el permanganato de potasio, bromato de potasio, dicromato de potasio, hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio y algunas veces también ácido perclórico. (Anabel, V., 2010.). Dentro de estos, el hipoclorito de sodio (NaOCL) es el oxidante comercial más antiguo y popular; en la reacción de oxidación utilizando este compuesto los grupos hidroxilos (OH) de las moléculas del almidón, primero son oxidados a carbonilos (C=O) y luego a carboxilos (COOH); estos grupos funcionales indican que nivel de oxidación tiene lugar, principalmente en los OH y las posiciones de los carbonos C2, C3 y C6 de una unidad α -D-glupiranosil (Forssell et al, 1995; Kuakpetoon y Wang, 2001; Thomas y Atwell, 1999).

Según algunos autores, la oxidación en el almidón genera disminución en la temperatura de gelificación, en la viscosidad de las suspensiones de almidón, en la tendencia a la retrogradación y en la disminución de la estabilidad (Sandhu et al 2008;Sangseethon, Lertphanich & Sriroth,2009;Murillo, Wang & Perez, 2008;Sangseethon, Lertphanich & Sriroth,2005;Wang & Wang, 2003;Kuakpetoon & Wang, 2001), provocando así cambios en las propiedades mecánicas, térmicas y de barrera en materiales obtenidos a partir del almidón modificado (Zamudio et al 2006;Zavareze et al 2011;Zhang et al 2009;Hernández &

Escobar,2009). Según Shah y Singhal (2018) la modificación del almidón utilizando hipoclorito de sodio genera alteraciones en la estructura de este, generando así cambios en la morfología del granulo de almidón, la cristalinidad, características de gelatinización y la viscosidad de la pasta que se obtiene. Una de las formas de evidenciar el efecto del tratamiento de oxidación sobre las propiedades térmicas como la gelatinización, es mediante el análisis termogravimétrico (TGA) y la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC), aplicado a almidones oxidados comparados con el almidón nativo de la misma fuente.

Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas se pueden determinar empleando técnicas como la calorimetría diferencial de barrido (DSC) y el análisis termogravimétrico (TGA).

El análisis termogravimétrico es una técnica la cual consiste en que la masa de una sustancia se mide como función de la temperatura mientras que esa función se enfrenta a un programa de temperatura controlada (ASTM E473,1982), estos resultados normalmente son reportados en gráficas de porcentaje de peso perdido en función de la temperatura.

El TGA nos muestra los intervalos de temperatura en los cuales se están presentado pérdidas de masa, pero con estos resultados no hay forma de interpretar lo que sucede, por eso es importante realizar análisis con otras técnicas complementarias tales como el DSC o DTA y así poder relacionar las pérdidas de masa con fenómenos ya sean endotérmicos o exotérmicos y así lograr observar el origen de la pérdida de masa. (ASTM E473,1982)

La técnica del DSC se aplica principalmente para medir el calor de gelatinización de los almidones y sus componentes (amilosa, amilopectina). Su objetivo es detectar los cambios de flujo de calor asociados con transiciones de primer orden como lo es la fusión y de segundo orden como lo es la transición vítrea de materiales poliméricos (Astudillo & Botina, 2017).

2.METODOLOGÍA

2.1. Extracción del almidón

Muestras de batatas variedad aurora (pulpa naranja) fueron adquiridas en el mercado local de Montería - Córdoba. Antes de la extracción del almidón los tubérculos fueron lavados, pelados y cortados en pequeñas piezas para facilitar la trituration.

Para la obtención del almidón nativo se empleó el método descrito por (Daiuti et al,2005), la batata picada se sometió a trituration en agua por medio del licuado, con una licuadora de uso doméstico; empleando una relación tubérculo: agua de 1:2. Luego la suspensión triturada se filtró a través de un tamiz de 0,250 mm. La suspensión resultante de almidón se mantuvo a temperatura ambiente (27°C) durante 8 h para la decantación del almidón. El líquido sobrenadante fue descartado y el almidón precipitado se sometió a secado en una estufa (UN 55 plus, Memmert, Alemania) a 55 °C durante 14 horas. El almidón seco fue molido con ayuda de un molino manual (ver anexos)

2.2. Oxidación del almidón de batata

La oxidación del almidón de batata se realizó de acuerdo con lo propuesto por (Wang y Wang,2003), Inicialmente se preparó una papilla de almidón al 35% añadiendo agua destilada a 200 g de almidón (base seca) hasta un peso final de 571 g en un recipiente de reacción de 2 L. La lechada de almidón se mantuvo a 35 °C y el pH se ajustó a 9,5 con NaOH 2N. Se utilizó hipoclorito de sodio, 10 g (0,5 g de cloro activo/ 200 g de almidón, 0,25% de cloro activo p/p), se añadió lentamente en la mezcla de almidón en 30 minutos, manteniendo el pH en 9,5 con Na_2SO_4 a 1N. Después de la adición de NaOCl, el pH de la pasta se mantuvo en 9,5 con NaOH 1N durante 50 minutos más. A continuación, la suspensión se ajustó a un

pH de 7,0 con H₂SO₄ 1N, se filtró por succión con un embudo de filtro Buchner (filtro Whatman n° 4), se lavó con agua destilada a doble volumen y se secó en un horno de convección a 40 °C durante 48 h.

Caracterización del almidón Nativo y Oxidado

2.3. Contenido de humedad

Se utilizó el método 925.10 de la AOAC. Se colocaron 3 g de muestra en crisoles previamente puestos a peso constante, se dejaron en una estufa con recirculación de aire de marca UN55PLUS (MEMMERT, Alemania) a temperatura de 130 +/- 1 °C por 1 hora. Por diferencia de pesos se calculó el porcentaje de humedad.

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}}$$

2.4. Determinación del color

El color de los almidones se determinó utilizando un colorímetro CR-10 PLUS Color Reader (Konica Minolta, Japón), calibrado con una placa blanca estándar (L₀=94,4, a*₀=-1,7, b*₀=5,1). Se utilizó la escala CIELab para determinar los parámetros L*, a*, y b*, donde L* indica el grado de luminosidad (0 para negro y 100 para el blanco) y los parámetros a* (rojo - verde) y b* (amarillo - azul) que describen las coordenadas de cromaticidad. Los análisis se realizó por triplicado, registrando 8 mediciones para cada película. El color de la película fue expresado como la diferencia de color (ΔE*) de acuerdo con la ecuación (1).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Ecuación (1).}$$

Donde ΔL^* , Δa^* y Δb^* son las diferencias entre los parámetros de color de las muestras de películas y el estándar del equipo, que se utilizó para el calibrado del mismo.

2.5. Determinación de los grupos carboxilos

El contenido de carboxilo del almidón oxidado se determinó según el procedimiento modificado de Chattopadhyay Singhal y Kulkarni (1997). 2 g de muestra de almidón se mezclaron con 25 ml de HCl 0,1N, y la suspensión se agitada ocasionalmente durante 30 minutos con un agitador magnético. La lechada se filtró al vacío a través de un embudo de vidrio de porosidad media de 150 ml. y se lavó con 400 ml de agua destilada. La torta de almidón se transfirió cuidadosamente a un vaso de precipitados de 500 ml, y el volumen se ajustó a 300 ml con agua destilada. La pasta de almidón se calentó en un baño de agua hirviendo con agitación continua durante 15 minutos para asegurar la gelatinización completa. La dispersión de almidón caliente se ajustó a 450 ml con agua destilada y se tituló a pH 8,3 con NaOH 0,01N estandarizado. La prueba en blanco se realizó con almidón no modificado. El contenido de carboxilo se determinó de la siguiente manera:

$$\frac{\text{miliequivalentes de ácido}}{100\text{gr de almidon}} = \frac{(\text{muestra-blanco})\text{ml} \times \text{normalidad de NaOH}}{\text{gr de la muestra en base seca}} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$\% \text{del contenido de carboxilo} = \left(\frac{\text{miliequivalentes de ácido}}{100\text{gr de almidon}} \right) \times 0.045$$

2.6. Poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones

Se determino el poder de hinchamiento y la solubilidad de los almidones según lo descrito por Leach et al (1959). 1,0 g de almidón se mezcló con 50 ml de agua destilada en

tubos de centrifuga. Las suspensiones se calentaron a 90 °C durante 30 min. Las muestras gelatinizadas se enfriaron luego a temperatura ambiente (27°C) y fueron centrifugadas a 1000 G durante 20 min. Los sobrenadantes se secaron a 110 °C hasta peso constante. La solubilidad se expresó como el porcentaje del peso de sólido seco basado en el peso seco de la muestra inicial.

Para el poder de hinchamiento se representó como la relación del peso húmedo del sedimento con el peso inicial de la muestra seca (deduciendo la cantidad de almidón soluble).

