



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

UNT

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

Propiedades químicas, funcionales, reológicas y texturales en almidón oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz. Efecto de los parámetros de proceso

Chemical, functional, rheological and textural properties in oxidized starch from avocado, cassava, potato and corn seeds. Effect of process parameters

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTORAS: Díaz Soto, Linda Rebeca Fernanda
Ventura Avalos, Yulissa Maribel

ASESORA: MSc. Barraza Jáuregui, Gabriela del Carmen

CO-ASESOR: MSc. Alcántara Campos, José Carlos

TRUJILLO – PERÚ

2023

Sustentado y Aprobado ante el Honorable Jurado:

Propiedades químicas, funcionales, reológicas y texturales en almidón oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz. Efecto de los parámetros de proceso

Presentado por:

Br. Díaz Soto, Linda Rebeca Fernanda

Br. Ventura Avalos, Yulissa Maribel

Aprobado por:



MSc. Sánchez González, Jesús Alexander

Presidente



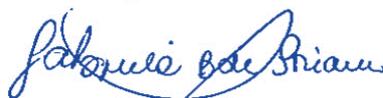
MSc. Rojas Naccha, Julio César

Secretario



Mg. Zavaleta Guzmán, Karla Margielly

Miembro Vocal



MSc. Barraza Jáuregui, Gabriela del Carmen

Asesora

DEDICATORIA

A JEHOVÁ, por enseñarme las cualidades necesarias que me han servido y me servirán toda mi vida.

A mis padres, Javier y Rocío, por todos sus cuidados, esfuerzos, dedicación y amor, gracias a ustedes he logrado este gran paso en mi vida.

A mi hermana, Dulce, por ser un soporte, animándome y ayudándome. A mi hermano, Esteban, por darme ánimo y estímulo para terminar esta etapa.

A mi compañera Yulissa, por su apoyo, compañía, consideración y sobre todo por su amistad mostrada en todo este proceso.

Rebeca Díaz

A Dios por permitirme culminar mis estudios y esta investigación, darme fuerzas para continuar y lograr superar obstáculos, por la salud que brinda a mis seres queridos y porque cada día bendice mi vida.

A mis padres Alfredo y Miriam, por todos los sacrificios, esfuerzos, cuidados, consejos, guía y amor que me han brindado siempre y me han permitido convertirme en la calidad de persona que soy hoy. Ustedes son mi inspiración y ejemplo de querer superarme más cada día y luchar por todas mis metas.

A todas aquellas personas que creyeron en mí y me alentaron durante este proceso para seguir trabajando más duro y no decaer, agradezco su amistad sincera y su confianza depositada en mi persona.

A Rebeca, mi compañera de tesis, por todo el esfuerzo y compromiso puesto durante todo el desarrollo que demandó este trabajo, por apoyarme y brindarme su linda amistad.

Yulissa Ventura

AGRADECIMIENTO

Agradecer a nuestra asesora la Msc. Gabriela del Carmen Barraza Jáuregui por ser nuestra docente y mentora durante la ejecución de esta investigación, pero sobre todo por su tiempo, compromiso, dedicación y confianza.

A nuestros padres por el aliento, comprensión y el apoyo incondicional durante el desarrollo del presente estudio, para así poder lograr todas nuestras metas.

A nuestros compañeros y amigos que nos apoyaron en la realización de este trabajo.

Agradecer a nuestro coasesor el Msc. Alcántara Campos José Carlos, por su ayuda y asesoramiento en el proceso de investigación de la tesis.

A cada uno de nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial, por sus conocimientos y experiencias impartidos durante estos 5 años, contribuyendo así en nuestra formación profesional.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
2.1. Materia Prima.....	4
2.2. Métodos.....	4
2.2.1. Oxidación del almidón nativo con hipoclorito de sodio	7
2.2.2. Métodos de Análisis	7
2.2.2.1. Propiedades Químicas.....	7
2.2.2.1.1. Contenido de carboxilos.....	7
2.2.2.1.2. Contenido de Carbonilos.....	8
2.2.2.1.3. Contenido de amilosa y amilopectina	8
2.2.2.2. Propiedades Funcionales.....	9
2.2.2.2.1. Poder de Hinchamiento y Solubilidad	9
2.2.2.3. Propiedades Reológicas	9
2.2.2.4. Propiedades Texturales	10
2.3. Análisis Estadístico	11
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
3.1. Propiedades Químicas	12
3.1.1. Contenido de Carboxilos.....	12
3.1.2. Contenido de Carbonilos.....	14
3.1.3. Amilosa y amilopectina.....	16
3.2. Propiedades Funcionales	18
3.2.1. Poder de Hinchamiento	18
3.2.1.1. Poder de Hinchamiento a 60 °C.....	18
3.2.1.2. Poder de Hinchamiento a 70 °C.....	20
3.2.1.3. Poder de Hinchamiento a 80 °C.....	21
3.2.1.4. Poder de Hinchamiento a 90 °C.....	23
3.2.2. Solubilidad	24
3.2.2.1. Solubilidad a 60°C	24
3.2.2.2. Solubilidad a 70°C	26
3.2.2.3. Solubilidad a 80°C	27
3.2.2.4. Solubilidad a 90°C	29
3.3. Propiedades Reológicas.....	30
3.3.1. Comportamiento del Flujo Modelo Herschel Bulkley	30
3.3.1.1. Tensión de fluencia	31
3.3.1.2. Coeficiente de consistencia.....	33

3.3.1.3. Índice de comportamiento de flujo	35
3.4. Propiedades Texturales	37
3.4.1. Dureza	37
3.4.2. Gomosidad	39
3.4.3. Elasticidad	40
3.4.4. Cohesión.....	42
IV. CONCLUSIONES.....	45
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
VI. ANEXOS.....	

BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

RESUMEN

El avance en la industrialización de la palta en los últimos años ha generado un aumento preocupante de residuos, siendo uno de estos la semilla, que contiene una cantidad importante de almidón. Además, el mejoramiento que se le puede dar a un almidón nativo de fuente no convencional en sus propiedades, mediante una modificación, llevaría a ampliar su aplicación de este. Por lo tanto, se evaluó el efecto de la fuente de almidón, pH (8 y 10) y concentración de hipoclorito de sodio (1%, 1.5% y 2%) en las propiedades químicas (carboxilos, carbonilos, amilosa y amilopectina), funcionales (poder de hinchamiento y solubilidad), reológicas (tensión de fluencia, coeficiente de consistencia e índice de comportamiento de flujo) y texturales (dureza, gomosidad, elasticidad y cohesión) en almidón oxidado de semilla de palta, papa, maíz y yuca. Se preparó una suspensión de almidón nativo de cada fuente al 40% de sólido seco y se ajustaron los pH a 8 y 10, para después añadir hipoclorito de sodio con concentraciones de 1.0%, 1.5% y 2.0%. El Análisis de varianza mostró que todos los resultados presentaban diferencia significativa ($p < 0.05$), para ello se realizó un total de 24 tratamientos: T1 (AY, pH:8, 1%), T2 (AY, pH:8, 1.5%), T3 (AY, pH:8, 2%), T4 (AY, pH:10, 1%), T5 (AY, pH:10, 1.5%), T6 (AY, pH:10, 2%), T7 (AM, pH:8, 1%), T8 (AM, pH:8, 1.5%), T9 (AM, pH:8, 2%), T10 (AM, pH:10, 1%), T11 (AM, pH:10, 1.5%), T12 (AM, pH:10, 2%), T13 (ASP, pH:8, 1%), T14 (ASP, pH:8, 1.5%), T15 (ASP, pH:8, 2%), T16 (ASP, pH:10, 1%), T17 (ASP, pH:10, 1.5%), T18 (ASP, pH:10, 2%), T19 (ASP, pH:8, 1%), T20 (AP, pH:8, 1.5%), T21 (AP, pH:8, 2%), T22 (AP, pH:10, 1%), T23 (AP, pH:10, 1.5%) y T24 (AP, pH:10, 2%). La tendencia que se determinó en los tratamientos oxidados a un pH 10 de suspensión de almidón y a 2% de concentración de hipoclorito de sodio fue que presentaron un incremento en la solubilidad, formación de grupos carboxilos y carbonilos, índice de comportamiento de flujo, elasticidad y cohesión; y en contraste una disminución en el contenido de amilosa, poder de hinchamiento, coeficiente de consistencia, tensión de fluencia, dureza y gomosidad. Por consiguiente, el efecto positivo de la oxidación sobre el almidón nativo, en especial a partir de la semilla de palta, permitiría darle un valor agregado para ampliar su aplicación en más industrias.

Palabras claves: Hipoclorito de sodio, semilla de palta, almidón, oxidación, carboxilos, amilosa.

ABSTRACT

The advancement in avocado industrialization in recent years has generated a concerning increase in waste, one of which is the seed that contains a significant amount of starch. Furthermore, improving the properties of a native starch from a non-conventional source through modification would lead to expanding its applications. Therefore, the effect of starch source, pH (8 and 10), and sodium hypochlorite concentration (1%, 1.5%, and 2%) on the chemical properties (carboxyls, carbonyls, amylose, and amylopectin), functional properties (swelling power and solubility), rheological properties (yield stress, consistency coefficient, and flow behavior index), and textural properties (hardness, gumminess, elasticity, and cohesion) in oxidized starch from avocado seed, potato, corn, and cassava was evaluated. A suspension of native starch from each source was prepared at 40% dry solids, and the pH was adjusted to 8 and 10. Sodium hypochlorite was then added at concentrations of 1.0%, 1.5%, and 2.0%. The Analysis of Variance showed that all the results presented a significant difference ($p < 0.05$), for which a total of 24 treatments were carried out: T1 (AY, pH:8, 1%), T2 (AY, pH:8, 1.5%), T3 (AY, pH:8, 2%), T4 (AY, pH:10, 1%), T5 (AY, pH:10, 1.5%), T6 (AY, pH:10, 2%), T7 (AM, pH:8, 1%), T8 (AM, pH:8.1, 5%), T9 (AM, pH:8, 2%), T10 (AM, pH:10, 1%), T11 (AM, pH:10, 1.5%), T12 (AM, pH:10, 2%), T13 (ASP, pH:8, 1%), T14 (ASP, pH:8, 1.5%), T15 (ASP, pH:8, 2%), T16 (ASP, pH:10, 1%), T17 (ASP, pH:10, 1.5%), T18 (ASP, pH:10, 2%), T19 (ASP, pH: 8, 1%), T20 (AP, pH:8, 1.5%), T21 (AP, pH:8, 2%), T22 (AP, pH:10, 1%), T23 (AP, pH:10, 1.5%) and T24 (AP, pH:10, 2%). The trend determined in the oxidized treatments at pH 10 of starch suspension and 2% sodium hypochlorite concentration was an increase in solubility, formation of carboxyl and carbonyl groups, flow behavior index, elasticity, and cohesion. In contrast, there was a decrease in amylose content, swelling power, consistency coefficient, yield stress, hardness, and gumminess. Therefore, the positive effect of oxidation on native starch, especially from avocado seed, would allow for adding value to expand its application in more industries.

Keywords: sodium hypochlorite, avocado seed, starch, oxidation, carboxyls, amylose.

I. INTRODUCCIÓN

La palta (*Persea americana* Mill.) es el fruto más importante y el único comestible de la familia *Lauraceae*, además posee un alto valor comercial. Existen numerosas variedades de palta, según el clima para su siembra, con diferentes formas, sabores, texturas, colores y olores (Villa-Rodriguez et al., 2020), siendo las variedades Hass y Fuerte las más conocidas y comercializadas a nivel global, debido a su importante beneficio nutricional (Pérez y Gómez, 2022). Por lo cual ha generado un incremento de su consumo a nivel mundial en los últimos años, estimándose entre 0.83–0.85 kg de consumo per cápita para la variedad Hass en 2020 (Vargas-Canales et al., 2020), siendo los principales países importadores: EE. UU., Israel, Francia, Inglaterra, Canadá y Japón (FAOSTAT, 2022).

Por otro lado en el 2022, Perú se ubicó como el segundo productor mundial de palta, precedido por México (FAOSTAT, 2022), por el cual su volumen de producción ha incrementado hasta en un 70% (Ministerio de agricultura y riego, 2022), siendo esta utilizada principalmente para su procesamiento en fresco o como agregado en alimentos mínimamente procesados (Bajaj et al., 2022). No obstante, el desarrollo a nivel industrial de la palta genera desperdicios considerables por parte de sus residuos como son la piel, pulpa y semilla (Bedoya-Perales y Dal' Magro, 2021), siendo las semillas las menos aprovechadas, dejando como consecuencia un total de 2.42 millones de toneladas de estas a nivel mundial que se liberan al medio ambiente (Nyakang'i et al., 2023), lo que genera un grave problema de contaminación a nivel industrial y medio ambiental (Thory y Sandhu, 2017). La semilla de palta es fuente de variados componentes naturales que se pueden encontrar en esta, siendo el almidón una alternativa que genera un alto rendimiento en su extracción (Nakthong et al., 2017).

Ampliamente se han utilizado industrialmente a los almidones de yuca, papa y maíz en productos alimentarios como no alimentarios (Kringel et al., 2020), es por eso que la búsqueda de nuevas fuentes de almidón ha estado motivada por tres razones principales: la creciente demanda del mercado; la demanda de la industria de nuevos almidones con propiedades fisicoquímicas, estructurales y funcionales diferentes a las de las fuentes de almidón convencionales; y suministro de alimentos para hacer frente al aumento de la población mundial (Kringel et al., 2020).

El almidón es un biopolímero que está compuesto por unidades de glucosa, que consta de cadenas como son la amilosa (principalmente lineal) y la amilopectina (ramificada). Existen almidones que se aplican en la industria alimentaria como estabilizantes, texturizantes, gelificantes, espesantes, encapsulantes y formadores de películas comestibles (Salcedo-Mendoza et al., 2016); y en la industria no alimentaria como aditivos en textiles, plástico, papel, productos farmacéuticos, pintura, cosméticos, materiales de construcción, cerámicos, entre otras (Maryam et al., 2016). Pero, según estudios reportados, el uso de almidones nativos en estos procesos presenta restricciones como la gelatinización ocasionada por altas temperaturas, elevada sensibilidad a la retrogradación (baja estabilidad a la congelación-descongelación), alta turbidez del gel, producción de sinéresis, así como la incompatibilidad con algunos polímeros y solventes (Gong et al., 2006). Entonces, para superar estas limitaciones presentes en el almidón nativo, se pueden realizar modificaciones para mejorar sus propiedades fisicoquímicas, funcionales, texturales y reológicas (Jyothi et al., 2005); aprovechando así al máximo las funcionalidades del almidón para seguir desarrollando aún más el valor de este a nivel industrial (Lin et al., 2019). Dichas modificaciones se pueden dar mediante reacciones de tipo químico, físico y enzimático o por una combinación de ellas (Peñaranda Contreras et al., 2008). La oxidación es un método químico de modificación del almidón que implica una reacción entre el almidón y el de un agente oxidante en condiciones controladas (Halal et al., 2015), siendo los reactivos más empleados el peróxido de hidrógeno, ácido crómico, dióxido de nitrógeno, permanganato de potasio o persulfato de amonio, peryodato e hipoclorito de sodio (Balakrishnan y Jayakrishnan, 2005); permitiendo este último reactivo que la oxidación se produzca en sitios específicos al orientarse solamente al enlace glucosídico C2, C3, C6 (Okekunle et al., 2020). En estudios más recientes se están realizando procesos de oxidación a partir de semillas de frutos (Maqsood et al., 2020), sin embargo, no se ha comparado las características de estos almidones de fuentes no convencionales con las de almidones modificados de gran importancia industrial y más estudiadas como son: almidón de maíz, yuca y papa.