2.7. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Esta técnica se utilizó para estudiar los cambios generados en la estructura química del almidón después de la reacción de oxidación. Para esto se usó un equipo Thermo Scientific, modelo Nicolet iS50 y se realizó un barrido entre 4000 – 600 cm⁻¹ por reflectancia total atenuada (ATR), poniendo especial cuidado a las vibraciones características de los grupos carbonilo y carboxilo, entre 1900 -1600 cm⁻¹.

2.8. Morfología de los gránulos de almidón

La morfología de los gránulos de almidón nativo y oxidado se determinó por microscopia electrónica de barrido (SEM) y microscopía óptica. Para el SEM, se utilizó un microscopio SEM JEOL JCM-6000PLUS con un voltaje de 15 kV en alto vacío. Las muestras de almidón fueron colocadas en una cinta adhesiva de carbono y recubrirán con carbono una capa de oro usando un equipo de sputtering Denton Vacuum Desk V (Oscar et al, 2012). Finalmente, la microscopía óptica fue realizada en modo campo claro utilizando un microscopio óptico Nikon Ci-L equipado con un software de análisis de imagen.

Propiedades térmicas de los almidones

2.9. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

se utilizó se un calorímetro DSC Q100 de TA Instrumentos previamente calibrado con indio de 99.99 % de pureza, se usó la metodología de Pineda et al (2011) la cual consistió en primero calibrar el calorímetro para el análisis de modulado (MDSC) con un periodo de 60s, una amplitud de modulación de 0.796 °C y una velocidad de calentamiento promedio de 5 °C/min. Luego las muestras fueron analizadas en cápsulas de aluminio herméticas y la medida se realizó comparando con el flujo de calor de una cápsula similar y vacía. La masa de la muestra fue de 10.0±0.1mg, de los cuales el 80 % corresponde a agua y el restante 20 % corresponde a la harina. Después de sellar la cápsula la muestra se dejó reposar por 30 minutos para homogeneizar la mezcla. El calentamiento se realizó controladamente desde 25°C hasta 100°C. Los termogramas fueron analizados mediante el software Universal Analysis 2000 de TA Instruments.

2.10. Análisis termogravimétrico (TGA)

La degradación térmica de las muestras se evaluó en un analizador termogravimétrico (Mettler Toledo TGA/SDTA 851E). La muestra Se pesaron discos de 10 mg (diámetro de 1,6 mm) y se calentaron en atmósfera de nitrógeno, desde la temperatura ambiente hasta 800 °C, a una velocidad de calentamiento de 10 °C min⁻¹.

2.11. Análisis Estadístico

Todas las mediciones se realizaron por duplicado, los resultados es el promedio de las medias, comparadas mediante el test de mínima diferencia significativa (LSD) de Fisher con

un nivel de significancia de $P < 0,05$, haciendo uso del software Statgraphics Centurión XVII Versión 16.1.15.

3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Rendimiento del almidón

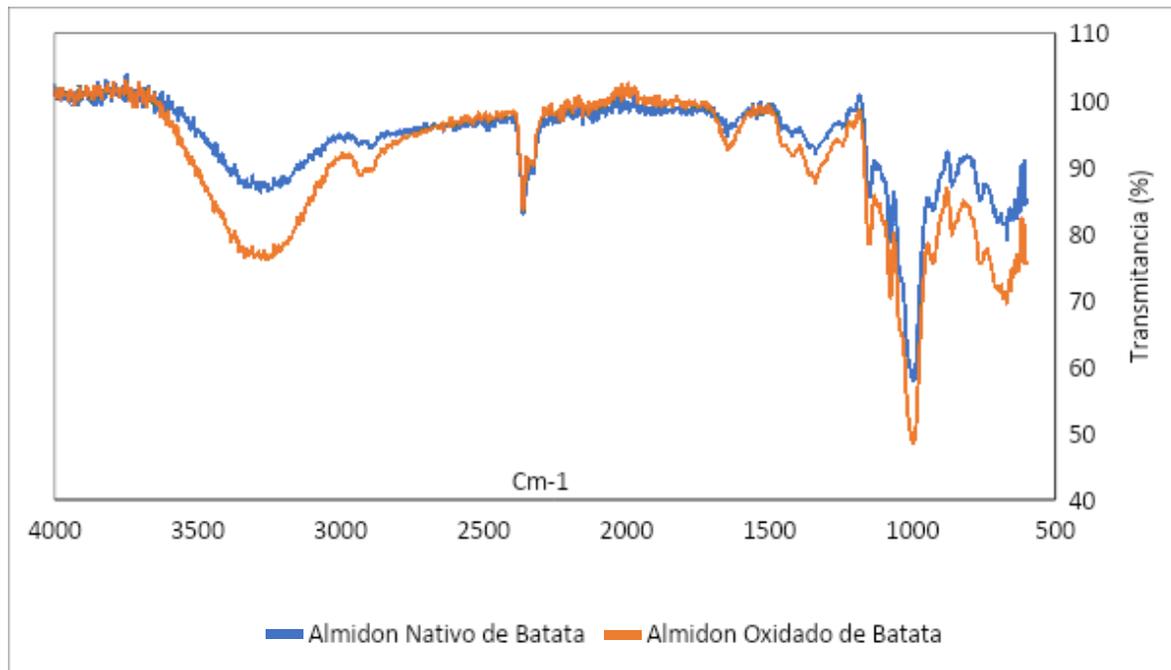
La extracción de almidón de batata para la variedad Aurora alcanzó un 7.85 %, este valor está por encima del valor reportado por Manzanilla (2018), quien informó un porcentaje de extracción de tan sólo 3.28 % para batata pulpa naranja. Mientras que para batata pulpa blanca y pulpa morada los porcentajes reportados por este investigador alcanzaron valores superiores, estando en el orden de 9.66% y 10,68%, respectivamente. Otras investigaciones también han informado porcentajes de extracción de almidón de batata superior al del estudio actual, con variaciones entre 10% y 16% (Wheatley, Scott, Best y Wiersema, 1995; Pérez y Pachecho, 2005; Díaz y García, 2016; Otero y Fuentes, 2018). Es importante resaltar, que el porcentaje de rendimiento de almidón está relacionado con la eficiencia de los equipos utilizados, el proceso de obtención del mismo (Aristizábal, Sánchez y Mejía, 2007) y las variedades empleadas (Manzanilla 2018)

3.2. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La gráfica 1 muestra los espectros de infrarrojo para las muestras de almidón, nativo y almidón oxidado.

Gráfica 1.

Espectros de infrarrojos Almidón nativo y oxidado de batata



Se encontró que los espectros FTIR del almidón nativo y el almidón oxidado presentaron tramos generales similares, pero con diferencia en las intensidades de los picos y las bandas. La banda amplia desde 3000 a 3900 cm^{-1} se debe al enlace de hidrógeno de los grupos hidroxilo que contribuyen a las vibraciones de los estiramientos asociados con el enlace libre inter e intramolecular del grupo hidroxilo, siendo una característica muy particular de la estructura del almidón (Fang et al., 2002). Para el almidón oxidado se observó un incremento en el ancho de esta banda, indicando un aumento en la presencia de los grupos carboxilo, un comportamiento similar ha sido reportado por Zamudio et al (2009), quienes, al

evaluar el comportamiento de los grupos funcionales de muestras de almidón tratadas a diferentes niveles de oxidación, encontraron que a medida que se incrementa el nivel de oxidación, el ancho de banda también aumenta.

En este estudio el almidón oxidado alcanzó un porcentaje de grupos carboxilo de $0,066 \pm 0,019$, por lo que la presencia de estos grupos es la responsable del cambio observado.

Para las regiones comprendidas en el rango de $3000-2850\text{ cm}^{-1}$, se observa un pico característico del almidón, correspondiente al estiramiento C – H por la presencia de compuestos alifáticos (Sacithraa et al. 2013). Así mismo, en la región conocida como huella dactilar que según Sacithraa et al. (2013) abarca los $1500 - 600\text{ cm}^{-1}$, se observan tres picos característicos entre 923 y 1162 cm^{-1} , que son atribuidos al estiramiento del enlace C-O (Goheen y Wool, 1991). Para esta última región, el pico más pronunciado a 995 cm^{-1} está relacionado con proporción de estructura amorfa de los carbohidratos en el almidón, debido al agua que interactúa con los enlaces de hidrógeno intramoleculares (Pelissari et al,2013)(Fonseca et al, 2015)(Fonseca et al 2018) esta interacción ocurre de manera diferente entre cada tipo de almidón, la intensidad de la banda cambia y puede variar según el contenido de amilosa y amilopectina en cada tipo de almidón(Fonseca et al, 2015)(Fonseca et al 2018).

En la región entre los 2000 y 1500 de acuerdo con Sacithraa et al. (2013) las principales bandas se deben a estiramientos de C = C y C = O. En la muestra de almidón oxidado, se observa en esa zona, una banda de mayor intensidad que en el almidón nativo (1500 A 1700), lo que puede atribuirse al estiramiento de los grupos carbonilos. La incorporación de grupos carbonilos en almidones oxidados ha sido reportada por diferentes investigadores, manifestando un mayor contenido de éstos, con el incremento del cloro activo empleado para la oxidación del almidón (Sánchez et alt, 2005) (Sacithraa et al, 2013) (Wang & Wang,2003) . En la investigación actual, se empleó una concentración de cloro activo de

0.25 % p/p, encontrándose un porcentaje de grupos carbonilo de $0,199 \pm 0,001$. Si bien en este estudio sólo se empleó una concentración de cloro activo para el proceso de oxidación, se sabe que concentraciones un tanto inferiores o superiores a esta, provocan aumento en el % de grupos carbonilos, así como los grupos carboxilos (Zhou et al, 2015)

3.3. Parámetros de color

Los valores de parámetros de color L, a (+ rojo / -verde) y b (+ amarillo / -azul), del almidón nativo y el almidón oxidado, se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de color del almidón nativo y oxidado de batata

Parámetros	Almidón nativo	Almidón oxidado
L	$90,625 \pm 0,122^a$	$93,425 \pm 0,148^b$
a	$-1,85 \pm 0,05^a$	$-3,325 \pm 0,043^b$
b	$4,825 \pm 0,043^a$	$3,325 \pm 0,083^b$

Los valores dentro de la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

El parámetro de color L representa la medida de blancura de las muestras de almidón, el cual fue superior a 90, lo que puede considerarse como un índice satisfactorio para pureza del almidón.

El almidón nativo presentó un valor L de 90.63 ± 0.148 , valor inferior al reportado por Wang et al. (2020) para las variedades de batata pulpa naranja; Su 16 y Quin 8, con resultados de 94.76 ± 0.08 y 95.45 ± 0.08 , respectivamente. Otros investigadores también informaron un valor de L superior para batata pulpa naranja (Lee, 2016). Lo que indica que, estos almidones a pesar de provenir de variedades de batata pulpa naranja, son mucho más blanco que el

almidón derivado de la batata pulpa naranja variedad Aurora, empleada en la actual investigación.

Para el almidón oxidado el valor del parámetro L fue de 93.43 ± 0.122 , siendo superior al del almidón nativo. Esta diferencia, se presenta debido al efecto blanqueador que tiene el cloro activo sobre el almidón durante el proceso de oxidación.

La blancura del almidón incide en la aceptabilidad de los productos terminados donde se refleja el pigmento (Sindhu, Devi & Khatkat, 2021). De aquí la importancia que tiene por su blancura el almidón oxidado en la industria de alimentos, especialmente, en la elaboración de productos tales como, relleno de pasteles, crema de pudines, nata montada y mezclas de masa en polvo (Pietrzak et al., 2012), satisfaciendo la predilección de los consumidores.

Para el parámetro de color a^* se obtuvieron unos resultados de -1.85 y -3.325 para el almidón nativo y oxidado, respectivamente. Los valores negativos de a^* , los ubica en la fracción verde y por estar cercano al valor de cero tienen más tendencia a un color neutro (Joaqui 2013). Valores negativos para estos parámetros en almidones nativos de variedades pulpa naranja han sido informados por LEE (2016) y Kim (2013). Mientras que Wang et al., (2020), informaron un valor positivo.

Los valores de b^* fueron de $4.83 \pm 0,083$ y $3.33 \pm 0,043$ para el almidón nativo y oxidado, respectivamente. Los valores positivos de b^* indican una ligera tendencia al color amarillo (Sánchez, 2004), tendencia observada en la muestra de almidón nativo. Wang et al., (2020), encontraron valores de hasta 17.58 ± 0.16 , para este parámetro en almidón de batatas pulpa naranja. Por su parte, LEE 2016, informaron un valor de $1,37 \pm 0,02$, para batatas con igual color de pulpa. La diferencia observada para los parámetros de color se puede atribuir a

la concentración en que se encuentran los betacarotenos, sustancias pigmentadas responsables del color naranja de la pulpa.

3.4. PODER DE HINCHAMIENTO Y SOLUBILIDAD EN AGUA

El poder de hinchamiento del almidón representa la capacidad de los gránulos para hidratarse bajo condiciones particulares, y la solubilidad indica el número de moléculas lixiviado de los gránulos hinchados. Los valores de estos parámetros registrados para los almidones de batata nativos y oxidados tratados a 90 °C por 30 min, se presentan en la tabla 7.

Tabla 7.

Resultados de la solubilidad e hinchamiento del almidón nativo y oxidado de batata

Parámetro	Almidón	
	Nativo	Oxidado
Solubilidad (%)	13,76 ±0,41 ^a	12,21 ±0.096 ^b
Hinchamiento (g/g)	21,5 ±0,7 ^a	15,47 ±1.17 ^b

Los valores dentro de la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes

($p \leq 0.05$).

El almidón nativo presentó un porcentaje de solubilidad de 13,76 ± 0,41 %, estando por encima de los valores reportados por Wang et al., (2020), quienes encontraron que el porcentaje de solubilidad en agua para el almidón extraído a partir de ocho variedades de batata, alcanzó un rango de 5,28 % a 11,71 %, cuando las muestras fueron calentadas a 95 °C por 30 min. Para las variedades de color pulpa naranja, los investigadores informaron que el valor estuvo alrededor de 7 % y 9 %, estando por debajo del valor de la actual investigación.

Por su parte, Guo et al., (2019) informaron que la solubilidad en agua del almidón obtenido de nueve variedades de batata se encontró entre 11.7 % y 16.6 %, tratado a 95 °C por 30 min. Registrando valores por encima del estudio de Wang et al., (2020), pero acorde con nuestros resultados. La diferencia de resultados está influenciada por el entorno de crecimiento de las batatas, el genotipo, la variedad, así como el método de ensayo empleado por Wang et al. (2020).

Por otra parte, el poder de hinchamiento alcanzado por el almidón nativo fue de 21,5 \pm 0,7 g / g, estando por debajo de valores reportados por algunos investigadores. Guo et al., (2019) informaron que a 95 °C el poder de hinchamiento varió de 25,2 a 31,1 g / g en el almidón de 9 variedades de batata. Otros investigadores también han encontrado valores superiores en la capacidad de hinchamiento del almidón de batata para diferentes variedades a temperaturas cercanas a 95°C (Collado, Mabesa y Corke, 1999). Investigadores han demostrado que el poder de hinchamiento, así como la solubilidad en agua de los gránulos de almidón, se incrementa cuando más cerca se expone el almidón a su temperatura de gelatinización, lo cual implica un menor grado de fuerzas asociativas intermoleculares en los gránulos (Lee,2016).

Algunas investigaciones han postulado que la capacidad de hinchamiento y la solubilidad en agua de los almidones nativos se ven afectados por el tamaño de los gránulos, el contenido de amilosa, la estructura fina de amilopectina, la estructura cristalina y el contenido de proteínas y lípidos (Singh et al 2007), (Qi et al, 2003) ,(Srichuwong et al, 2005), por lo que los resultados serán diferentes entre variedades de la misma especie.

Para la solubilidad en agua y la capacidad de hinchamiento del almidón oxidado se alcanzaron valores de 12.21 \pm 0.096 g / g y 15.47 \pm 1.17 g / g, respectivamente. Al comparar