Es por esta razón que el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el efecto del pH y la concentración de hipoclorito de sodio en las propiedades químicas, funcionales, reológicas y texturales en almidón oxidado de

semilla de palta yuca, papa y maíz, y de esta manera proponer su posible aplicación a nivel industrial.

BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materia Prima

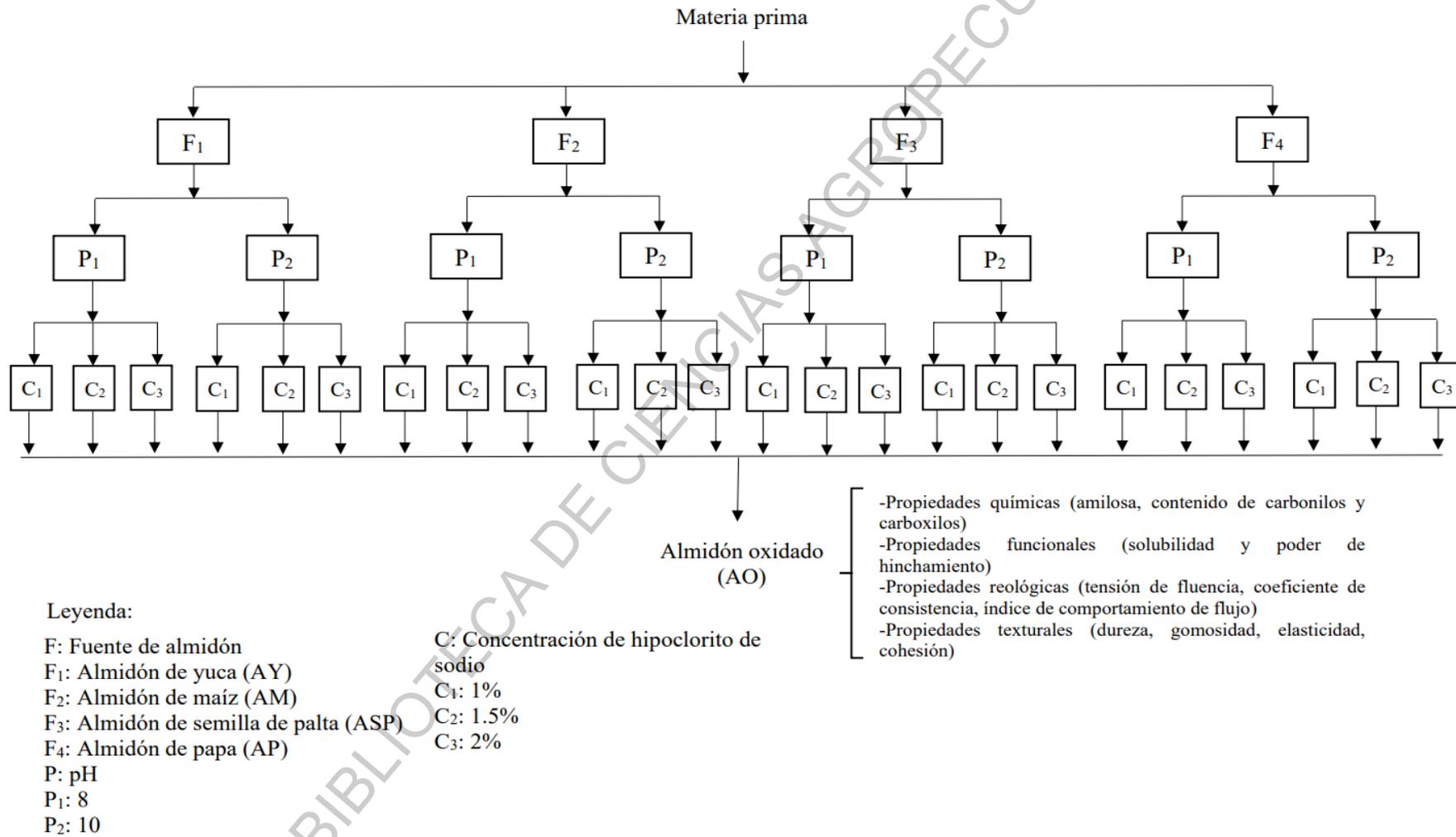
Se utilizó almidón de semilla de palta variedad Hass y papa variedad Breña, extraído por el laboratorio de Análisis por Instrumentación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Trujillo. Los almidones comerciales de yuca y maíz fueron adquiridos de la empresa INGREDION PERU S.A.

2.2. Métodos

En la figura 1, se presenta el esquema experimental del presente trabajo de investigación. En donde las variables independientes fueron: fuente de almidón (yuca, maíz, semilla de palta, papa), pH de la suspensión de almidón (8, 10) y la concentración de hipoclorito de sodio (1%, 1.5%, 2%) y como variables dependientes se tuvo a: propiedades químicas (amilosa, carbonilos, carboxilos), funcionales (poder de hinchamiento, solubilidad), reológicas (tensión de fluencia, coeficiente de consistencia, índice de comportamiento de flujo) y texturales (dureza, gomosidad, elasticidad, cohesión).

Figura 1

Esquema experimental para evaluar el efecto de parámetros de proceso en almidón modificado de semilla de palta, yuca, papa y maíz obtenidos por oxidación



En la tabla 1 se presenta la codificación de todos los tratamientos evaluados.

Tabla 1

Codificación de los tratamientos

Tratamiento	Fuente de Almidón	pH	Concentración de Hipoclorito de Sodio (%)
T1	Yuca (AYO)	8	1
T2	Yuca (AYO)	8	1.5
T3	Yuca (AYO)	8	2
T4	Yuca (AYO)	10	1
T5	Yuca (AYO)	10	1.5
T6	Yuca (AYO)	10	2
T7	Maíz (AMO)	8	1
T8	Maíz (AMO)	8	1.5
T9	Maíz (AMO)	8	2
T10	Maíz (AMO)	10	1
T11	Maíz (AMO)	10	1.5
T12	Maíz (AMO)	10	2
T13	Semilla de palta (ASPO)	8	1
T14	Semilla de palta (ASPO)	8	1.5
T15	Semilla de palta (ASPO)	8	2
T16	Semilla de palta (ASPO)	10	1
T17	Semilla de palta (ASPO)	10	1.5
T18	Semilla de palta (ASPO)	10	2
T19	Papa (APO)	8	1
T20	Papa (APO)	8	1.5
T21	Papa (APO)	8	2
T22	Papa (APO)	10	1
T23	Papa (APO)	10	1.5
T24	Papa (APO)	10	2

2.2.1. Oxidación del almidón nativo con hipoclorito de sodio

Las muestras de almidón oxidado se prepararon con el método propuesto por Sangseethong et al. (2010), con algunas modificaciones, que se detallan a continuación. Se preparó una suspensión de almidón nativo al 40% de sólido seco y el pH se ajustó a 8 y 10 con solución de NaOH 0.1 M, mediante la lectura constante de un pH metro digital (HandyLab 100, SI Analytics, Mainz, Alemania). La temperatura de la suspensión se mantuvo a 24 °C y se añadió hipoclorito de sodio en cantidad que proporcione concentraciones de cloro activo de 1.0, 1.5 y 2.0 g cloro activo/100 g de almidón, por un período de 30 minutos, con agitación constante. Durante la adición de reactivo y el curso de la reacción, el pH de la suspensión se mantuvo agregando una solución de NaOH. La mezcla se agitó en un agitador magnético con temperatura (C-MAG HS 4 S000, IKA, San Diego, EE. UU), constantemente manteniendo las condiciones definidas durante 60 min. Posteriormente la suspensión se filtró y se lavó con 1.5 L de agua destilada, para retirar las sales de sodio formadas, se comprobó la eliminación de sales totales mediante la prueba de nitrato de plata. El almidón oxidado (AO) se re-suspendió en agua destilada (suspensión al 40% p/v) y el pH se ajustó a 5.5. El almidón oxidado obtenido se secó en una estufa de aire forzado (UF260 Plus, Memmert, Schwabach, Alemania) a $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, hasta una humedad de 12%, para posteriormente triturarlo en un mortero y tamizarlo en un tamiz N° 200 (serie ASTM) de abertura de malla 75 μm .

2.2.2. Métodos de Análisis

2.2.2.1. Propiedades Químicas

2.2.2.1.1. Contenido de carboxilos

El contenido de grupos carboxilos se determinó por el método propuesto por Biduski et al. (2017). Para tal efecto, se pesaron cinco gramos de almidón oxidado en base seca y se dispersaron en 25 ml de una solución valorada de HCl 0.1 M, agitando por 5 min, hasta completa disolución del almidón. A continuación, la suspensión se filtró al vacío en un embudo Buchner con papel filtro de filtrado rápido. El almidón se lavó con agua destilada hasta completar la remoción del ion cloruro, el cual se verificó hasta resultado negativo de la prueba de nitrato de plata (solución translúcida). Posteriormente

el almidón sedimentado se transfirió a un vaso de precipitado de 300 mL para ser calentado por 5 minutos, a temperatura de ebullición (100 °C), con agitación constante. La dispersión de almidón gelatinizado se tituló con solución valorada de NaOH 0.025 M, hasta pH 8.3. Se usó como blanco una muestra de 5.0 g de almidón nativo, gelatinizándolo y titulándolo de manera similar al almidón oxidado.

El contenido de grupos carboxilos se calculó con la ecuación 1.

$$\text{Grupos Carboxilos (\%)} = \frac{(mL NaOH_{muestra} - mL NaOH_{Blanco}) * M_{NaOH} * 0.045 * 100}{\text{Peso de muestra}_{base\ seca}} \quad (1)$$

2.2.2.1.2. Contenido de Carbonilos

El contenido de grupos carbonilos se determinó por el método de Biduski et al. (2017). Se pesaron cinco gramos de almidón oxidado en base seca, previamente lavado con agua destilada, en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se gelatinizó por la adición de 100 mL de agua destilada a temperatura de ebullición en un agitador con temperatura (C-MAG HS 4 S000, IKA, San Diego, EE. UU). Posteriormente, el almidón gelatinizado se enfrió a temperatura ambiente (25 °C) y acidificó hasta pH 3.2. Inmediatamente se adicionó 15 mL de una solución de clorhidrato de hidroxilamina a 5% (p/v). En seguida, la dispersión se calentó en baño maría (BW-20G, Jeio Tech, Seoul, Korea) a 40 °C por 4 horas para luego ser titulada con solución valorada de HCl 0.1 M hasta pH 3.2. Se usó como blanco una muestra de 2.0 g de almidón nativo, gelatinizándolo y titulándolo de manera similar al almidón oxidado.

El contenido de grupos carbonilos se calculó con la ecuación 2.

$$\text{Grupos Carbonilos (\%)} = \frac{(mL HCL_{muestra} - mL HCL_{Blanco}) * M_{HCL} * 0.028 * 100}{\text{Peso de muestra}_{base\ seca}} \quad (2)$$

2.2.2.1.3. Contenido de amilosa y amilopectina

Se determinó el contenido de amilosa y amilopectina mediante el método espectrofotométrico, empleándose una curva de calibración de amilosa, según la

metodología de Hoover y Ratnayake (2001) en las muestras de almidón resultantes de un desgrasado previo con etanol 96% por 10 horas.

2.2.2.2. Propiedades Funcionales

2.2.2.2.1. Poder de Hinchamiento y Solubilidad

El poder de hinchamiento (PH) y la solubilidad (S) del almidón oxidado se determinó por el método propuesto por Huang et al. (2016), con ligeras modificaciones. Se pesaron 0.4 g de almidón en base seca y se colocaron en un tubo Falcon, para posteriormente agregarle 20 mL de agua destilada. Luego el tubo Falcon se calentó en baño maría (BW-20G, Jeio Tech, Seoul, Korea) a 4 temperaturas de 60, 70, 80 y 90 °C por 30 minutos y se dejó enfriar a temperatura ambiente, posteriormente las suspensiones fueron centrifugadas (4-16KS, Sigma, Harz, Alemania) a 5000 rpm por 60 minutos, para luego separar y pesar el sobrenadante y el sedimento del almidón hinchado; el sobrenadante se secó en una estufa a 105 °C por 4 horas para cuantificar el porcentaje de sólidos solubles y con el sedimento se determinó el porcentaje de hinchamiento, estas propiedades se calcularon mediante las ecuaciones 3 y 4.

$$PH \left(\frac{g}{gms} \right) = \frac{PRC}{PM - PRE} \quad (3)$$

$$S (\%) = \frac{PRE}{PM} * 100 \quad (4)$$

Donde:

PRC: Peso residuo de centrifuga

PM: Peso de muestra

PRE: Pe lso residuo de evaporación

2.2.2.3. Propiedades Reológicas

Las curvas de flujo de los geles de almidón se obtuvieron con un reómetro (HAAKE MARS 60, Thermo Fisher Scientific, Bremem, Alemania), empleándose la geometría plato-plato (40 mm de diámetro) a una temperatura controlada de 20 °C. Se prepararon suspensiones de almidón al 8% (p/p), las que fueron calentadas

en un agitador magnético con temperatura controlada (C-MAG HS 4 S000 (IKA, San Diego, EE.UU) a 90 °C por 10 min, luego los geles se enfriaron hasta 20 °C (Vargas et al., 2016). Las características reológicas como el esfuerzo mínimo de fluencia, índice de comportamiento de flujo y coeficiente de consistencia (σ_0 , n y K) se determinaron a partir de las curvas de flujo obtenidas. Los geles se colocaron en la placa Peltier durante 2 minutos, utilizando una separación (gap) entre la placa y la geometría de 1 mm (Agudelo et al., 2014). Se empleó el modelo de Herschel-Bulkley (ecuación 5), para determinar las características reológicas (Siche et al., 2015), evaluando que el esfuerzo mínimo de fluencia, índice de comportamiento de flujo y coeficiente de consistencia deben ser mayores a cero; con coeficiente de determinación R^2 (superior a 0.90) (Zhang et al., 2012). Se utilizó el software estadístico R 4.2.1 con la función de regresión no lineal.

$$\sigma = \sigma_0 + k * (\dot{\gamma})^\eta \quad (5)$$

Donde:

σ : Esfuerzo de corte (Pa)

σ_0 : Esfuerzo de corte inicial (Pa)

k : Coeficiente de consistencia (Pa.Pa. sⁿ)

$\dot{\gamma}$: Velocidad de cizalla (s⁻¹)

η : Índice reológico (adimensional)

2.2.2.4. Propiedades Texturales

Los geles de almidón se elaboraron a partir de suspensiones de almidón de 8% (p/p) y se calentaron a 90 °C por 10 minutos en un agitador magnético (C-MAG HS 4 S000, IKA, San Diego, EE. UU) con sistema de calentamiento controlado. La pasta de almidón gelatinizado se colocó en recipientes circulares de 3.8 cm de diámetro y se almacenaron durante 24 h a 4 °C. Se determinó el perfil de textura de los geles de almidón en un analizador de textura (TA-XT2, Stable Ltd., Surrey, Inglaterra). Los geles se presionaron con un plato de 7.5 mm de diámetro hasta un 25% de deformación. La velocidad de ensayo fue de 2 mm/s con un intervalo de tiempo de 3 s entre los dos ciclos. La velocidad de adquisición

fue de 200 pps y la fuerza de disparo de 5 g. El pico máximo de fuerza alcanzado durante la primera compresión representó la dureza (N). La gomosidad representa la energía requerida para desintegrar el gel antes de que esté listo para tragar. La elasticidad es el alargamiento de los enlaces de deformación de los ángulos de enlace del gel de almidón. La cohesividad proporcionó información sobre la segunda deformación del gel dividida por el área de trabajo durante la primera compresión (Lai et al., 2016).