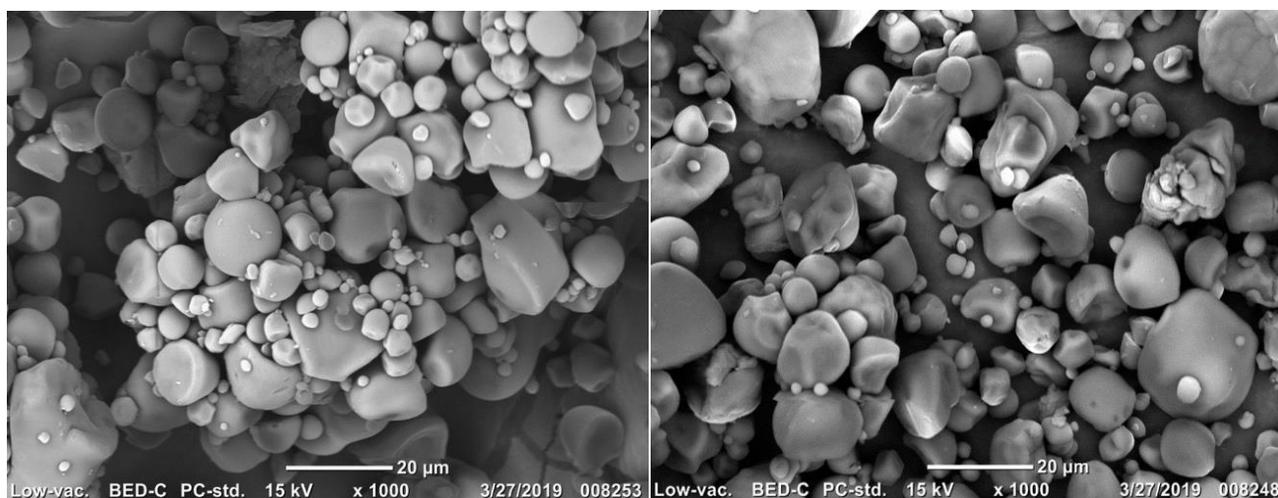
estos resultados con los obtenidos para el almidón nativo, se evidencia que el almidón nativo presentó mayor valor de poder de hinchamiento y solubilidad que el almidón oxidado. Comportamiento similar lo han reportado algunos investigadores para almidones oxidados de diferentes fuentes (Wang y Wang, 2003; Sindhu, Devi y Khatkat, 2021; Zavaereze et al, 2012). Este comportamiento se puede atribuir a la despolimerización de gránulos de almidón durante el proceso de oxidación, debido a la estructura lineal y ampliamente accesible de la amilosa (Wang y Wang., 2003; Sindhu, Devi, Khatkat, 2021).

Para el almidón de papa Zavaereze et al (2012) informaron menor poder de hinchazón del almidón oxidado frente al almidón nativo, debido a que los gránulos de almidón oxidado altamente asociados tienen una estructura micelar extensa y fuertemente unida, mostrando así una resistencia relativamente grande al hinchamiento.

3.5. MORFOLOGÍA DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN

Figura 2.

Forma y tamaño de los almidones nativos y oxidados de batata



La forma y el tamaño de los gránulos de almidón nativo y almidón oxidado se observaron mediante SEM (Fig. 2). Los gránulos de almidón exhibieron formas redondas, poligonales, formas ovaladas y semiovaladas que presentan gránulos grandes y pequeños, lo que es característico del almidón nativo de batata. Los diámetros variaron entre 3 μm y 11 μm . Tamaños encontrados dentro de los rangos de tamaños que han sido informados para gránulos de almidón nativo de diferentes variedades de batata (Guo et al.2019 ; Walter et al. 2000).

La oxidación no influyó en los caracteres morfológicos de los gránulos de almidón. No obstante, algunos gránulos de almidón oxidado mostraron en la estructura externa pequeñas abolladuras en la superficie. Comportamientos similares han sido reportados para diferentes tipos de almidones oxidados como cebada (Halal et al., 2015) y papa (Fonseca et al., 2015). De igual forma, Wojeicchowski et al. (2018) informaron que la modificación de almidón de frijol con un bajo grado de sustitución durante la acetilación y tratamiento leve de oxidación no provocó ningún cambio en las características morfológicas. Contrario a estos resultados, algunos investigadores han reportado afectación significativa en los gránulos de almidón oxidado con la presencia de agujeros en la superficie de los gránulos (Kuakpetoon & Wang., 2008).

PROPIEDADES TÉRMICAS

3.6. Análisis termogravimétricos (TGA)

La grafica 2 presenta los termogramas de descomposición térmica para el almidón nativo (a) y para el almidón oxidado (b) obtenidos por TGA. Se puede observar que los almidones presentan patrones de pérdida de peso semejantes. Ambos almidones presentaron una primera pérdida de peso a temperaturas inferiores a 100 °C de 7,86% para el almidón nativo de batata y del 10,2% para el almidón oxidado. Esta pérdida de peso se debe a elementos volátiles tales como la humedad, algunos monómeros, solventes (Corella, 2019), residuos de

glucosa, fragmentos del mismo almidón que se han hidrolizado en algún momento al ser susceptibles a quemarse a baja temperatura, así como algunos aditivos y otras impurezas del material (Gugliotta, s.f.).

En el pico B ocurre una pérdida de masa mayor, 87,81% para el almidón nativo y 87,1% para el almidón oxidado obteniendo una diferencia del 0,71% de pérdida de peso, resultados parecidos a los obtenidos por Enríquez, Velasco y Fernández (s.f) en su investigación donde caracterizaron almidones de yuca nativos y modificaciones en la cual obtuvieron una diferencia de porcentaje de pérdida de masa del 1,24% para una variedad de yuca y del 7,06% en otra variedad en este pico, este pico del TGA es conocido como la degradación de los almidones que es donde ocurre la descomposición de los grupos hidroxilos y gran parte de la materia orgánica (amilosa, amilopectina, proteína y lípidos restantes) (Corella, 2019). Para darle una delimitación a esta etapa se realizó la curva de derivada DTG que muestra un pico definido y ayudará a señalar con más exactitud las temperaturas donde empieza el pico de pérdida de peso. De acuerdo con la DTG la mayor pérdida de peso para el almidón oxidado se presenta a una temperatura inferior que para el almidón nativo, este comportamiento puede ser atribuido al efecto del hipoclorito sobre la estructura de la cadena y al efecto mecánico de dicho tratamiento.

Gráfica 2.

Análisis termogravimétrico de los almidones de batata. a) Almidón nativo y b) Almidón oxidado

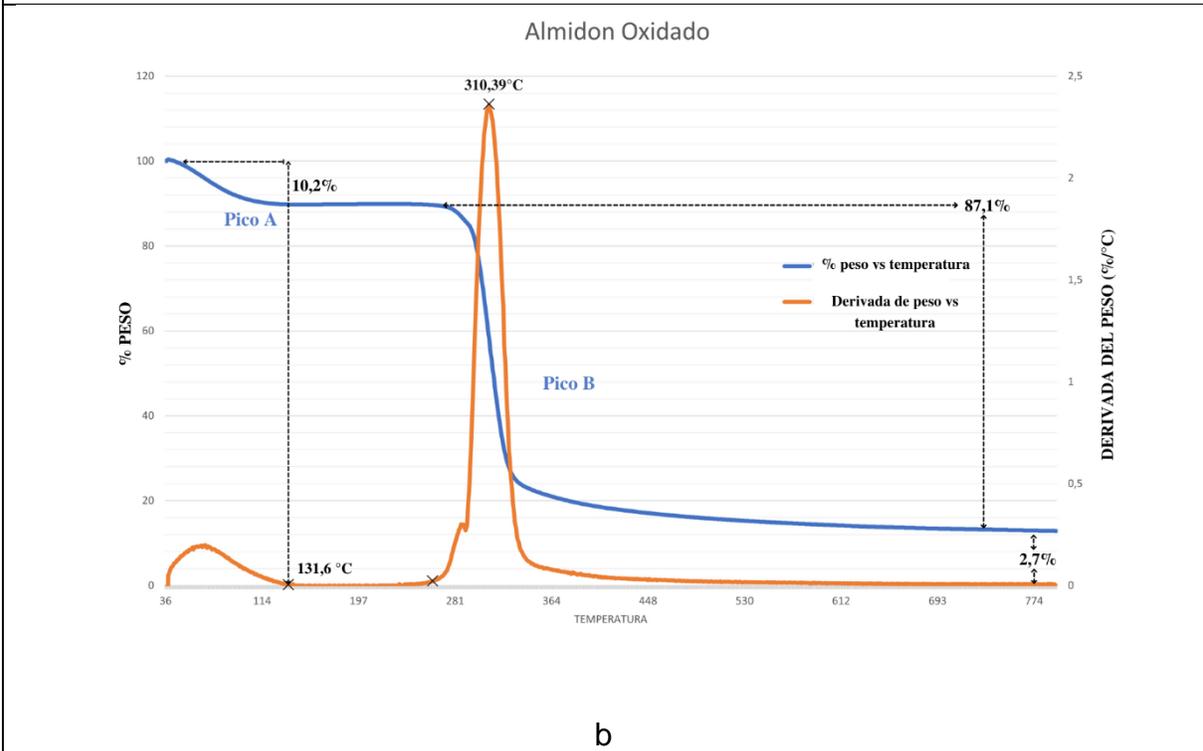
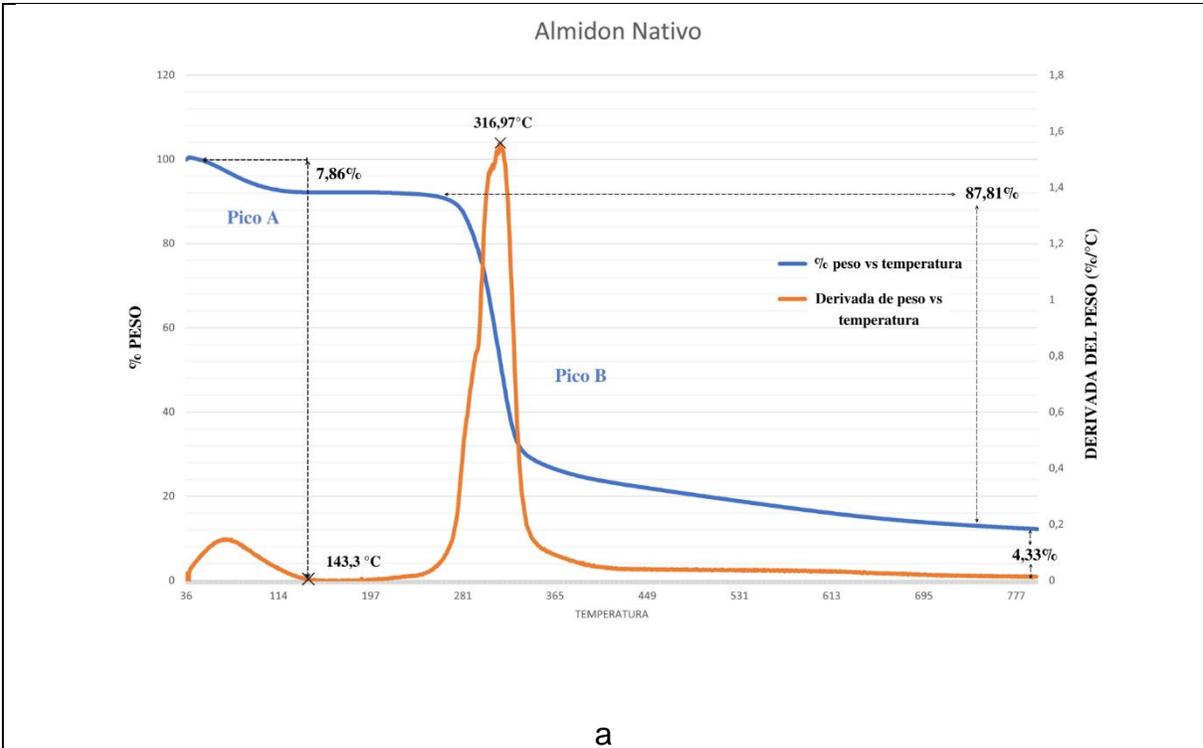