2.3. Análisis Estadístico

El método estadístico correspondió a un diseño completamente aleatorizado de tres factores (fuente de almidón, pH de tratamiento y concentración de hipoclorito de sodio), con 3 réplicas. Para las variables respuesta en estudio se empleó la prueba de Levene para determinar la homogeneidad de varianzas, posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANVA), y a continuación, al existir diferencias significativas ($p < 0.05$) se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, la cual comparó los resultados mediante la formación de subgrupos. Todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%. Para procesar los datos se utilizó el software R 4.2.1 con los paquetes "agricolae" y "car".

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Propiedades Químicas

3.1.1. Contenido de Carboxilos

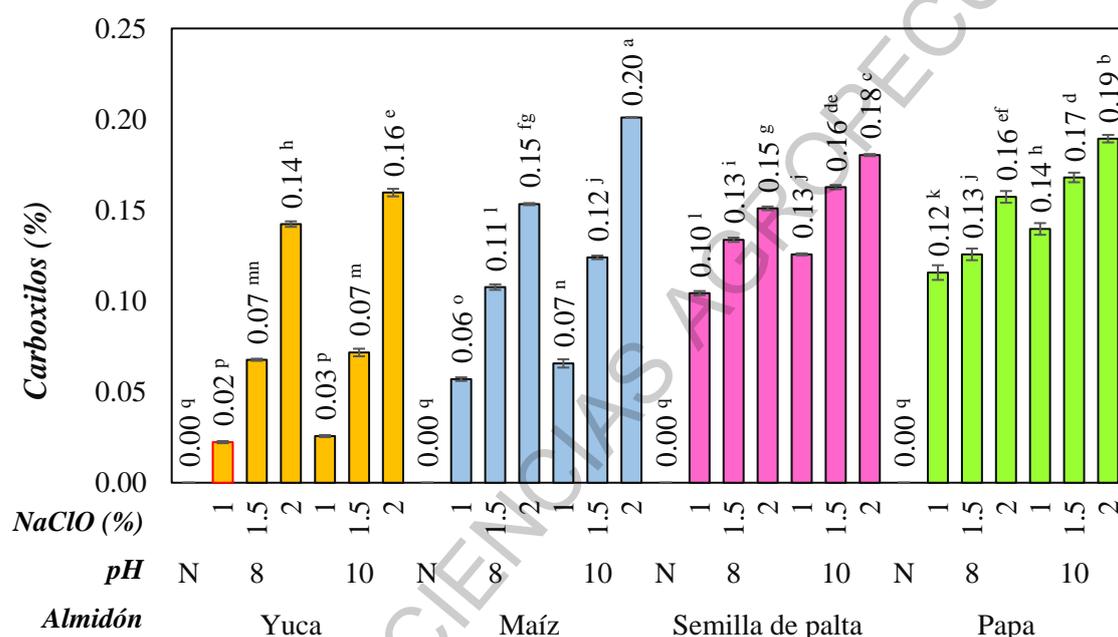
En la Figura 2 se presentan los resultados del contenido de carboxilo de las muestras de almidón nativo y oxidado, en función al pH de tratamiento y concentración de hipoclorito de sodio empleado. Como se observa, las muestras de almidón nativo no presentaron carboxilos (0.00%), concordando estos resultados con los reportados para almidón de arroz (Fonseca et al., 2015); almidón de cebada (Halal et al., 2015), papa (Dang et al., 2019), maíz (Kuakpetoon y Wang, 2001), yuca y pepa de palta (Wang et al., 2022). De igual forma, al incrementar la concentración de hipoclorito de sodio y el pH de la suspensión de almidón, el contenido de carboxilos presentó tendencia a aumentar, siendo más notorio en el almidón modificado de maíz y menor en el de yuca.

Los valores del contenido de carboxilos en muestras de AYO, AMO, ASPO y APO, se encontraron en el rango de 0.02% (T1: AY; pH 8; 1%) a 0.16% (T6: AY; pH 10; 2%), 0.06% (T7: AM; pH 8; 1%) a 0.20% (T12: AM; pH 10; 2%), 0.10% (T13: ASP; pH 8; 1%) a 0.18% (T18: ASP; pH 10; 2%), 0.12% (T19: AP; pH 8; 1%) a 0.19% (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente. Estos resultados fueron similares a los reportados por Garrido et al. (2014) quienes obtuvieron un valor de 0.07% a 0.44% de grupos carboxilos para AYO (0.8% a 2% de hipoclorito de sodio), Dias et al. (2011) con valores de 0.04% a 0.17% de carboxilos para AYO (0.5% a 2% de hipoclorito de sodio), Wang (2003) con valores de 0.02% a 0.27% de carboxilos para AMO (0.25% a 3% de hipoclorito de sodio), Kaur y Bhullar (2016) con valor de 0.06% a 0.16% de carboxilos para semilla de tamarindo (1% a 2% de hipoclorito de sodio) y Zhou et al. (2016) con valores de 0.13% a 0.21% de carboxilos para APO (1% a 2% de hipoclorito de sodio). Según Naknaen et al. (2017) este efecto se debería a que cuanto menor es la fracción de tamaño de gránulo, mayor es el grado de oxidación, debido a la mayor área de superficie específica de las fracciones de gránulos de menor tamaño. Estos resultados indicaron que el almidón de maíz fue más susceptible a la oxidación que el resto de almidones. Altos niveles de oxidación condujeron posiblemente a un debilitamiento de los gránulos de almidón, por lo que se

necesita menos energía para gelatinizar los gránulos de almidón. Además, el alto contenido de grupos carboxilo podría promover la fuerza repulsiva entre grupos carboxilo en cadenas adyacentes, lo que resulta en la mejora de la hidratación y gelatinización (Castanha et al., 2017).

Figura 2

Contenido de carboxilos en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



Los resultados de la prueba de ANVA presentaron diferencia significativa, por lo cual se procedió con la prueba de Tukey (Anexo 1), en donde muestra que el T12 (AM; pH 10; 2%) presentó mayor contenido de carboxilos (0.20%). Este resultado puede deberse a que la concentración de cloro activo fue el factor con mayor efecto (Hoyos y Luisier, 2013), durante la modificación por oxidación, en donde los grupos hidroxilo de las moléculas de almidón, principalmente en las posiciones C-2, C-3 y C-6, se transforman en un grupo carbonilo y luego en un grupo carboxilo (Naknaen et al., 2017).

El contenido de carboxilo de los almidones oxidados a nivel general aumento en relación con la adición progresiva en la concentración de hipoclorito de sodio y pH, está secuencia se da a un ritmo mucho más rápido que en el contenido de carbonilo, esto se debe que a medida que aumenta el nivel de cloro activo, más

grupos hidroxilo se convierten en grupos carbonilo y se oxidan rápidamente en grupos carboxilo, también fue debido a que la oxidación se realizó en condiciones alcalinas, pH 8 y 10; y que el hipoclorito de sodio promovió la producción de grupos carboxilo (Sánchez-Rivera et al., 2005). Además este efecto en la formación de grupos carboxilos con la oxidación, concuerda con los estudios de Chapagai et al (2021) quienes informaron que la formación de grupos carboxilo fue más favorable a un pH 10 y Fonseca et al. (2015) quienes encontraron que a mayor concentración de cloro activo (2 g/100 g) y pH 10 existió un mayor contenido de carboxilos. Esto se debe a factores como la procedencia del almidón, la estructura de los gránulos de almidón, el agente oxidante y las condiciones de oxidación (concentración del agente oxidante, pH y tiempo de reacción).

Por otra parte la formación de grupos carboxilo en las moléculas de almidón oxidado dificultaría la reasociación de la cadena, lo que resultaría en una menor tendencia a la retrogradación (Kuakpetoon y Wang, 2006), favoreciendo así la aplicación del almidón oxidado en productos que se almacenen a bajas temperaturas.

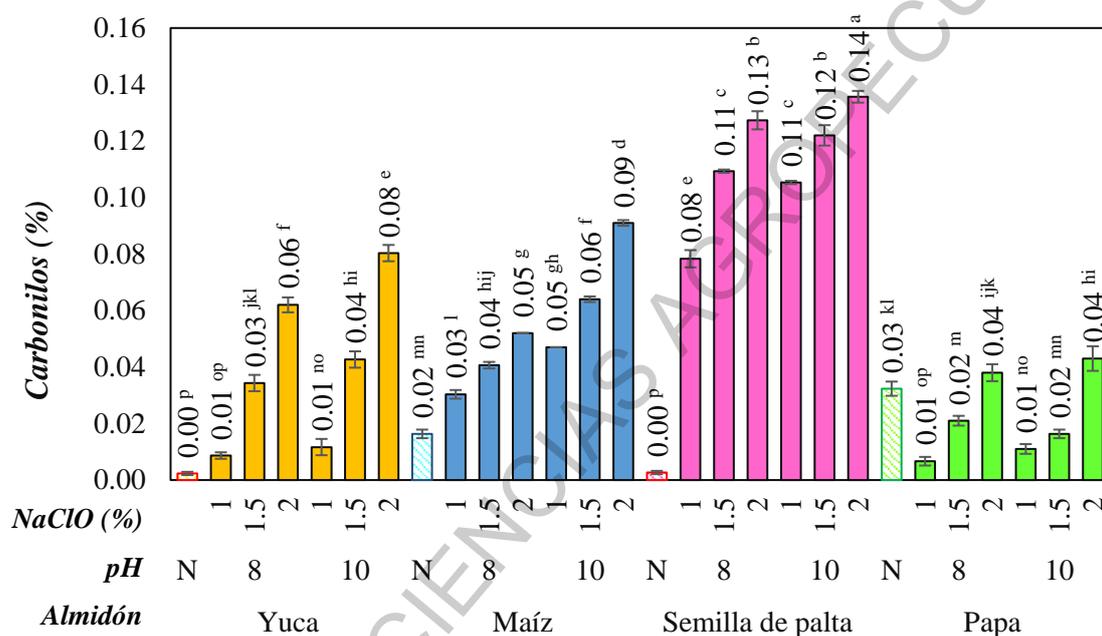
3.1.2. Contenido de Carbonilos

En la figura 3 se aprecia que al aumentar la concentración de hipoclorito de sodio y el pH de la suspensión de almidón, el contenido de carbonilos presentó tendencia a aumentar, siendo más notorio en el almidón oxidado de semilla de palta y menor en el de papa. Los valores del contenido de carbonilos en muestras de AYO, AMO, ASPO y APO, se encontraron en el rango de 0.01% (T1: AY; Ph 8; 1%) a 0.08% (T6: AY; pH 10; 2%), 0.03% (T7: AM; pH 8; 1%) a 0.09% (T12: AM; pH 10; 2%), 0.08% (T13: ASP; pH 8; 1%) a 0.14% (T18: ASP; pH 10; 2%), 0.01% (T19: AP; pH 8; 1%) a 0.04% (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente. Estos resultados fueron similares a los reportados por Sangseethong et al.(2010) quienes obtuvieron valores de 0.01% a 0.10% de grupos carbonilos para AYO (0.3% hipoclorito de sodio), Huaxi et al.(2011) con valores de 0.09% de carbonilos para AMO (2.5% de hipoclorito de sodio y pH 8.5), Palavecino et al.(2020) con valores de 0.09% a 0.15% de grupos carbonilos para semilla de tamarindo (1% a 1.5% de hipoclorito de sodio). Mientras que, Fonseca et al.(2015) encontró valores menores que variaron de 0.06% a 0.13% de grupos carbonilos para APO (0.5% a 1.5% de

hipoclorito de sodio). Estas diferencias pueden deberse a que los enlaces de hidrógeno influyen en la integridad de los granos durante la oxidación (Castanha et al., 2017).

Figura 3

Contenido de carbonilos en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



Los resultados presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), procediendo así con la prueba de Tukey (Anexo 2), que mostró que el T18 (ASP; pH 10; 2% NaClO) presentó mayor contenido de carbonilos (0.14%) y en menor cuantía los nativos de semilla de palta y yuca (0.00%). Según Richardson y Gorton (2003), los efectos significativos en el contenido de carbonilo se debe a la fragmentación molecular del almidón durante el tratamiento oxidativo, mientras que Bragd et al. (2000), sugirieron que la presencia de lípidos y proteínas en diferentes cantidades en varios almidones podría afectar las condiciones de reacción para la formación selectiva de grupos carbonilo. Por otra parte Sangseethong et al. (2010) mencionaron que el almidón oxidado con hipoclorito de sodio a condiciones básicas, tiende a producir mayor cantidad de carboxilos que carbonilos; sin embargo

con peróxido de hidrógeno, tiende a producir contenidos más altos de carbonilo y más bajos de carboxilo.

3.1.3. Amilosa y amilopectina

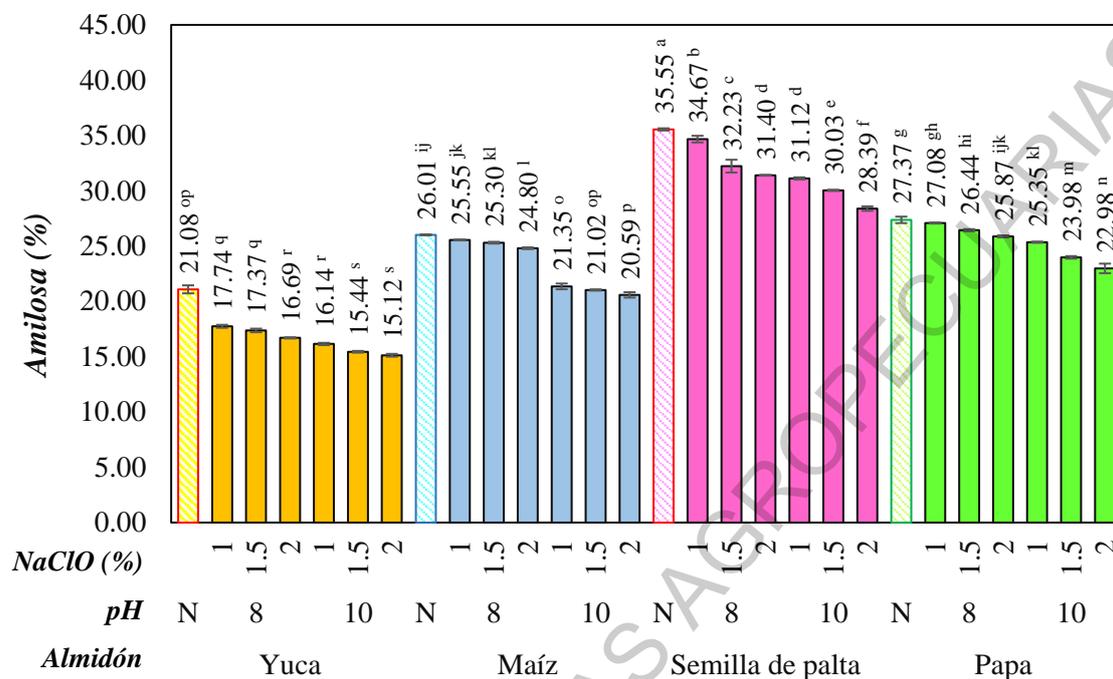
Los gránulos de almidón están formados por amilosa y amilopectina. La cantidad de amilosa en el almidón tiene un impacto significativo en sus propiedades físicas y químicas, como la reología, la retrogradación y la gelatinización (Baik y Lee, 2003). Por lo tanto, estudiar el contenido de amilosa del almidón es crucial para comprender las propiedades de AY, AM, ASP, AP; con sus respectivas oxidaciones.

En la figura 4 se observa que al aumentar la concentración de hipoclorito de sodio y el pH de la suspensión de almidón, el porcentaje de amilosa disminúa. Los valores en los almidones oxidados de AYO, AMO, ASP y APO se encontraron en el rango de 17.74% (T1: AY; pH 8; 1%) a 15.12% (T6: AY; pH 10; 2%), 26.01% (T7: AM; pH 8; 1%) a 20.59% (T12: AM; pH 10; 2%), 34.67% (T13: ASP; pH 8; 1%) a 28.39% (T18: ASP; pH 10; 2%), 27.08% (T19: AP; pH 8; 1%) a 22.98% (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente.

Los resultados fueron mayores a lo reportados por Sukhija et al. (2016) quienes obtuvieron valores de 14.07% a 10.06% en contenido de amilosa para AYO (2.5% de hipoclorito de sodio y pH 7.5 a 9.5), Wang (2003) con valores de 21.3% a 15.2% de amilosa para AMO (1% de hipoclorito de sodio y pH 9.5), Palavecino et al.(2020) con valores de 11.5% a 8.96% de amilosa para semilla de tamarindo (1% a 4% de hipoclorito de sodio) y Forssell et al. (1995) con valores de 21% a 18% de contenido de amilosa para APO (1% a 2% de hipoclorito de sodio).

Figura 4

Contenido de amilosa en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



Los resultados presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), continuando así con la prueba de Tukey (Anexo 3), la cual indicó que el almidón nativo de semilla de palta presentó mayor contenido de amilosa (35.55%), seguido del T13 (ASP; pH 8; 1% de NaClO) con un valor de 34.67%; en donde se puede notar que la amilosa disminuye según el aumento de la concentración de hipoclorito de sodio y el pH de la suspensión de almidón. Esta relación concuerda con la investigaciones de Chávez-Murillo et al. (2008) que informaron que según el aumento en el nivel de oxidación y pH, disminuye el contenido de amilosa y Kuakpetoon y Wang (2006) los cuales mencionaron que a menor contenido de amilosa mayor es la producción de grupos carboxilo.

Por otra parte, menor contenido de amilosa presentó el T5 (AY; pH 10; 1.5% de NaClO) y T6 (AY, pH 10, 2% de NaClO), con valores de 15.44% y 15.12%, respectivamente; esto puede deberse a la estructura lineal y la disposición aleatoria de la amilosa en este almidón, el cual la hacen más susceptible a la degradación oxidativa (Kaur y Bhullar, 2016), también se debería a que la oxidación promueve la despolimerización de las moléculas de amilosa y amilopectina del almidón, lo que disminuye la viscosidad y la retrogradación. Los radicales carboxilo y carbonilo

son más grandes que los hidroxilos, aumentando el espacio entre las cadenas de amilosa, y esto evita la aproximación de las moléculas, impidiendo la retrogradación (Dias et al., 2011).

3.2. Propiedades Funcionales

3.2.1. Poder de Hinchamiento

3.2.1.1. Poder de Hinchamiento a 60 °C

El poder de hinchamiento refleja la capacidad que tiene el almidón para hidratarse bajo condiciones específicas (Fonseca et al., 2015), debido a que cuando al almidón se le somete a un aumento de temperatura en exceso de agua, la estructura cristalina se transforma gracias al rompimiento de los enlaces de hidrógeno, y las moléculas de agua se unen por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilo presentes en las cadenas de amilosa y amilopectina (Peña Carrasco, 2017).

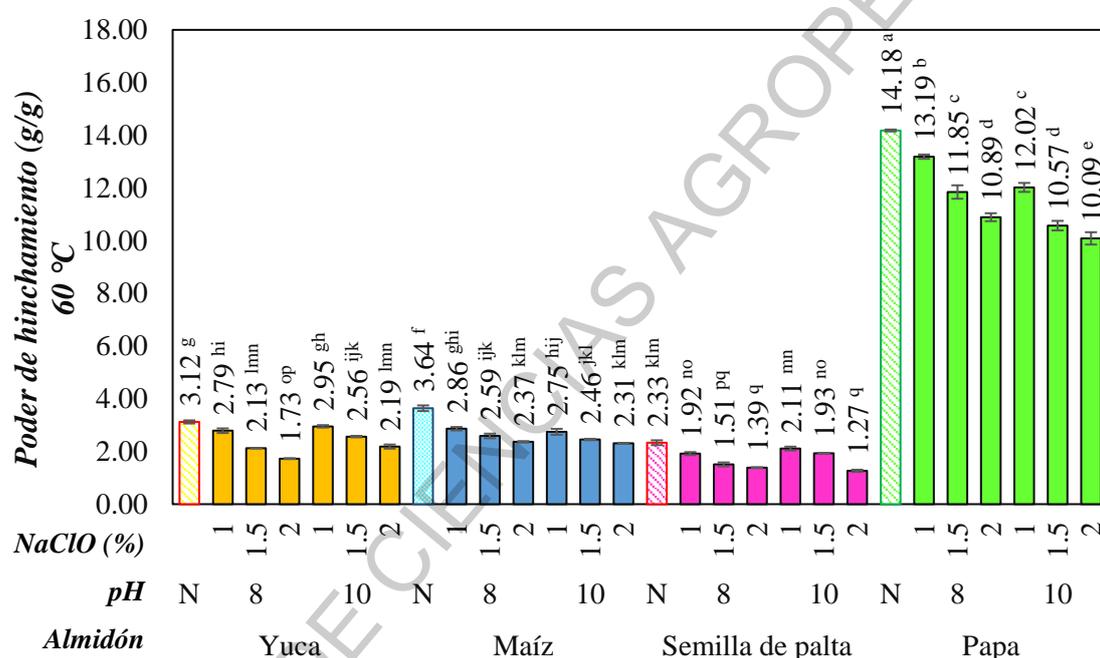
Los valores del poder de hinchamiento a 60 °C en los almidones modificados de AYO, AMO, ASP y APO se encontraron en el rango de 2.79 g/g (T1: AY; pH 8; 1%) a 2.19 g/g (T6: AY; pH 10; 2%), 2.86 g/g (T7: AM; pH 8; 1%) a 2.31 g/g (T12: AM; pH 10; 2%), 1.92 g/g (T13: ASP; pH 8; 1%) a 1.27 g/g (T18: ASP; pH 10; 2%), 13.19 g/g (T19: AP; pH 8; 1%) a 10.09 g/g (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente.

En la figura 5 se observa que los almidones oxidados de papa presentaron los mayores valores que variaron de 10.09 a 13.19 g de gel/g de muestra, los cuales fueron cercanos a los reportados por Cuba-Canales (2021) que va desde 10.65 a 11.50 g de gel/g de muestra en almidones de papas amargas y tuntas, también valor próximo con el de Pozo y Lechón (2022) que fue de 12.30 g gel/g de muestra y con el de Martínez et al. (2015) que variaron entre 11.1–14.4 g gel/g de almidones de 9 variedades de papa. El elevado poder de hinchamiento presentado en el almidón de papa se debe probablemente a que en las moléculas de amilopectina se encuentran con la presencia de varios grupos fosfatos, puesto que la repulsión entre las cadenas adyacentes de los grupos fosfatos elevan la hidratación según el grado de disminución de puentes dentro del dominio cristalino. Además el poder de hinchamiento es mayor en función a los gránulos de menor tamaño en función de su mayor área superficial

específica (Singh et al., 2008). Por otra parte, los valores de los almidones nativos de yuca, maíz y semilla de palta (3.12, 3.64 y 2.33 g/g, respectivamente), fueron menores. Esto se debe gracias al origen, la composición, la fórmula y las proteínas presentes en los gránulos de cada tipo de almidón trabajado.

Figura 5

Poder de hinchamiento evaluado a 60 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



Los resultados arrojados en la prueba de Tukey, indicados en la tabla 9 (Anexo 4) muestran que el AP presentó mayor poder de hinchamiento a 60 °C (14.18 g/g), seguido de la misma fuente de almidón en el T19 (AP; pH 8; 1% de NaClO) (13.19 g/g); y menor poder de hinchamiento con la fuente de almidón de semilla de palta con los tratamientos de pH de la suspensión de almidón de 8 y 10, y concentración de hipoclorito de sodio al 2%, con valores de 1.39 y 1.27 g/g, respectivamente. Estos resultados se pueden deber a que el poder de hinchamiento está muy ligado al contenido de amilosa, que es un inhibidor y diluyente del hinchamiento, tomándolo como un factor primordial para la comprensión de transiciones de fases entre diferentes muestras (Robles, 2012). Un elevado

contenido de amilosa genera un bajo poder de hinchamiento, por lo que se va a requerir de mayor temperatura para que se logren romper los enlaces de hidrógeno en las áreas de las cadenas, induciendo un proceso irreversible, atribuyendo así, a la absorción progresiva de los gránulos de almidón por la acción del agua. Cabe resaltar que el poder de hinchamiento también es influenciado por la temperatura de gelatinización, tamaño del gránulo y la organización supramolecular de los componentes del almidón (Contreras-Pérez et al., 2018).

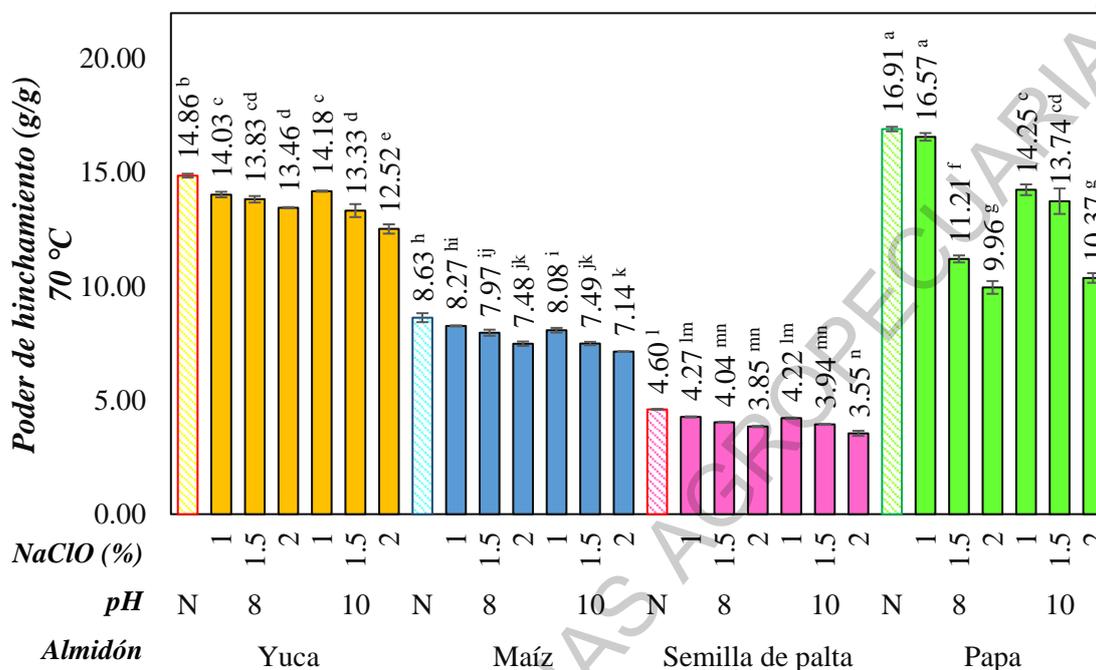
3.2.1.2. Poder de Hinchamiento a 70 °C

Los valores del poder de hinchamiento a 70°C en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 14.03 g/g (T1: AY; pH 8; 1%) a 12.52 g/g (T6: AY; pH 10; 2%), 8.27 g/g (T7: AM; pH 8; 1%) a 7.14 g/g (T12: AM; pH 10; 2%), 4.27 g/g (T13: ASP; pH 8; 1%) a 3.55 g/g (T18: ASP; pH 10; 2%), 16.57 g/g (T19: AP; pH 8; 1%) a 10.37 g/g (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente.

Para el poder de hinchamiento a 70 °C se observa que en la figura 6 que el AP presentó mayor valor (16.91 g/g). Los valores del almidón de palta nativo y oxidados fueron los de menor valor (4.60 a 3.55 g/g, respectivamente), siendo estos resultados cercanos, según la misma fuente de almidón (semilla de palta), por los estudios de Santos et al. (2017), con un valor de 5.9 g/g en almidón nativo; Mantilla y Zavala (2018) con un aproximado de 6.2 g/g en almidón nativo de semilla de palta variedad Hass y por Cornelia y Christianti (2018), con valores de 6.32 g/g de almidón nativo y 4.12 g/g de almidón entrecruzado con tripolifosfato de sodio. Santos et al. (2017), describieron que el bajo poder de hinchamiento en almidón de semilla de palta puede atribuirse a la presencia de un elevado número de regiones cristalinas constituidas por la asociación entre extensas cadenas de amilosa y amilopectina.

Figura 6

Poder de hinchamiento evaluado a 70 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



La prueba de Tukey mostrada en la tabla 11 (Anexo 5), indicó que el almidón nativo de papa presentó mayor poder de hinchamiento a 70 °C (16.91 g/g) seguido de la misma fuente de almidón con el T19 (AP; pH 8; 1%) (16.57 g/g). Estos valores fueron cercanos a los reportados por Zhou et al. (2016), en su estudio de APO inducido por hipoclorito de sodio en concentraciones que fueron desde 0.1 a 4 % de cloro activo, determinando valores, que variaron desde 16-26 g/g. Por otra parte, en menor cuantía el T24 (AP; pH 10; 2%) con valor de 3.55 g/g.