Tabla 8.

Resultados termogravimétricos del almidón nativo y oxidado de la batata

Tipo de Almidón	Inicio de Degradación		Degradación máxima	
	% de pérdida de peso inicial	Temperatura (°C)	% de pérdida de peso final	Temperatura (°C)
Nativo	7,86	143,3	87,81	316,97
Oxidado	10,2	131,6	87,1	310,39

3.7. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Tabla 9.

Resultados del DSC para almidón nativo y oxidado

Propiedades	Almidón Nativo	Almidón Oxidado
To	72,44 ±0,57 ^a	71,45 ±0,02 ^b
Tp	79,05 ±0,49 ^a	78,02 ±0 ^b
Tc	84,45 ±0,33 ^a	84,09 ±0 ^b
Entalpia ΔH	2,92 ±0,79 ^a	2,57 ±0 ^b

Los valores dentro de la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes

$$(p \leq 0.05).$$

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la temperatura inicial de gelatinización (To), pico (Tp) y finalización (Tc) y la entalpía de gelatinización (ΔH) del almidón nativo y el almidón oxidado. Como es sabido, durante la gelatinización, la estructura cristalina del almidón se interrumpe, lo cual es

producido por la relajación de los enlaces de hidrógeno y a las interacciones entre las moléculas del agua y los grupos hidroxilo de amilosa y amilopectina. Dichas interacciones, antes de la gelatinización, aumentan el tamaño de los gránulos, provocando la ruptura de los mismos y la posterior solubilización parcial del almidón (Hoover, 2001).

Como puede observarse en la tabla 9 los parámetros de temperatura y entalpía de gelatinización mostraron una reducción para el almidón oxidado con relación al almidón nativo. La disminución en estos parámetros de gelatinización en almidones oxidados ha sido informada para almidón de maíz (Sandhu et al., 2008), frijol (Adebowale et al., 2006; Vanier et al., 2012) y yuca (Sangseethong, Termvejsayanon, & Sriroth, 2010). Estas disminuciones se pueden atribuir al debilitamiento de la estructura de los gránulos de almidón, que conduce a la ruptura prematura de las hélices dobles de amilopectina (Adebowale & Lawal, 2003) y al daño mecánico de gránulos de almidón, que pueden producirse en condiciones de oxidación severas (Adebowale et al., 2006; Chavan, Shahidi, Hoover y Perera, 1999). En esta investigación los gránulos de almidón presentaron algunas abolladuras en la superficie de los gránulos lo cual pudo haber influido en el comportamiento observado.

Por otro lado, Sangseethong y col. (2010), postularon que la incorporación de grupos carboxilos por la oxidación con hipoclorito de sodio hace que el almidón oxidado se cargue negativamente, ayudando al proceso de absorción de agua, por ende debilitando los gránulos y facilitando de esta forma la gelatinización del almidón a temperaturas más bajas.

A nuestro entender este es el primer trabajo de almidón oxidado de batata, debido a que al revisar diferentes bases de datos no se encontró reporte sobre el tema (Sciencedirect; Taylor & Francis; Scopus), es por esto, que el comportamiento de las variables determinadas para el almidón oxidado se analizaron tomando como referencia estudios de almidones oxidado de otras fuentes.

4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al emplear una concentración de cloro activo de 0,25 % p/p de almidón en base seca como tratamiento de oxidación para el almidón de batata variedad Aurora, es posible modificar sus propiedades fisicoquímicas, logrando la incorporación de grupos carboxilos tal como lo evidenció el análisis por FTIR. La modificación estructural de este almidón condujo a la disminución en la temperatura y entalpía de gelatinización, tono más blanco del almidón, modificaciones menores en la morfología y disminución en la solubilidad y poder de hinchamiento. Estos cambios ponen en manifiesto mejoras en las propiedades del almidón de batata variedad Aurora mediante la oxidación, por lo que podría ser aplicado en la industria alimentaria y no alimentaria. No obstante, se requieren más estudios para lograr la optimización de la concentración de cloro activo que proporcione las mejores propiedades funcionales del almidón de batata variedad Aurora, de acuerdo con el uso pretendido.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A; Blanco, C. (2013) Obtención y caracterización de almidones nativos colombianos para su evaluación como posibles alternativas en la industria alimentaria.
- Agronet (2017) estadísticas cultivo de batata recuperado de:
<https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx>
- Agronet (2020) estadísticas cultivo de batata recuperado de:
<https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx>
- Aristizábal, J., Sánchez, T y Mejía, D. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Recuperado del sitio de internet de Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO): <http://www.fao.org/3/a-a1028s>
- Anabel, V., 2010. "Almidón retrogradado en el tratamiento dietoterápico de la Diabetes Mellitus tipo 2".
- Alcazar, A., Sylvia, C, y Meireles, M. (2015) Propiedades fisicoquímicas, modificaciones y aplicaciones de almidones de diferentes fuentes botánicas. *Food Sci. Technol (Campinas)* [en línea]. vol.35, n.2 [citado 2020-05-25], pp.215-236.
- Alotaibi, S., Tahergorabi, R. (2018) Development of a sweet potato starch-based coating and its effect on quality attributes of shrimp during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology* 88 203–209.
- Alves, Vanessa & Mali, Suzana & Beleia, A. & Grossmann, Maria. (2007). Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. *Journal of Food Engineering*.
- Arvanitoyannis, I. S., & Kassaveti, A. (2009). Starch–cellulose blends. In L. Yu (Ed.), *Biodegradable polymer blends and composites from renewable resources* (pp. 19–53). New York: Wiley.
- Arzapalo Q., & Huamán C. (2014). Extracción y caracterización de almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) negra collana, pasankalla roja y blanca Junín. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial.
- ASTM (1982) E473 Standard terminology related to thermal analysis. Annual book of ASTM standards.
- Astudillo, J., Botina, K., (2017). Elaboración de un recubrimiento comestible a base de almidón de maíz y de yuca para tomate chonto (*Lycopersicon esculentum Mill*).
- Austin, D. (1988). Taxonomy, evolution and genetic diversity of sweet potatoes and related wild species. pp. 27-60. En: *Exploration, maintenance and utilization of sweet potato genetic*

resources. Proc. Planning Conf. 1987. Centro Internacional de la Papa, Lima. Recuperado de:

- Badley, R. A., Atkinson, D., Hauser, H., Oldani, D., Green, J. P., and Stubbs, J. M. (1975). The structure, physical and chemical properties of the soybean protein glycinin. *Biochimica Biophysica Acta* 412, 214-228.
- Badui, S. 2013. *Química de los alimentos*. 5 Ed. México, Pearson. p 68,70,74,76
- Boruch, M. (1985). Transformations of potato starch during oxidation with hypochlorite. *Starch/Starke* 37(3), 91-98.
- Boudries, N; Belhaneche, N; Nadjemi, B; Deroanne, C; Mathlouthi, M; Roger, B; Sindic, M. (2009). Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. *Carbohydrate Polymers* 78(3):475-480.
- Chang, F. D., He, X. W., & Huang, Q. (2013). Effect of lauric acid on the V-amylose complex distribution and properties of swelled normal cornstarch granules. *Journal of Cereal Science*, 58, 89-95.
- Chattopadhyay, S., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (1997). Optimization of conditions of synthesis of oxidized starch from corn and amaranth for use in film-forming applications. *Carbohydrate Polymers*, 34, 203–212.
- Charley, H. (2008) *Tecnología de Alimentos*. Editorial Limusa: México, pp 163-164.
- Chávez, C., Wang, Y. and Bellopérez, L. Morphological, Physicochemical and Structural Characteristics of Oxidized Barley and Corn Starches. *Starch/Stärke*, 60, 2008, p. 634–645.
- Cheftel, J; Cheftel, H. 1979. *Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos*. Tomo I. Zaragoza, España, Acribia. p.151.
- Cheng, Y.; Tsai, M.; Tseng, K. (1996) Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. *Cereal Chemistry*, v. 73, n. 4, p. 415-420.
- CIAT (1997) Centro Internacional de Agricultura Tropical. *Métodos para Agregar Valor a Raíces y Tubérculos Alimenticios*. Manual para el desarrollo de Productos, v. 3, p. 7-12. Colombia,.
- Clasen, S.H., Müller, C., Parize, A. & Pires, A. (2018). Synthesis and characterization of cassava starch with maleic acid derivatives by etherification reaction. *Carbohydrate Polymers*, 180, 348–353.
- Collado, L., Mabesa, R., Corke, H., (1999). Genetic Variation in the Physical Properties of Sweet Potato Starch, *Food Chem.* 47, 4195–4201.

- Corella, A. (2019). Desarrollo y caracterización de un nuevo termoplástico a base de almidón de yuca oxidado y alcohol de polivinilo para su potencial uso en extrusión de plástico. Universidad San Francisco de Quito.
- CUI, S. (2005) Food Carbohydrates: Chemistry, physical properties and applications. Agriculture & Agri-Food. Ontario (Canada): Guelph, CRC Press, 432 p.
- Cusumano, C., y N. Zamudio. 2013. Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina). INTA, Argentina. pp. 1-43.
- Daiuto, Érica & Cereda, Marney & Sarmiento, Silene & Vilpoux, Olivier. (2005). Effects of Extraction Methods on Yam (*Dioscorea alata*) Starch Characteristics. *Starch - Stärke*. 57. 153 - 160. 10.1002/star.200400324.
- Delgado Y. (2018) Aplicaciones de almidones nativos y modificados en la industria láctea y cárnica. Universidad nacional agraria la molina
- Díaz, E., y García, P. (2016). Caracterización de dos clones de batata (*Ipomea Batata*) y evaluación de las propiedades funcionales de los almidones obtenidos para su aprovechamiento industrial (tesis de pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, Colombia.
- Espitia, A., Regino, S., Martinez, A., García, J., Tamara, R., Pérez, S., (2021). Reproducción de semilla de batata (*ipomoea batatas*) var. Agrosavia aurora en Colombia. *Agronomía Costarricense* 45(1): 165-175.
- El Sheikha, A. F., y R. C. Ray. (2017). Potential impacts of bioprocessing of sweet potato: Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 57(3): 455–471
- Enriquez, M.(s.f) Obtención y caracterización de películas activas obtenidas por extrusión de almidón modificado de yuca (*Manihot sculenta* Crantz). Universidad del Valle.Tesis Maestría en Ingeniería de Alimentos. Cali, Colombia: 2015.
- Enriquez, M., Velasco. R., Fernandez, Q., (s.f). caracterización de almidones de yuca nativos y modificados para la elaboración de empaques biodegradables. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*.Edición Especial No. 2 (21- 30)
- Espinoza, V. (2008). Estudios Estructurales de almidón de fuentes no convencionales: Mango (*Mangifera indica* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L.). Instituto politécnico nacional
- Fang, J. M., P. A. Fowler, J. Tomkinson, and C. A. S. Hill. 2002. The preparation and characterization of a series of chemically modified potato starches. *Carbohydr. Polym.* 47: 245-252.

- FAOSTAT (Organización para las naciones unidas para alimentación y agricultura, Italia). 2018. Base de datos (en línea). Consultado 10 oct. 2018. Disponible en http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC
- Flores, S., Fama, L., Rojas, A. M., Goyanes, S., & Gerschenson, L. (2007). Physical properties of tapioca-starch edible films: influence of filmmaking and potassium sorbate. *Food Research International*, 40(2), 257–265.
- Flórez, D. H., Contreras, C. A., Uribe C.P. (2016) Perspectivas tecnológicas y comerciales para el cultivo de la batata en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Fonseca, L., Goncalves, J., Mello, S., Zanella, V., Guerra, A., Jacqyes, A., Zavareze, E., (2015). Oxidation of potato starch with different sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films, *Food Science and Technology* 60, 714e720.
- Fonseca, L.M., Henkes, A., Bruni, G., Viana, L.A., De Moura, C., Flores, W.H., Galio, A.F. (2018). Fabrication and Characterization of Native and Oxidized Potato Starch Biodegradable Films. *Food Biophysics*, 1-12.
- Forsell, P., Hamunen, A., Autio, K., Suortti, T. y Poutanen, K. (1995). Hypochlorite oxidation of barley and potato starch. *Starch/starke*. 47:371-377
- Gao, W., Dong, H. Z., Hou, H. X., & Zhang, H. (2012). Effects of clays with various hydrophilicities on properties of starch-clay nanocomposites by film blowing. *Carbohydrate Polymers*, 88, 321-328.
- Goheen, S. M., and R. P. Wool. 1991. Degradation of polyethylene-starch blends in soil. *J. Appl. Polym. Sci.* 42: 2691- 2701.
- Goites, D., (2008) Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar
- Grüneberg, W. J., D. Ma., R. O. M. Mwanga., E.E. Carey., K. Huamani., F. Diaz., R. Eyzaguirre., E. Guaf., M. Jusuf., A. Karuniawan., K. Tjintokohadi... (2015) . Advances in sweetpotato breeding from 1992 to 2012. P. 3-68. In: Campos, H., y P.D.S. Caligari (eds). *Genetic improvement of tropical crops*. Springer. Cham Switzerland.
- GUAN, J.; HANNA, A. M. (2004) Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*, v. 5, p. 2329-2339
- Guerra-Della Valle, D., L. A. Bello-Pérez, R. A. González-Soto, J. Solorza-Feria, and G. Arámbula-Villa. (2008). Experimental studies of the acetylation of plantain starch. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 7: 283-291.

- Gugliotta, L. (s.f). Análisis térmico de polímeros. CONICET. Argentina
- Guo, L., Tao, H., Cui, B., Janaswamy, S., (2019). The effects of sequential enzyme modifications on structural and physicochemical properties of sweet potato starch granules. *Food Chemistry*, Volume 277, 504-514,
- Guo, K., Tianxiang, L., Xu, A., Zhang, L., Bian, X., Wei, C. (2019). Structural and functional properties of starches from root tubers of white, yellow, and purple sweet potatoes. *Food Hydrocolloids* 89 . 829–836
- Guy, L; Lorient, D. (1994). *Bioquímica agroindustrial, revalorización alimentaria de la producción agrícola*. Zaragoza, España, Acribia. p. 285-290.
- Halal, S. L. M., Colussi, R., Pinto, V. Z., Bartz, R., Radunz, M., Villarreal, N. L., & Zavareze, E. R. (2015). Structure, morphology, and functionality of acetylated and oxidized barley starches. *Food Chemistry*, 168, 247–256.
- Hatakeyama, T. (1999) *Thermal Analysis: fundamentals and applications to polymer science*. (2da Ed.) Chichester, Nueva York: Wiley
- Hernández, N. and Escobar, M. (2009). Obtención y caracterización de un material polimérico a partir de la mezcla de polietileno de baja densidad (PEBD) y almidón de maíz modificado (Tesis Ingeniería Química). Veracruz (México): Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias químicas, 92 p.
- Hernández-Medina, M., Torruco, J., Guerrero, L., y Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718-726.
- Huang, JC; Sun, M. (2000). Genetic diversity and relationships of sweetpotato and its wild relatives in *Ipomoea* series *Batatas* (Convolvulaceae) as revealed by intersimple sequence repeat (ISSR) and restriction analysis of chloroplast DNA. *TAG* 100:1050-1060
- Hu, G. Chen, J., & Gao, J. (2009). Preparation and characteristics of oxidized potato starch films. *Carbohydrate Polymers*, 76, 291–298. DOI: 10.1016/j.carbpol.2008.10.032
- Iheagwara MC (2013). Isolation, modification and characterization of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) starch. *Food Process Technol*. Dec; 4(1): 1-6
- Issa, A., Salam, A., Ibrahim, Tahergorabi Reza, (2017) Impact of Sweet Potato Starch-Based Nanocomposite Films Activated With Thyme Essential Oil on the Shelf-Life of Baby Spinach Leaves.