3.2.1.3. Poder de Hinchamiento a 80 °C

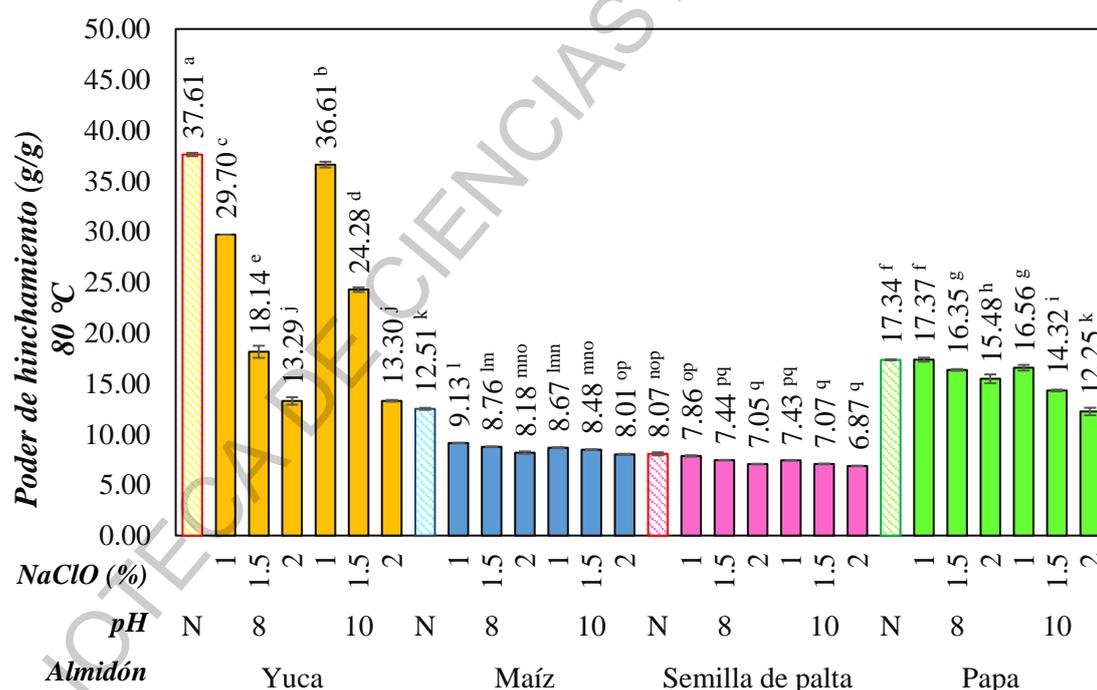
Los valores del poder de hinchamiento a 80°C en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 29.70 g/g (T1: AY; pH 8; 1%) a 13.30 g/g (T6: AY; pH 10; 2%), 9.13 g/g (T7: AM; pH 8; 1%) a 8.01 g/g (T12: AM; pH 10; 2%), 7.86 g/g (T13: ASP; pH 8; 1%) a 6.87 g/g (T18: ASP; pH 10; 2%), 17.37 g/g (T19: AP; pH 8; 1%) a 12.25 g/g (T24: AP; pH 10; 2%), para almidón oxidado, respectivamente.

En la figura 7, para el poder de hinchamiento a 80 °C se observa que el

almidón nativo de yuca presentó mayor valor (37.61 g/g) y menores valores los almidones nativos de papa, maíz y semilla de palta (17.34, 12.51 y 8.07 g/g, respectivamente). Al aumentar la concentración de hipoclorito de sodio y el pH de la suspensión de almidón el poder de hinchamiento a 80 °C presentó tendencia a disminuir, esta tendencia también lo detectaron Zhou et al. (2016) en su estudio de oxidación de almidón de papa con hipoclorito de sodio a pH 10, sugiriendo que la causa de la disminución del poder de hinchamiento en base al aumento de la concentración de reactivo a un medio alcalino (pH 10) en la reacción de oxidación, se debió a la desintegración en la estructura interna de los gránulos del almidón durante el proceso de oxidación.

Figura 7

Poder de hinchamiento evaluado a 80 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



La prueba de Tukey presentada en la tabla 13 (Anexo 6), indicó que el almidón nativo de yuca presentó mayor poder de hinchamiento a 80 °C (37.61 g/g) seguido de la misma fuente de almidón con el tratamiento T4 (AY; pH 10, 1%) (36.61 g/g); y en menor cuantía la fuente de almidón de semilla de palta con los tratamientos T15 (ASP; pH 8, 2%), T17 (ASP; pH 10, 1.5%) y T18 (ASP; pH 10,

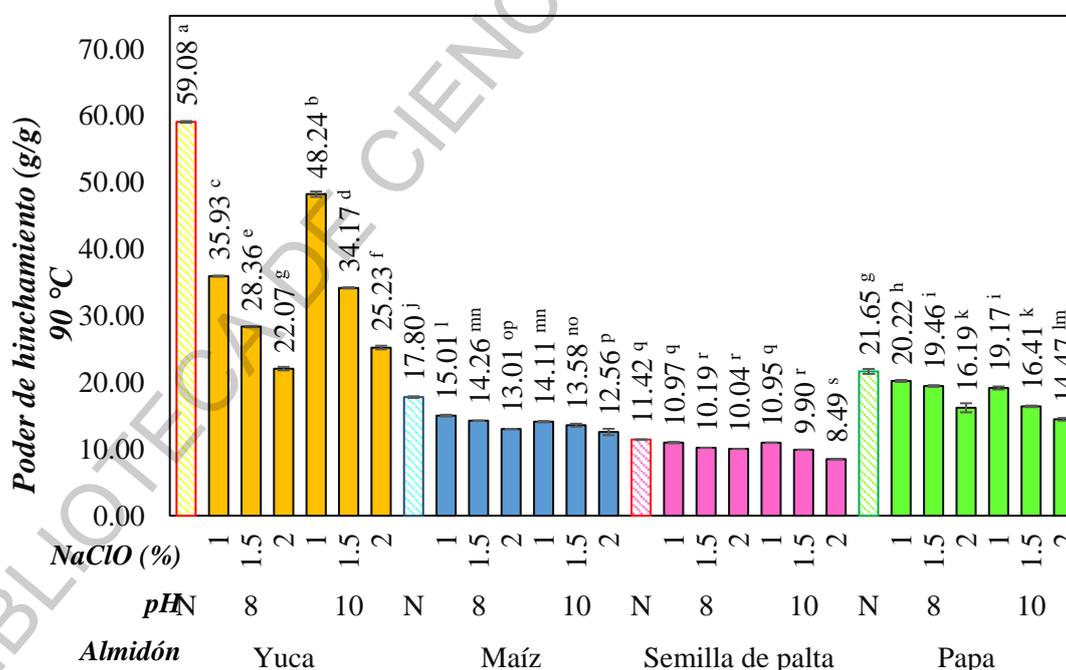
2%) con valores de 7.07, 7.05 y 6.87 g/g, respectivamente, estos valores son próximos a los evaluados por Santos et al. (2017), determinando un valor de poder de hinchamiento a 80°C de 9.6 (g/g) en muestra de almidón aislado a partir de semilla de palta.

3.2.1.4. Poder de Hinchamiento a 90 °C

Los valores del poder de hinchamiento a 90°C en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 35.93 g/g (T1: AY; pH 8; 1%) a 25.23 g/g (T6: AY; pH 10; 2%), 15.01 g/g (T7: AM; pH 8; 1%) a 12.56 g/g (T12: AM; pH 10; 2%), 10.97 g/g (T13: ASP; pH 8; 1%) a 8.49 g/g (T18: ASP; pH 10; 2%), 20.22 g/g (T19: AP; pH 8; 1%) a 14.47 g/g (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente.

Figura 8

Poder de hinchamiento evaluado a 90 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



La prueba de Tukey se puede apreciar en la tabla 15 (Anexo 7), la cual indico que el almidón nativo de yuca presentó mayor poder de hinchamiento a 90 °C (59.08 g/g) seguido de la misma fuente de almidón con el T10 (AM; pH 10;

1%) (48.24 g/g); y en menor cuantía la fuente de almidón de semilla de palta con el tratamiento 18 (ASP; pH 10; 2% de NaClO) con valor de 8.49 g/g. Los valores menores referentes al almidón de semilla de palta, fueron menores a los reportados por Naknaen et al. (2017) en almidón oxidado de semilla de yaca con hipoclorito de sodio, variando de 10-15%.

En los resultados presentados con respecto al poder de hinchamiento evaluado a temperaturas de 60, 70, 80 y 90 °C se observó que esta propiedad aumentó según la temperatura de calentamiento se elevaba, pero que la oxidación y el pH hizo que disminuyera significativamente a medida que la concentración de cloro activo y el pH incrementaba de 1 a 2 g cloro activo/100 g de almidón nativo y de 8 y 10, respectivamente. Kaur y Bhullar (2016), en su estudio de oxidación en almidón de semillas de tamarindo con hipoclorito de sodio hallaron que el poder de hinchamiento en almidón después de ser oxidado era menor a comparación del almidón nativo, los autores mencionaron que la disminución del poder de hinchamiento fue ocasionada por la oxidación, ya que está es una reacción de despolimerización y a un medio alcalino (pH 9-10). Además, también detallaron que la reducción en el poder de hinchamiento luego de la oxidación también se puede atribuir a la desintegración estructural al interior de los gránulos del almidón durante el proceso de modificación, lo que genera una menor capacidad para retener agua. Naknaen et al. (2017), informaron el mismo fenómeno en sus resultados de poder de hinchamiento en almidón oxidado de semilla de yaca. La oxidación utilizando al hipoclorito de sodio como reactivo es muy eficaz para la debilitación de la estructura interna de los gránulos de almidón, lo que resulta que el almidón sea más soluble y genere una disminución en el poder de hinchamiento (Adebowale et al., 2002).

3.2.2. Solubilidad

3.2.2.1. Solubilidad a 60°C

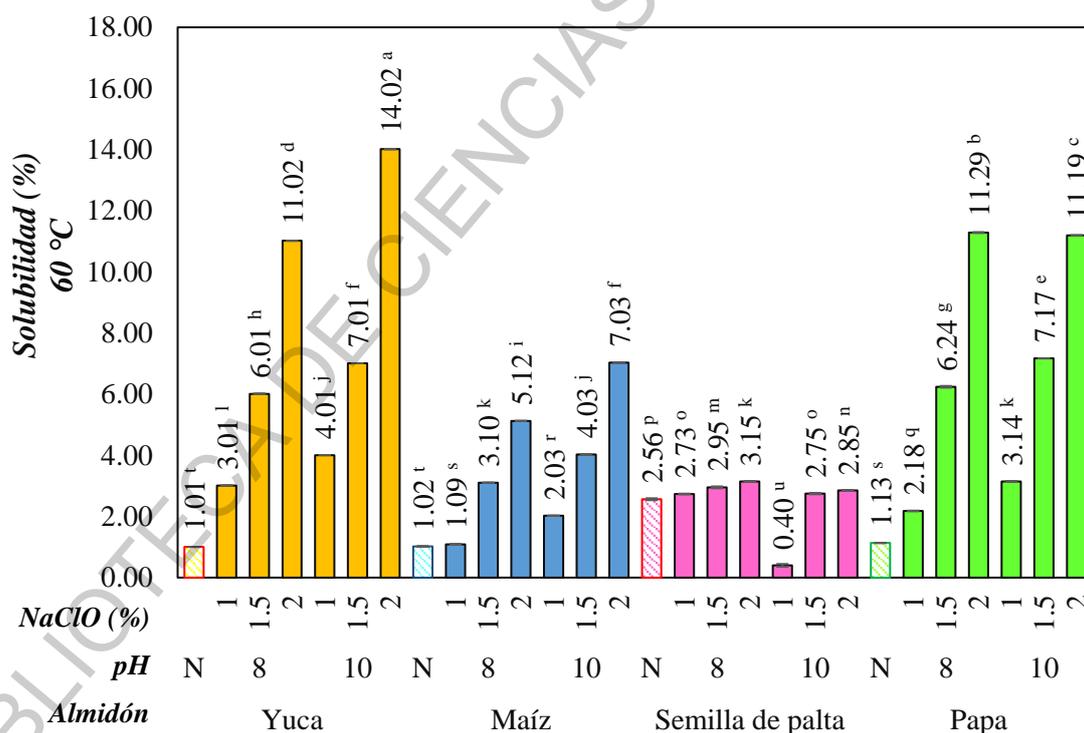
La solubilidad es un indicador del nivel de unión existente entre las cadenas de amilosa y amilopectina (Vizcarrondo et al., 2004), además a ello esta expresa el total de moléculas lixiviadas en los gránulos de almidón posterior a su hinchamiento, es decir que precisa la cantidad de carbohidratos solubles que se

mantienen en la fase de agua cuando el almidón se encuentra suspendido dentro de ella (Fonseca et al., 2015).

Los valores de solubilidad a 60°C en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 3.01% (T1: AY; pH 8; 1%) a 14.02% (T6: AY; pH 10; 2%), 1.09% (T7: AM; pH 8; 1%) a 7.03% (T12: AM; pH 10; 2%), 2.73% (T13: ASP; pH 8; 1%) a 2.85% (T18: ASP; pH 10; 2%), 2.18% (T19: AP; pH 8; 1%) a 11.19% (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente. Se observa en la figura 9 que el almidón nativo de semilla de palta presentó un valor alto de 2.56%, similar al determinado por Sánchez (2019), el cual fue de 2.79% en almidón de semilla palta variedad fuerte.

Figura 9

Solubilidad evaluada a 60 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



Para la prueba de Tukey se puede apreciar en la tabla 17 (Anexo 8), indicó que el T6 (AY, pH 10, 2% de NaClO) presentó mayor solubilidad a 60 °C (14.02%); una causa de este resultado se debe al origen botánico del almidón y su

estructura interna del almidón de yuca; mientras que presenta menor cuantía el T16 (ASP, pH 10, 1% de NaClO) con un valor de 0.40%; que va influenciado directamente por su elevado valor de amilosa en dicha fuente de almidón.

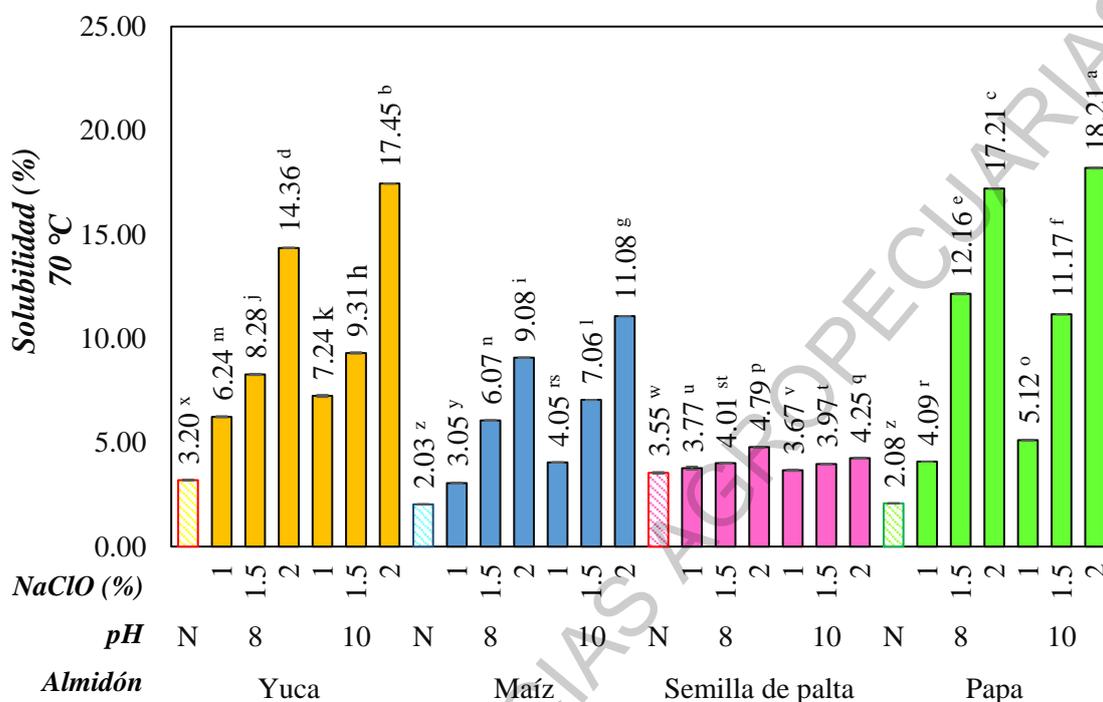
3.2.2.2. Solubilidad a 70°C

Los valores de solubilidad a 70°C en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 6.24% (T1: AY; pH 8; 1%) a 17.45% (T6: AY; pH 10; 2%), 3.05% (T7: AM; pH 8; 1%) a 11.08% (T12: AM; pH 10; 2%), 3.77% (T13: ASP; pH 8; 1%) a 4.25% (T18: ASP; pH 10; 2%), 4.09% (T19: AP; pH 8; 1%) a 18.21% (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente.

Para la solubilidad a 70 °C se observa en la figura 10 que el almidón nativo de semilla de palta presentó mayor valor (3.55%), mientras que el almidón de maíz nativo presentó el menor valor con 2.03%. Wang y Wang (2003) en su estudio de oxidación de almidón de maíz a 8 concentraciones (0.25-3%) de hipoclorito de sodio, señalaron en sus resultados que los valores de solubilidad a 70°C variaron de 3.8 a 8.5%, similares en gran escala a los determinados en el presente trabajo de investigación. Además, se deduce que al aumentar la concentración de hipoclorito de sodio y el pH de la suspensión de almidón la solubilidad a 70 °C presentó tendencia a aumentar; los valores en los almidones modificados se encontraron en el rango de 3.05 a 18.21%.

Figura 10

Solubilidad evaluada a 70 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



La prueba de Tukey que se aprecia en la tabla 19 (Anexo 9), indicó que el T24 (AP; pH 10; 2% de NaClO) presentó mayor solubilidad a 70 °C (18.21%). Zhou et al. (2016) presentaron un valor cercano (20%) en APO trabajado bajo los mismos parámetros de proceso en su modificación.

3.2.2.3. Solubilidad a 80 °C

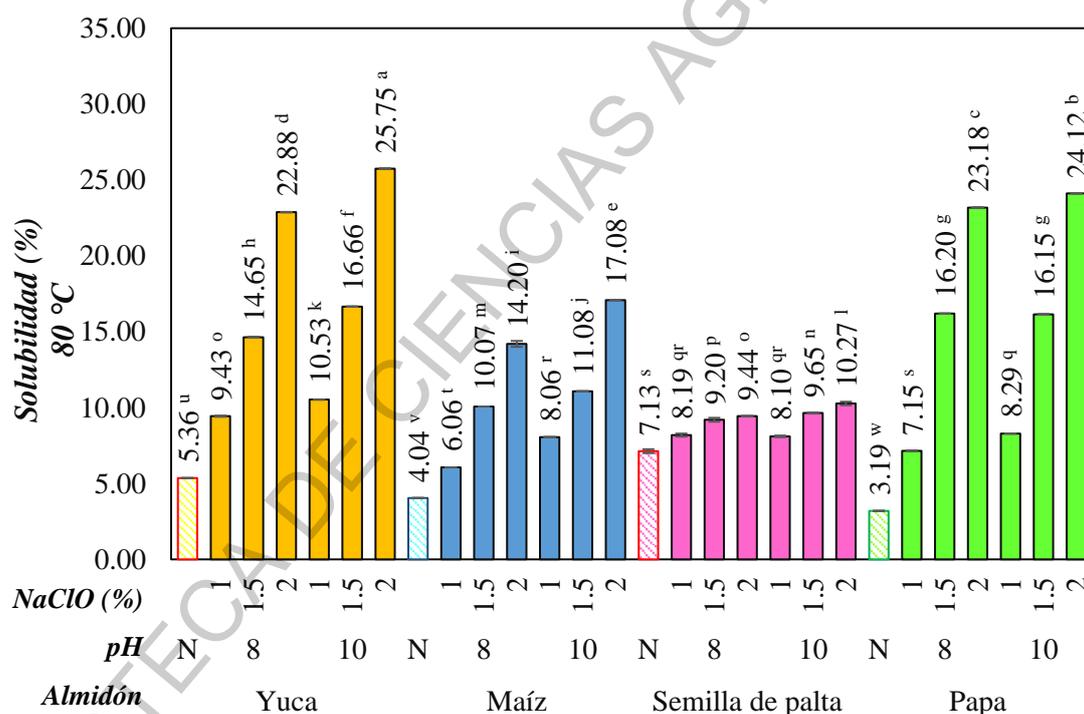
Los valores de solubilidad a 80 °C en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 9.43% (T1: AY; pH 8; 1%) a 25.75% (T6: AY; pH 10; 2%), 6.06% (T7: AM; pH 8; 1%) a 17.08% (T12: AM; pH 10; 2%), 8.19% (T13: ASP; pH 8; 1%) a 10.27% (T18: ASP; pH 10; 2%), 7.15% (T19: AP; pH 8; 1%) a 24.12% (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente.

Para la solubilidad a 80 °C se observa en los resultados presentados en la figura 11 que el ASP presentó mayor valor (7.13%) y menores valores los almidones nativos de yuca, maíz y papa (5.36, 4.04 y 3.19%, respectivamente).

Wang et al. (2022) analizaron almidón de semilla de palta obteniendo como resultado una solubilidad a 80°C de 7% y Macena et al. (2020) determinó en el mismo tipo de almidón una solubilidad de 5.2 %, valores cercanos a los encontrados en este estudio. Para Zhu et al. (2017), la exudación producida según la cantidad de amilosa que presente el almidón en sus gránulos expandidos, influyen en la solubilidad en agua. También se puede notar que los valores más altos de la solubilidad se dan en los cuatro tipos de almidones oxidados trabajados con pH 10 y a 2% de concentración de NaClO.

Figura 11

Solubilidad evaluada a 80 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



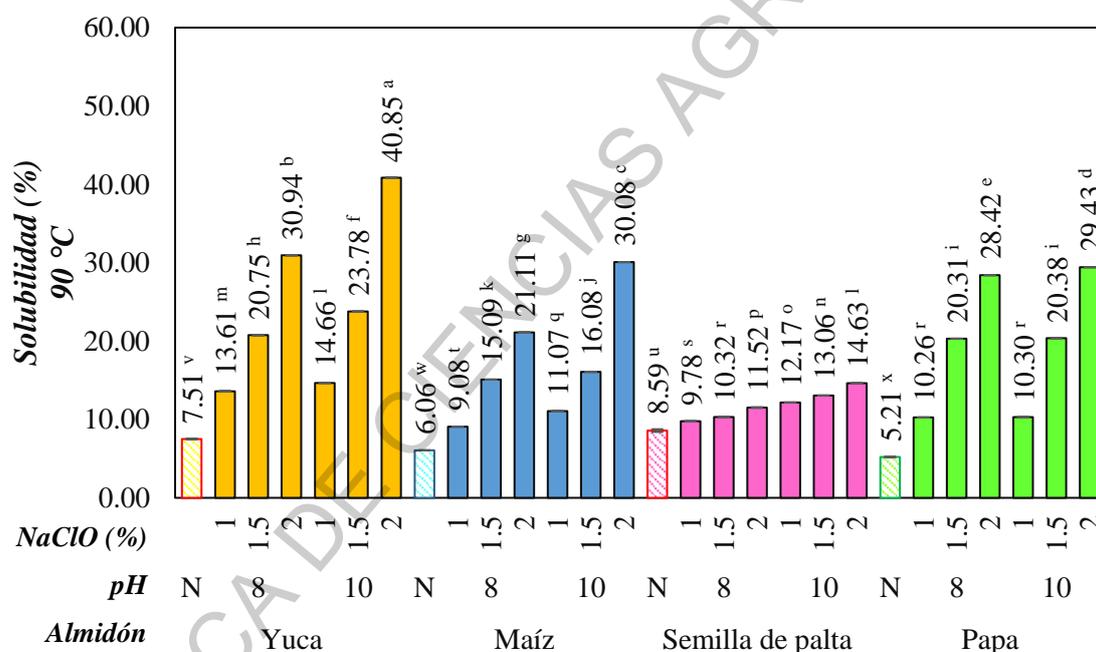
En la prueba de Tukey que se aprecia en la tabla 21 (Anexo 10), se deduce que el T6 (AY; pH 10; 2% de NaClO) presentó mayor solubilidad a 80 °C (25.75%), resultado semejante al determinado por Liu et al.(2014) con un valor de 22.12 % en AMO.

3.2.2.4. Solubilidad a 90°C

Los valores de solubilidad a 90°C en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 13.61% (T1: AY; pH 8; 1%) a 40.85% (T6: AY; pH 10; 2%), 9.08% (T7: AM; pH 8; 1%) a 30.08% (T12: AM; pH 10; 2%), 9.78% (T13: ASP; pH 8; 1%) a 14.63% (T18: ASP; pH 10; 2%), 10.02% (T19: AP; pH 8; 1%) a 29.43% (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente.

Figura 12

Solubilidad evaluada a 90 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



La prueba de Tukey que se aprecia en la tabla 23 (Anexo 11), indicó que el T6 (AY; pH 10, 2% de NaClO) presentó mayor solubilidad a 90 °C (40.85%), valor cercano al encontrado por Wang y Wang (2003) en su almidón oxidado con hipoclorito de sodio al 2% con una solubilidad a 90°C de 49.4%.

De la figura 5, 6, 7 y 8 se pudo notar que la solubilidad de las cuatro temperaturas que presentaba el ASP fue mayor en comparación a la solubilidad de los almidones nativos de papa, yuca y maíz. De acuerdo con Li y Yeh (2001) la mayor solubilidad en el almidón de semilla de palta se puede deber debido a las

discrepancias estructurales, como las distribuciones de longitud y la estructura de la cadena. Para Gutkoski et al. (2003) este fenómeno se puede deber a la degradación que sufre los componentes de la fibra del almidón, es decir la suma de las consecuencias de dextrinización y gelatinización, dando como resultado la solubilización. Pero, los valores encontrados de solubilidad en esta investigación, fueron menores a los reportados Naknaen et al. (2017), en almidón oxidado de semilla de yaca con valores que variaron de 9-20%.

En los resultados del análisis de solubilidad a cuatro temperaturas (60, 70, 80, 90 °C) obtenidas en el presente estudio de investigación, se observó que la solubilidad aumentó a medida que se incrementaba la temperatura, el grado de oxidación y el pH, esta relación coincide con investigaciones previas como las de Naknaen et al. (2017) en almidón oxidado de semilla de yaca con NaClO, Kaur y Bhullar (2016) en almidón oxidado de semilla de tamarindo con NaClO, Liu et al. (2014) en almidón oxidado de maíz con peróxido de hidrogeno y Zhou et al. (2016) en almidón de papa oxidado con NaClO. El aumento de la solubilidad luego de la oxidación es consecuencia de la desintegración y el debilitamiento estructural del almidón (Chong et al., 2013). Lawal y Adebawale (2005) mencionaron que el aumento de la solubilidad posiblemente estuvo influenciado por la lixiviación en las regiones amorfas de los gránulos de almidón, producto de la modificación.

3.3. Propiedades Reológicas

3.3.1. Comportamiento del Flujo Modelo Herschel Bulkley

Las propiedades reológicas de almidón se ven afectadas por muchos factores, como la fuente de almidón, la concentración de amilosa/amilopectina, la temperatura de la pasta, la concentración de almidón y el pH (Choi y Yoo, 2009). Las curvas de flujo de los geles de almidón se obtuvieron a partir del esfuerzo cortante frente a la velocidad de cizalla, a 20°C. El comportamiento de flujo de cada gel de almidón se ajustó al modelo de Herschel Bulkley, obteniendo elevados coeficientes de determinación ($R^2:0.99$) y los parámetros determinados que se utilizan para describir las curvas de flujo (ver anexo 12).

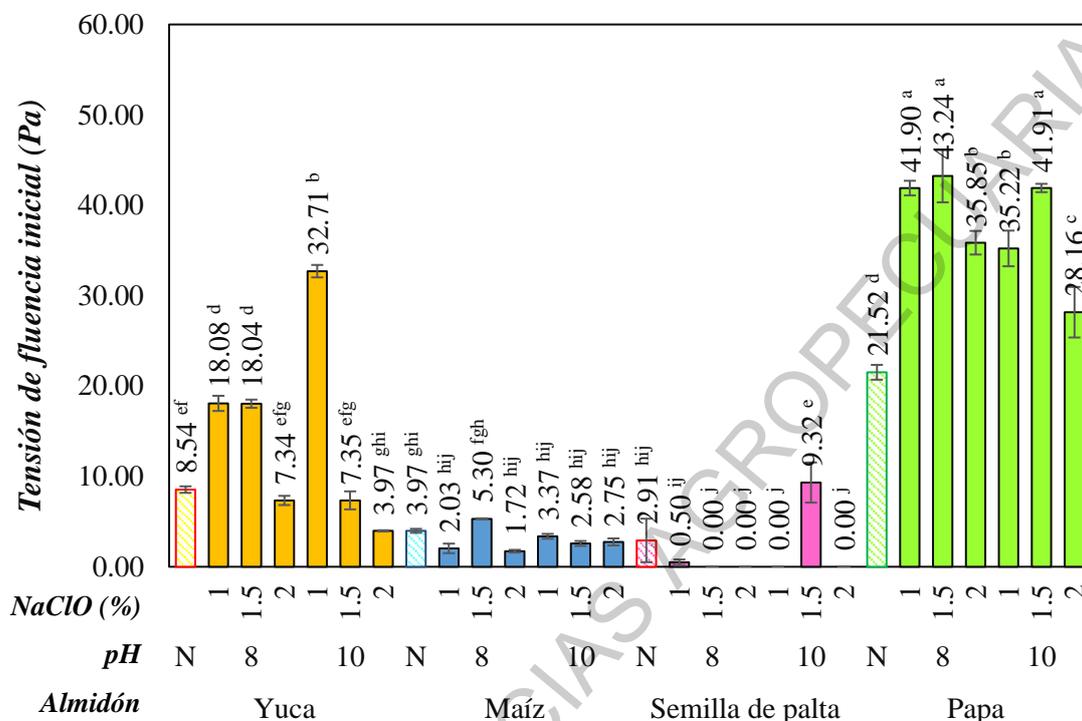
3.3.1.1. Tensión de fluencia

Para la tensión de fluencia se observa en la figura 13 que los almidones nativos de papa y yuca presentaron mayor valor de tensión de fluencia (21.52 y 8.54 Pa, respectivamente), lo que se observa que tuvo una resistencia inicial superior a fluir y es, por lo tanto, más estructurado o rígido. Estos valores fueron mayores a los reportados por Sanchez-González et al. (2019) para almidón de cuatro variedades de papa: colparina (4.124 Pa), huayro (2.175 Pa), canchas (4.141 Pa) y yungay (5.536 Pa) y también a lo reportado por Nwokocha et al. (2009) en almidón de yuca (4.02 Pa), por el contrario de semilla de palta (2.91 Pa) y maíz (3.97 Pa), estos valores fueron menores a lo reportado por De Dios-Avila et al. (2022) para almidón de semilla de palta (7.43 Pa) y Nazarian-Firouzabadi et al. (2012) en almidón de maíz (8.62 Pa).