- Jay-lin, J., Kasemsuan, T., Leas, S. IA, A. Zobel, H., IL, D., Robyt, J. F. Anthology of Starch Granule Morphology by Scanning Electron Microscopy. *Starch/ Stärke* 46 (1994) Nr. 4, S. 121-129
- Jiménez, A. Fabra, M. J., Talens, P., Chiralt, A. Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. *Food Bioprocess Technol* (2012) 5:2058–2076.
- Joaqui, D; Villada, H. (2013). Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. *Rev. Bio. Agro* 11(2):56-68.
- Kim, J., Ren, C., Shin, M., (2013). Physicochemical properties of starch isolated from eight different varieties of Korean sweet potatoes, *Starch/Starke*, 65, 923–930.
- Knutzon, C. A.; Grove, M. J. (1994) Rapid method for estimation of amylose in maize starches. *Cereal Chemistry*, v. 71, n. 5, p. 469.
- Kuakpetoon, D. y Wang, Y. (2001). Characterization of different starches oxidized by hypochlorite. *Starch/starke*. 53:211-218.
- Konuma, H; Rolle, R; Boromthanasat, S. (2012). Color characteristics of sago starch as they relate to the growth environment of the sago palm (*Metroxylon sagu* Robb). *Journal of Agricultural Technology* 8(1):273-287.
- KUAKPETOON, D. and WANG, Y. (2001) Characterization of Different Starches Oxidized by Hypochlorite. *Starch/Stärke* 53, p. 211–218.
- KUAKPETOON, D. and WANG, Y. (2006) Structural characteristics and physicochemical properties of oxidized corn starches varying in amylose content.
- Kuakpetoon, D. S., & Wang, Y. J. (2008). Locations of hypochlorite oxidation in corn starches varying in amylose content. *Carbohydrate Research*, 343, 90e100.
- Lago L. (2011). El cultivo de la batata, una oportunidad agroalimentaria para pequeños productores de clima cálido.
- Leach, HW, McCowen, LD y Schoch, TJ (1959) Estructura del gránulo de almidón. I. Patrones de hinchazón y solubilidad de varios almidones. *Cereal Chemistry*, 36, 534-544
- Lee, B., Lee, Y., (2016). Physicochemical and structural properties of different colored sweet potato starches, *Starch/Stärke* 68: 1–9
- Lim, T. K. 2016. Edible medicinal and non-medicinal plants. Vol. 10. Ed. Springer, Londres. 658.
- Linares, E., R. Bye., D. R. Ramírez., y R. P. Miranda. (2008). El Camote. *Biodiversitas*. 81: 11–5.

- Maizura M, Fazilah A, Noriziah M., & Karim A. (2007). Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch–alginate edible film containing lemongrass oil. *Journal of Food Science*, 72, 324–330. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00427.
- Manelius, R., Buleon, A., Nurmi, K., & Bertoft, E. (2000). The substitution pattern in cationized and oxidized potato starch granules. *Carbohydrate Research*, 329, 621–633.
- Mano, J. F., D. Koniarova, and R. L. Reis, (2003). Thermal properties of thermoplastic starch/synthetic polymer blends with potential biomedical applicability. *J. Mater. Sci. –Mater. M.* 14: 127-135.
- Manzanillas, L., (2018). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas de tres variedades de camote (*Ipomoea batata*) para aplicaciones alimentarias.
- Marín, M. (1994). Aspectos preliminares de la caracterización histológica de la raíz reservante de *Ipomoea batatas* L. En: VI Congreso de Jóvenes Científicos. Univ. Cayetano Heredia.
- Martí, H. R., G. B. Corbino., y H. D. Chlaudil. 2011. La batata: el redescubrimiento de un cultivo. *Ciencia Hoy*. 21: 17–23.
- Ministerio de Educación. (2020). Sector Agroindustria. [Mensaje de blog]. Recuperado de: https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-propertyvalue-56735.html?_noredirect=1
- Molina, P., Encalada, K., & Valle V. (2017). Estudio Preliminar del Efecto de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en la Oxidación del Almidón de Achira (*Canna edulis*) con Peróxido de Hidrógeno. *Revista Politécnica*, 39(2), 67-72.
- NARAYANA-MOORTHY, NUBRAMONY. Physicochemical and Functional Properties of Tropical Tuber Starches: A Review. *Journal Starch – Starke*, v. 54, n. 12, 2002, p. 559-592.
- Olsen, E. D. 1990. *Métodos Ópticos de Análisis*. 3a ed. Editorial Reverté. México. pp: 176-177.
- Otero, A., Fuentes, L., (2018). Desarrollo de películas comestibles a partir de batata comercial (*Ipomoea Batata*).
- Ortiz H., Xrisa A., Ymaña M. & Sthefany N. (2016). modificación química de almidón nativo de maca (*lepidium peruvianum*) en sus características fisicoquímicas y reológicas. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Centro del Peru, Tarma-Perú
- Padilla, F. C., A. M. Rincón., y L. Bou-Rached. 2008. Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Arch Latinoam Nutr.* 58: 303–308

- Rosero Alpala, EA; Pastrana Vargas IJ; Garcia Peña, JA, Espitia Montes, AA; Sierra Naranjo, CM; Sierra Monrroy, JA; Martinez Botello, DH; Santana Rodriguez, MO; Pérez Gamero, JL; Regino Hernandez, SM; Espitia Negrete, LB; Araujo Vasquez HA; Martinez Figueroa, RR; Garcia Herazo, JL. 2019. AGROSAVIA Aurora Variedad de batata de pulpa anaranjada para el Caribe colombiano. Mosquera, Colombia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). 28 p.
- Pagalo, M., J. Del Carmen., R. S. R. Barahona., y T. R. Vera. 2010. Proyecto de factibilidad de la creación de una empresa elaboradora de camotes al horno en forma de snack light en Guayaquil
- PAREDES, O., AGAMA, E., OTTENHOF, M., FAR-HAT, I., ORTÓZ, J. y BELLO, L. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. *Interciencia*, 29 (11), 2004, p. 643-649.
- Pérez, E., y Pacheco, D. (2005). Características químicas, físicas y reológicas de la harina y el almidón nativo aislado de Ipomoea Batatas Lam. *Acta científica venezolana*, 56(1), 9-15.
- Pineda, P., Coral, D., Ramos, D., Rosales, A. (2011) Estudio de las propiedades térmicas de harinas de maíz producidas por tratamiento térmico-alcalino *Ingeniería y Ciencia*, vol. 7, núm. 14, julio-diciembre, pp. 119-142 Universidad EAFIT Medellín, Colombia
- Parovuori, P., Hamunen, A., Forssell, P., Autio, K., Poutanen, K. & Raiio, E. (1995) Oxidation of Potato Starch by Hydrogen Peroxide. *Starch/Starke* 47(1), 19-23.
- Pelissari, F., Andrade, M., Amaral, P., Menegalli, F., (2013). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*), *Food Hydrocolloids* 30 681e690
- Pietrzyk, S., Juszczak, L., Fortuna, T., Łabanowska, M., Bidzińska, E., & Błoniarczyk, K.(2012). The influence of Cu (II) ions on physicochemical properties of potato starch oxidised by hydrogen peroxide. *Starch/Stärke*, 64, 272–280.
- Pérez, E; Pacheco, D; Delahaye, E. (2005). Características químicas, físicas y reológicas de la harina y el almidón nativo aislado de Ipomeas batatas Lam. *Acta Científica Venezolana* 56(1):12-20.
- Qi, X., Tester, R., Snap, C., Ansell, R., (2003). Molecular Basis of the Gelatinisation and Swelling Characteristics of Waxy Rice Starches Grown in the Same Location During the Same Season. *Journal of Cereal Science* 37(3):363-376
- Sacithraa, R., MadhanMohan, M., Vijayachitra, S., (2013). Quantitative Analysis of Tapioca Starch using FT-IR Spectroscopy and Partial Least Squares. *International Journal of Computer Applications* ,(0975-8887).