Los valores de tensión de fluencia en AYO, AMO, ASPO Y APO se encontraron en el rango de 3.97 Pa (T6: AY; pH 10; 2%) a 32.71 Pa (T4: AY; pH 10; 1%), 1.72 Pa (T9: AM; pH 8; 2%) a 5.30 Pa (T8: AM; pH 8; 1.5%), 0 Pa (T14, T15, T16, T18) a 9.32 Pa (T17: ASP; pH 10; 1.5%), 28.16 Pa (T24: AP; pH 10; 2%) a 43.24 Pa (T20: AP; pH 8; 1.5%), respectivamente. Destacando en mayor cuantía el almidón modificado de papa (fluctuando entre 28.16 Pa a 43.24 Pa) y yuca (fluctuando entre 3.97 Pa a 32.71 Pa); estos resultados son mayores a lo reportados por Sanyaolu et al. (2022) quienes obtuvieron valor de 12.67 Pa y 7.437 Pa para APO (1% y 6% de hipoclorito de sodio con pH 9 y 9.5, respectivamente) y por Czaikoski et al. (2020) con valores de 3.54 Pa a 31.92 Pa para AYO (1% a 2% de hipoclorito de sodio), sin embargo fueron menores a Sadowska (2006) con valor de 85.67 Pa para APO (8% de hipoclorito de sodio), caso contrario el observado en los almidones modificados de maíz (1.72 a 5.30 Pa) y semilla de palta (0.00 a 9.32 Pa).

Figura 13

Tensión de fluencia en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



Los resultados presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), por lo cual se procedió a realizar la prueba de Tukey (Anexo 13), la cual indicó que T19 (AP; pH 8; 1% de NaClO), T20 (AP; pH 8; 1.5% de NaClO), T23 (AP; pH 10; 1.5% de NaClO); presentaron mayor tensión de fluencia con valores de 43.24, 41.91 y 41.90 Pa, respectivamente; y en menor cuantía los T14 (ASP; PH 8; 1.5% de NaClO), T15 (ASP; PH8; 2% de NaClO), T16 (ASP; PH 10; 1% de NaClO) y T18 (ASP; pH 10; 2%) los cuales no presentaron tensión de fluencia (0.00 Pa). Según Punia et al (2020) esto se debería a muchos factores, incluida la estructura química del almidón, la concentración de almidón, las condiciones de pegado (p. ej., temperatura, velocidad de corte y velocidad de calentamiento) y las condiciones de almacenamiento (temperatura y tiempo).

Según Chandla et al (2020) también se debe que al oxidar el almidón su solubilidad aumenta y por ende la tensión de fluencia aumenta. Por tal efecto, los almidones oxidados jugarían un papel importante para su aplicación en el procesamiento de alimentos como aditivos en preparación de sopas, salsas,

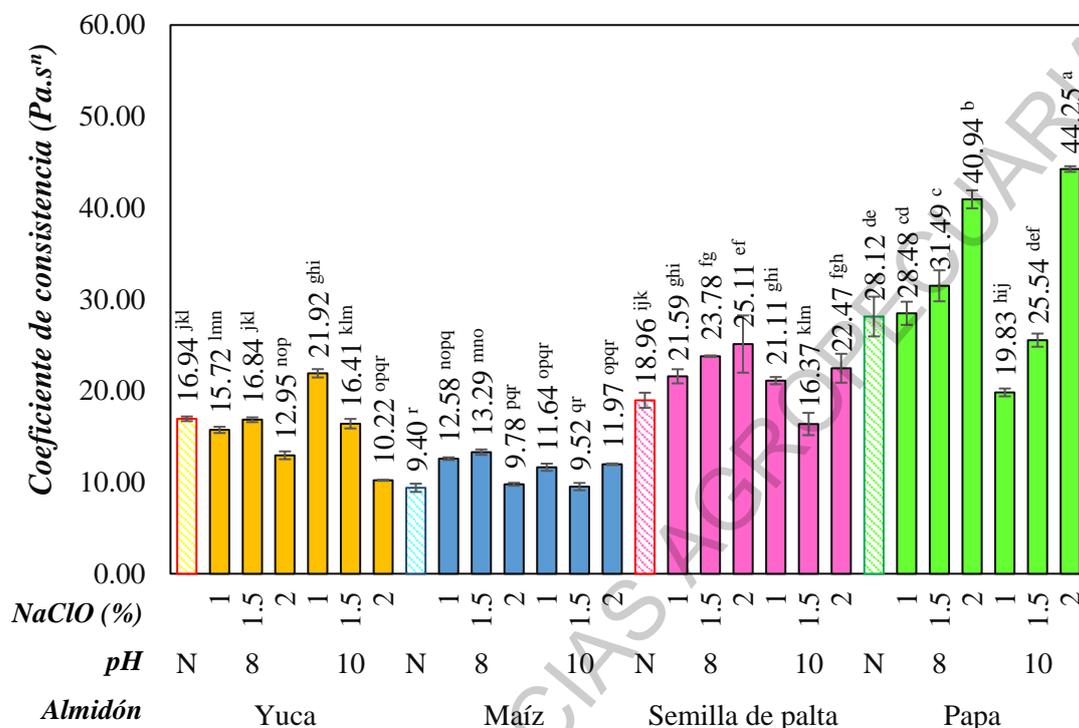
productos horneados, productos lácteos y fideos, así como en varios productos no alimentarios (Punia et al., 2020b).

3.3.1.2. Coeficiente de consistencia

En la figura 14 se observa que con respecto a los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO Y APO se encontraron en el rango de 10.22 Pa.sⁿ (T6: AY, pH 10; 2%) a 21.92 Pa.sⁿ (T4: AY, pH 10; 1%), 9.52 Pa.sⁿ (T11: AM; pH 10; 1.5%) a 13.29 Pa.sⁿ (T8: AM; pH 8; 1.5%), 16.37 Pa.sⁿ (T17: ASP; pH 10; 1.5%) a 25.11 Pa.sⁿ (T15: ASP; pH 8; 2%), 19.83 Pa.sⁿ (T22: AP; pH 10; 1% a 44.25 Pa.sⁿ (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente. Destacando en mayor cuantía al APO (fluctuando entre 19.83 a 44.25 Pa.sⁿ) y ASPO (fluctuando entre 16.37 a 25.11 Pa.sⁿ), estos resultados son mayores a lo reportado por Sikora et al. (2017) en APO (0.01% a 0.15% de goma xantana) con valor de 4.44 Pa.sⁿ y 13.05 Pa.sⁿ, sin embargo son similares a lo reportado por Qu et al. (2021) en ASPO (4 a 8 mmol/g de hipoclorito de sodio) con valor de 13.17 a 25.81 Pa.sⁿ. Caso contrario sucede en AMO (fluctuando entre 9.52 a 13.29 Pa.sⁿ) y AYO (fluctuando entre 10.22 a 21.92 Pa.sⁿ), los cuales presentaron mayores resultados reportados por Chan et al. (2011) los cuales obtuvieron un valor de AMO con ozono (fluctuando entre 3.42 a 4.72 Pa.sⁿ) y Guleria y Yadav (2022) con un valor de 2.12 Pa.sⁿ en AYO (1% de hipoclorito de sodio) por eso el coeficiente de consistencia depende en gran medida del tipo de almidón que se oxida (Adamczyk et al., 2021).

Figura 14

Coeficiente de consistencia en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



Los resultados presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), por lo cual la prueba de Tukey (Anexo 14) indicó que T24 (AP; pH 10; 2% de NaClO) presentó mayor coeficiente de consistencia (44.25 Pa.sⁿ), este resultado es mayor al almidón oxidado de papa (7.804 Pa.sⁿ) reportado por Sadowska (2006). Según Lewandowicz et al. (2022), estos valores altos en el coeficiente de consistencia para los almidones oxidados se deberían al resultado de una mayor concentración de almidón y al efecto de gelificación, que se observan con bastante frecuencia en preparaciones modificadas mediante oxidación, también estaría determinada por el proceso de oxidación, que induce la despolimerización del almidón y aumentan la solubilidad del almidón en agua (Bustillos-Rodríguez et al., 2019), por otro lado se observó que el coeficiente de consistencia (K) variaba de acuerdo al tipo de almidón que se oxidaba (Adamczyk et al., 2021). Además De Dios-Avila et al. (2022) mencionaron que el coeficiente de consistencia está relacionado directamente al poder de hinchamiento, por ello al comparar en la figura 14 se puede ver que el AYO, AMO y ASPO disminuye.

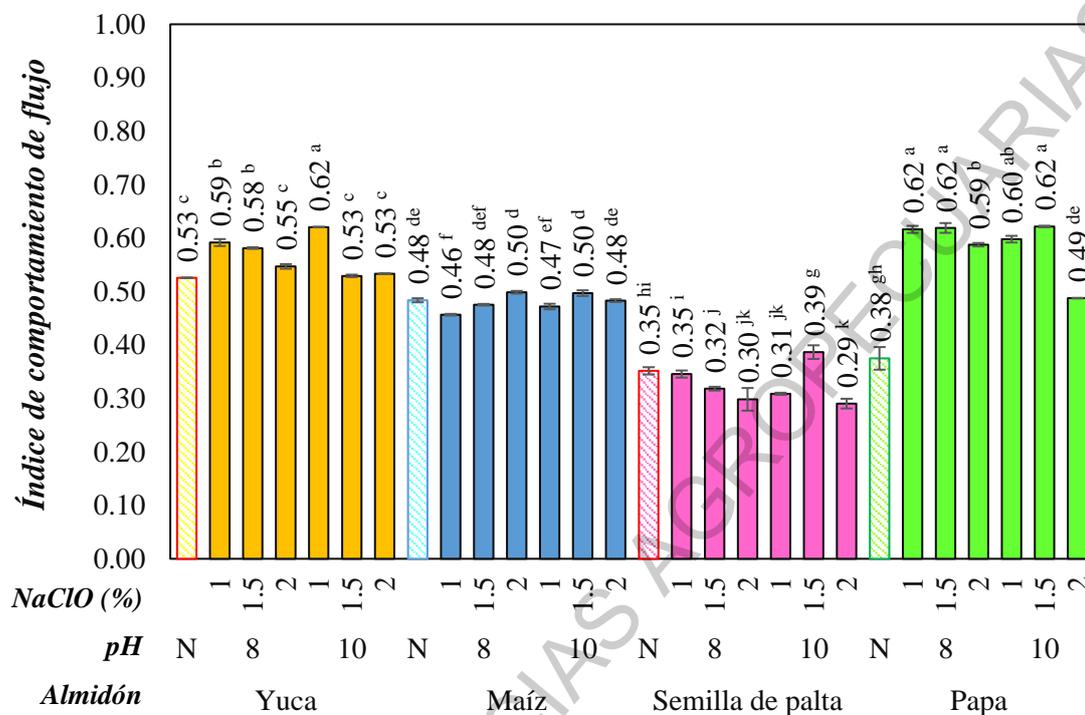
3.3.1.3. Índice de comportamiento de flujo

En la figura 15 se observa que con respecto a los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 0.53 (T5: AY; pH 10; 1.5%, T6: AY; pH 10; 2%) a 0.62 (T4: AY; pH 10; 1%), 0.46 (T7: AM; pH 8; 1%) a 0.50 (T9 AM; pH 8; 2%), T11 AM; pH 10; 1.5%), 0.29 (T18: ASP; pH 10; 2%) a 0.39 (T17: ASP; pH 10; 1.5%), 0.49 (T24: AP; pH 10; 2%) a 0.62 (T19: AP; pH 8; 1%, T20: AP; pH 8; 1.5%, T23: AP; pH 10; 1.5%), respectivamente. Destacando en mayor cuantía el APO (fluctuando entre 0.49 a 0.62) y AYO (fluctuando entre 0.53 a 0.62), valores menores a lo reportado por Makowska et al. (2022) fluctuando entre 1.13 a 1.31 en APO (1% de hipoclorito y pH de 2.5 y 7) y Agi et al. (2019) fluctuando entre 0.68 a 0.88 en AYO (2000ppm a 750ppm).

Caso contrario, el observado en AMO (fluctuando entre 0.46 a 0.50) y ASPO (fluctuando entre 0.29 a 0.39), estos resultados son similares a los encontrados por Guleria y Yadav (2022) con valores de 0.42 a 0.56 en AMO (4% de hipoclorito de sodio y pH 7) y De Dios-Avila et al. (2022) con valores de 0.26 a 0.36 en ASPO (1.5% de hipoclorito de sodio). Se observó que en todos los almidones tenían un índice de comportamiento de flujo (n) menor a 1, definiéndolos como fluidos no newtonianos con un comportamiento de tipo plástico ($n < 1$) (De Dios-Avila et al., 2022).

Figura 15

Índice de comportamiento de flujo en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



Los resultados presentaron diferencia significativa, por lo cual se procedió a realizar la prueba de Tukey (Anexo 15), la cual indicó que los tratamientos T4 (AY; pH 10; 1% de NaClO), T19 (AP; pH 8; 1% de NaClO), T20 (AP; pH 8; 1.5% de NaClO), T23 (AP; pH 10; 1.5% de NaClO), presentaron mayor índice de comportamiento de flujo con un valor de 0.62 para estos tratamientos; y en menor cantidad el T18 (ASP; pH 10; 2% de NaClO) con valor de 0.29, por lo que se notó que “n” aumentó con la disminución del contenido de amilosa para los almidones estudiados, lo que indica claramente que a menor contenido de amilosa (ver figura 4) tiene un comportamiento más newtoniano (figura 15). Se han observado resultados similares en estudios previos por Rodríguez-Gonzalez et al. (2004), quienes determinaron la relación que a un menor contenido de amilosa, su índice de comportamiento de flujo aumentaba, y por Martínez et al. (2019) quienes investigaron que “n” aumentaba con la disminución del contenido de amilosa para AMO.