- Sánchez, F., García, M., Velázquez, M., Gutierrez, F. and Bello, L. (2005) Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 62, p. 50–56.
- Smith, R. J. (1967). In R. L. Whistler, & E. F. Paschall (Eds.), *Production and used of hypochlorite oxidized starches (Vol. II)* (pp. 620–625). *Starch chemistry and technology*, New York: Academic Press.
- Sánchez, M. 2004. *Modificación por oxidación del almidón de plátano (Musa paradisiaca L.) y su caracterización parcial*. Tesis Mag.Sc. Morelos, MX, IPN. 95p.
- Sánchez-Rivera, M. M., F. J. L. García-Suárez, M. Velázquez del Valle, F. Gutiérrez-Meraz, and L. A. Bello-Pérez. 2005. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydr. Polym.* 62: 50-56.
- Sandhu, K., Kaur, M., Singh, N., Lim, S., (2008). A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. *LWT* 41 1000–1010
- Sangseethong, K., Lertphanich, S. and Sriroth, K. Hypochlorite oxidation of cassava starch. *Starch/Starke*, 58(2), 2005, p. 53-54.
- Sangseethong, K., Lertphanich, S. and Sriroth, K. (2009) Physicochemical Properties of Oxidized Cassava Starch Prepared under Various Alkalinity Levels. *Starch/Stärke* 61, p. 92–100.
- Sangseethong, K., Termvejsayanon, N., & Sriroth, K. (2010). Characterization of physicochemical properties of hypochlorite and peroxide oxidized cassava starches. *Carbohydrate Polymers*, 82, 446e453.
- Shah, N., Singhal, R. (2018) A two-tier modified starch-oxidation followed by n-octenyl succinylation as gum Arabic substitute: Process details and characterization
- Shah, N.N. & Singhal, R.S. (2018). A two-tier modified starch-oxidation followed by n-octenyl succinylation as gum Arabic substitute: Process details and characterization. *Journal of Food Engineering* 226, 96-104.
- Sindhu, R., Devi, A., Khatkat, B., (2021). Morphology, structure and functionality of acetylated, oxidized and heat moisture treated amaranth starches, *Food Hydrocolloids* 118,106800.
- Singh, J., McCarthy, O., Singh, H., Moughan, P., Kaur, L., (2007). Morphological, thermal and rheological characterization of starch isolated from New Zealand Kamo Kamo (*Cucurbita pepo*) fruit – A novel source, *Carbohydrate Polymers*, Volume 67, Issue 2, Pages 233-244,

- Siripatrawan, U., & Vitchayakitti, W. (2016). Improving functional properties of chitosan films as active food packaging by incorporating with propolis. *Food Hydrocolloids*, 61, 695–702.
- Sihachakr, D; Cavalcante-Alves, JM; Tizroutine, S; Allot, M; Mussio, I; Servaes, A; Ducreux, G. 1995. Embryogenese somatique chez la patate douce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.): Caractérisation et régénération des plantes. Quel avenir pour l'amélioration des plantes, John Libbey EUROTEXT. p. 251-261.
- Smith, R. J. (1967). Characterization and analysis of starches. In R. L. Whistler & U. F. Pachall (Eds.), *Starch: chemistry and technology* (pp. 620–625). New York: Academic Press.
- Srichuwong, S., Sunarti, T., Mishima, T., Isono, N. & Hisamatsu, M. (2005). Starches From Different Botanical Sources I: Contribution of Amylopectin Fine Structure to Thermal Properties and Enzyme Digestibility. *Carbohydrate Polymers* 60(4):529-538.
- Tang, Y., W. Cai., y B. Xu. (2015). Profiles of phenolics, carotenoids and antioxidative capacities of thermal processed white, yellow, orange and purple sweet potatoes grown in Guilin, China. *Food Science and Human Wellness*. 4(3): 123–132.
- Thomas, D., y Atwell, W. (1999). Starch Modifications. In: *Starches*. Eagen Press Handbook. USA; pp. 31-48.
- Tester R. , Debon S. (2000) Annealing of starch-a review. *Int J Biological Macromol*. 27: 1-12.
- Thomas, H. D.; Atwell, W. A. *Starches*. Practical guides for the food industry. American Association of Cereal Chemist. St. Paul Minnesota, USA: Egan Press, 1999. p. 1-87.
- Tongdeesoontorn, Wirongrong & Mauer, Lisa & Wongruong, Sasitorn & Sriburi, Pensiri & Rachtanapun, Pornchai. (2011). Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. *Chemistry Central journal*. 5. 6. 10.1186/1752-153X-5-6.
- V., Oscar & Cuervo, Oscar & Ortiz, Cesar. (2012). Modified arracacha starch films characterization and its potential utilization as food packaging. *Vitae*. 19. 186-196.
- Varnam, A. 1994. *Leche y productos lácteos*. Zaragoza, España, Acribia.
- Wang H., Yang Q., Ferdinand U., Gong X., Qu y., Gao W., Ivanistau A., Feng B., Líu M. (2020) Isolation and characterization of starch from light yellow, orange, and purple sweet potatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*.
- Walter, W. M., Truong, V. D., Wiesenborn, D. P., & Carvajal, P. (2000). Rheological and physicochemical properties of starches from moist-and dry-type sweetpotatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2937–2942.

- Wheatley, C., Scott, G., Best, R y Wiersema, S. (1995). Adding value to root and tuber crops.
- Wang LZ, White PJ. Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content. *Cereal Chem.* 1994; 71(5): 443-450.
- Wang, H., Yang, Q., Ferdinand, U., Gong, X., Qu, Y., Gao, W., Ivanistau, A., Feng, B., Liu, M., (2020). Isolation and characterization of starch from light yellow, orange, and purple sweet potatoes, *International Journal of Biological Macromolecules* 160: 660–668.
- Wang, S., S. Nie., y F. Zhu. 2016. Chemical constituents and health effects of sweet potato. *Food Res Int.* Vol. 89:90– 116.
- Wang, Y. and Wang, L. (2003) Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 52, p. 207–217.
- Wojeicchowski, J., Andrade, G., Lacera, L., Schnitzler, E., Demiate, I., (2018). Physicochemical, structural and thermal properties of oxidized, acetylated and dual-modified common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) starch *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 38(1)
- XIE, S., LIU, Q. and CUI, S. *Starch Modification and Applications*. En: *Food carbohydrates: Chemistry, Physical properties and applications*. 2005.
- Xu, Y., and M. A. Hanna. 2005. Preparation and properties of biodegradable foams from starch acetate and poly (tetramethylene adipate-co-terephthalate). *Carbohydr. Polym.* 59: 521–529.
- Xu, Y., V. Miladinov, and M. A. Hanna. 2004. Synthesis and characterization of starch acetates with high substitution. *Cereal Chem.* 81: 735-740.
- Zamudio, P., Vargas ,A., Gutiérrez, F.,Bello, L., (2009). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ALMIDONES DOBLEMENTE MODIFICADOS DE PLÁTANO *Agrociencia*, vol. 44, núm. 3, abril-mayo, 2010, pp. 283-295 Colegio de Postgraduados Texcoco, México.
- Flores, P., Vargas, A., Pérez, J., Bosques, E. and Bello, L. (2006) Films Prepared with Oxidized Banana Starch: Mechanical and Barrier Properties. *Starch/Stärke*, 58, p. 274–282.
- Zavareze, E., Pinto, V., Klein, B., El Halal, S., Elias, M., Hernandez, C., Diaz, A., (2012). Developmen of oxidised and heat-moisture treated potato starch film, *Food Chemistry* 132, 344-350.
- Zavareze, E., Pinto, V., Klein, B., Mello el halal, S., Cardoso, E., Hernández, C. and Guerra, A. (2011) Development of oxidised and heat–moisture treated potato starch film. *Food Chemistry*, p. 1-7.

PRESENTACIÓN DE INFORME FINAL TRABAJOS DE GRADO

Zhang, Y., Zhang, S., Wang, x., Chen, R. and Wang. Y. (2009) Effect of carbonyl content on the properties of thermoplastic oxidized starch. *Carbohydrate Polymers*, 78, p. 157–161.

Zhang, D; Rossel, G; Kriegner, A; Hijmans, R. 2004. AFLP assessment of diversity in sweetpotato from Latin America and the Pacific region: Its implications on the dispersal of the crop. *Genetic Resources and Crop Evolution* 51(2):115-120.

Zhou, F., Liu, Q., Zhang, H., Chen, Q., Kong, B., (2015). Potato starch oxidation induced by sodium hypochlorite and its effect on functional properties and digestibility. F. Zhou et al. / *International Journal of Biological Macromolecules* 84 410–417