3.4. Propiedades Texturales

3.4.1. Dureza

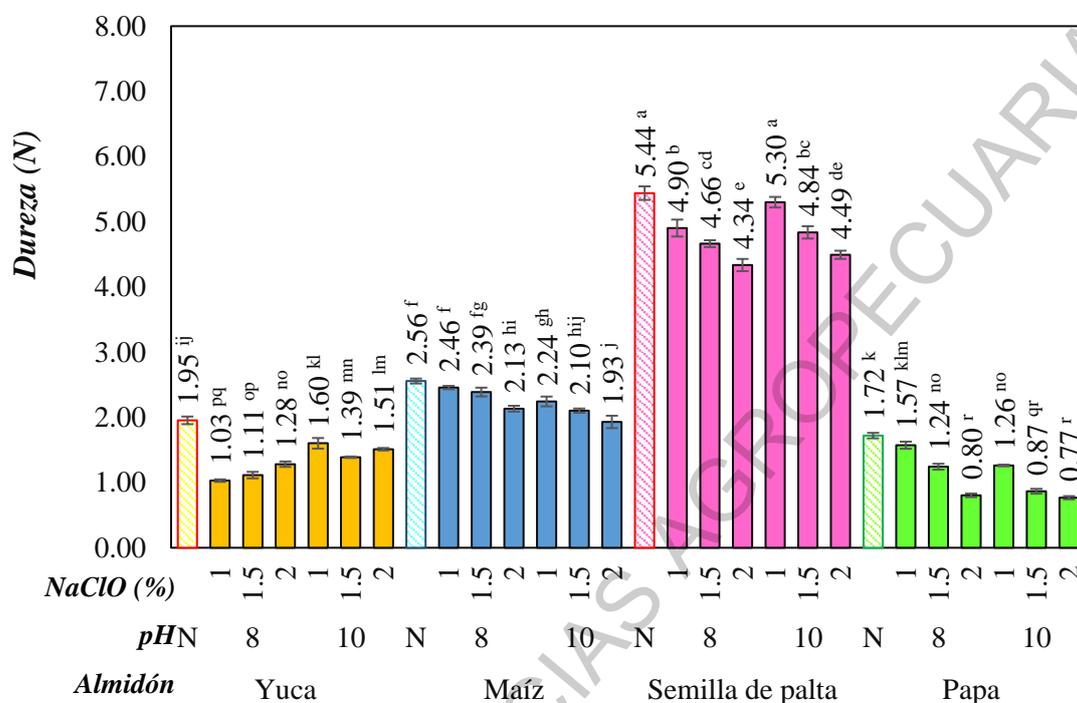
Las propiedades texturales de los geles de almidón son criterios fundamentales en un sistema alimentario al momento de evaluar el rendimiento del almidón. Un gel a base de almidón es un sistema complejo que se basa en una matriz continua lixiviada compuesta de gránulos hinchados que trabajan como rellenos en la fase continua (Pourmohammadi et al., 2018). La dureza en geles de almidón corresponde a la fuerza que se aplica para la deformación de la muestra medido generalmente mediante texturómetros (Karim et al., 2008).

Los valores de dureza en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 1.03 N (T1: AY; pH 8; 1%) a 1.51 N (T6: AY; pH 10; 2%), 2.46 N (T7: AM; pH 8; 1%) a 1.93 N (T12: AM; pH 10; 2%), 4.90 N (T13: ASP; pH 8; 1%) a 4.49 N (T18: ASP; pH 10; 2%), 1.57 N (T19: AP; pH 8; 1%) a 0.77 N (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente. Se observa en la figura 16, que el almidón nativo de semilla de palta presentó mayor dureza (5.44 N), por el contrario de papa (1.72 N), yuca (1.95 N) y maíz (2.56 N). Wang et al. (2017) reportaron una dureza de 1.1 N y Tran et al. (2007) una dureza de 1.68 N en almidón de papa y yuca, respectivamente. Al aumentar la concentración de hipoclorito de sodio y el pH de la suspensión de almidón la dureza presentó tendencia a disminuir en los almidones modificados de semilla de palta (4.43 a 5.30 N), maíz (2.46 a 1.93 N) y papa (1.57 a 0.77 N), caso contrario en el almidón modificado de yuca (1.03 a 1.60 N). Esta variación en el almidón de yuca se puede deber a que presenta menor cantidad de amilosa (ver figura 4) y un mayor número de cadenas de amilopectina.

La dureza del gel disminuye con el aumento de la intensidad de la oxidación, primordialmente debido al reordenamiento molecular y la despolimerización (Dias et al., 2011). Esta premisa se cumple en los trabajos realizados por Bustillos-Rodríguez et al. (2019) en almidón oxidado de maíz con hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones, Dias et al. (2011) en la oxidación de almidón fermentado de yuca con peróxido de hidrógeno y el del presente estudio de investigación.

Figura 16

Parámetro de dureza en gel de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



La prueba ANVA presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) por lo cual se procedió a realizar la prueba de Tukey (Anexo 16), la cual indicó que el almidón nativo de semilla de palta presentó mayor dureza (5.44 N) seguido del T16 (ASP; pH 10; 1% de NaClO) (5.30 N). Estos resultados en el almidón de semilla de palta nativo y oxidados, fueron menores al hallado por Rojas y Sánchez (2019) en almidón de semilla de mango con un valor de 15.98 N. Este fenómeno se debe a que los almidones que presentan mayor dureza en gel tienen a poseer cadenas de amilopectina más largas y mayor contenido de amilosa (Mua y Jackson, 1997).

La dureza de gel está determinada principalmente por la retrogradación de los geles de almidón, que se relaciona con la cristalización de la amilopectina y la sinéresis del agua, lo que genera que los geles sean más duros (Miles et al., 1985).

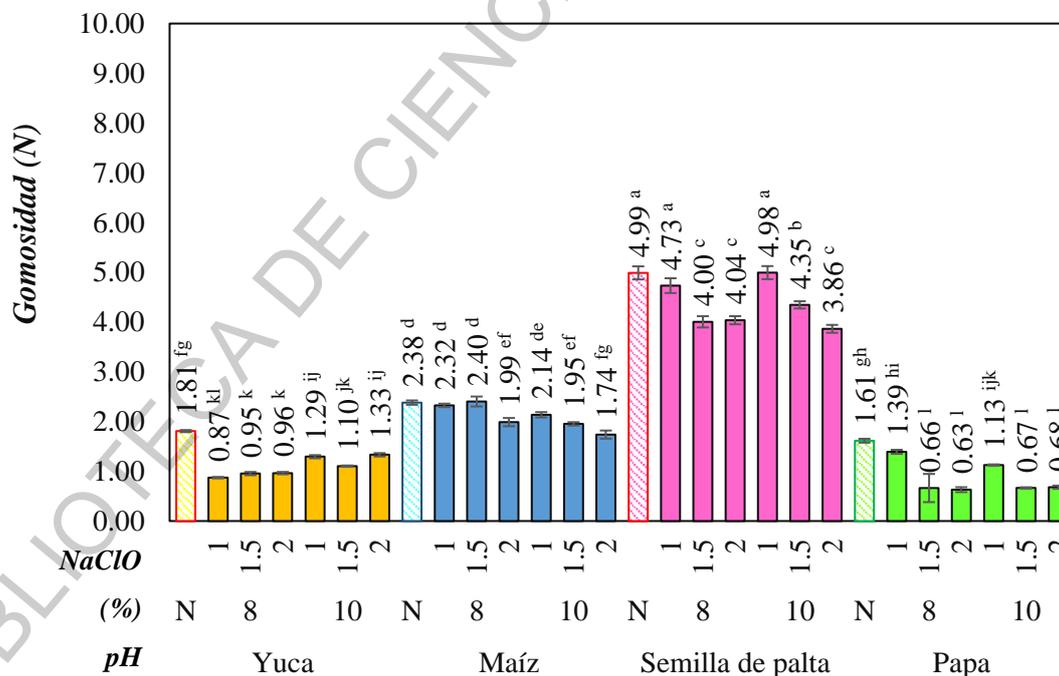
3.4.2. Gomosidad

Los valores de gomosidad en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 0.87 N (T1: AY; pH 8; 1%) a 1.33 N (T6: AY; pH 10; 2%), 2.32 N (T7: AM; pH 8; 1%) a 1.74 N (T12: AM; pH 10; 2%), 4.73 N (T13: ASP; pH 8; 1%) a 3.86 N (T18: ASP; pH 10; 2%), 1.39 N (T19: AP; pH 8; 1%) a 0.68 N (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente.

Se observa en la figura 17 que al aumentar la concentración de hipoclorito de sodio y el pH de la suspensión de almidón la gomosidad presentó tendencia a disminuir en los almidones modificados de semilla de palta (encontrándose en el rango de 6.02 a 3.86 N), maíz (encontrándose en el rango de 2.40 a 1.74 N) y papa (de 1.39 a 0.68 N).

Figura 17

Parámetro de gomosidad en gel de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



La prueba de Tukey (Anexo 17) indicó que el ASP presentó mayor gomosidad (4.99 N) y en menor cuantía el T20 (AP; pH 8; 1.5% de NaClO) y T21 (AP; pH 8, 2% de NaClO) con valores de 0.66 y 0.63 N, respectivamente. Estos

bajos resultados en los almidones de papa son similares a los encontrados por Nie et al. (2019) en geles de almidón de papa pretratados con ultrasonido con gomosidades que variaron desde 1.43-0.67 N, pero fueron mayores a los reportados por Reddy et al. (2015) en geles de almidón de papa modificado con la enzima pullulanase (0.15-0.04 N); posiblemente debido al tipo de modificación empleada.

La tendencia en la disminución de la gomosidad no siempre se va a dar cuando se oxide almidón con pH alcalino, tal es el caso del estudio realizado por Suh et al. (2002), en APO con NaBr utilizando como catalizador al TEMPO.

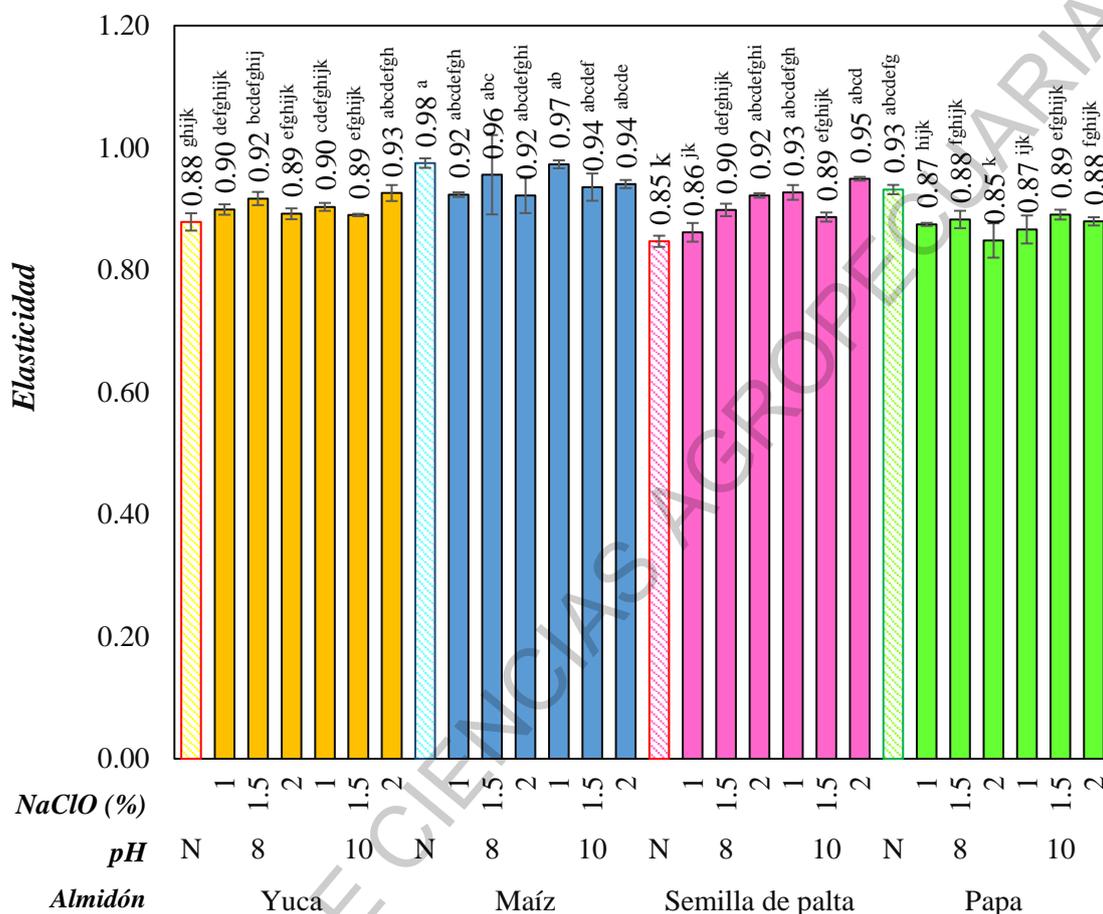
3.4.3. Elasticidad

Los valores de elasticidad en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 0.90 (T1: AY; pH 8; 1%) a 0.93 (T6: AY; pH 10; 2%), 0.92 (T7: AM; pH 8; 1%) a 0.94 (T12: AM; pH 10; 2%), 0.86 (T13: ASP; pH 8; 1%) a 0.95 (T18: ASP; pH 10; 2%), 0.87 (T19: AP; pH 8; 1%) a 0.88 (T24: AP; pH 10; 2%), respectivamente.

Para la elasticidad se observa en la figura 18 que AM, AP Y AY presentaron mayor valor (0.98, 0.93 y 0.88), estos valores son semejantes con los evaluados por Alishahi et al. (2015) (0.99), Kaur et al. (2007) (0.93) y Pourmohammadi et al. (2018) (0.93), respectivamente. Mientras que el menor valor lo tiene el almidón nativo de semilla de palta (0.85), mayor con el valor evaluado por Liu et al., (2017) en almidón de semilla de coix que fue de 0.34 , pero coincide con Pourmohammadi et al. (2018) en almidón de trigo que fue de 0.84.

Figura 18

Parámetro de elasticidad en gel de almidón nativo almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



La prueba de Tukey en la tabla 35 (Anexo 18) indicó que el AM presentó mayor elasticidad (0.98) seguido del T10 (AM; pH 10; 1% de NaClO) (0.97), estos valores son mayores a los reportados por Bustillos-Rodríguez et al. (2019) en geles de almidones oxidados de maíz con NaClO (0.8, 2 y 5 % cloro activo) que variaron de 0.20-0.04, coincidiendo ambos estudios en la disminución de elasticidad según el aumento de oxidación en almidón de maíz. Por otra parte, en menor cuantía se encuentra el T21 (AP; pH 8; 2% de NaClO) con valor de 0.85, resultado mayor al reportado por Liu et al. (2017) en almidón de semilla de coix (0.098), pero menor en comparación con el estudio de Rojas y Sánchez (2019) en almidón de semilla de mango (0.95). La elasticidad simboliza el grado de recuperación de la altura de gel al momento de aplicarse una fuerza (Mua y Jackson, 1997).

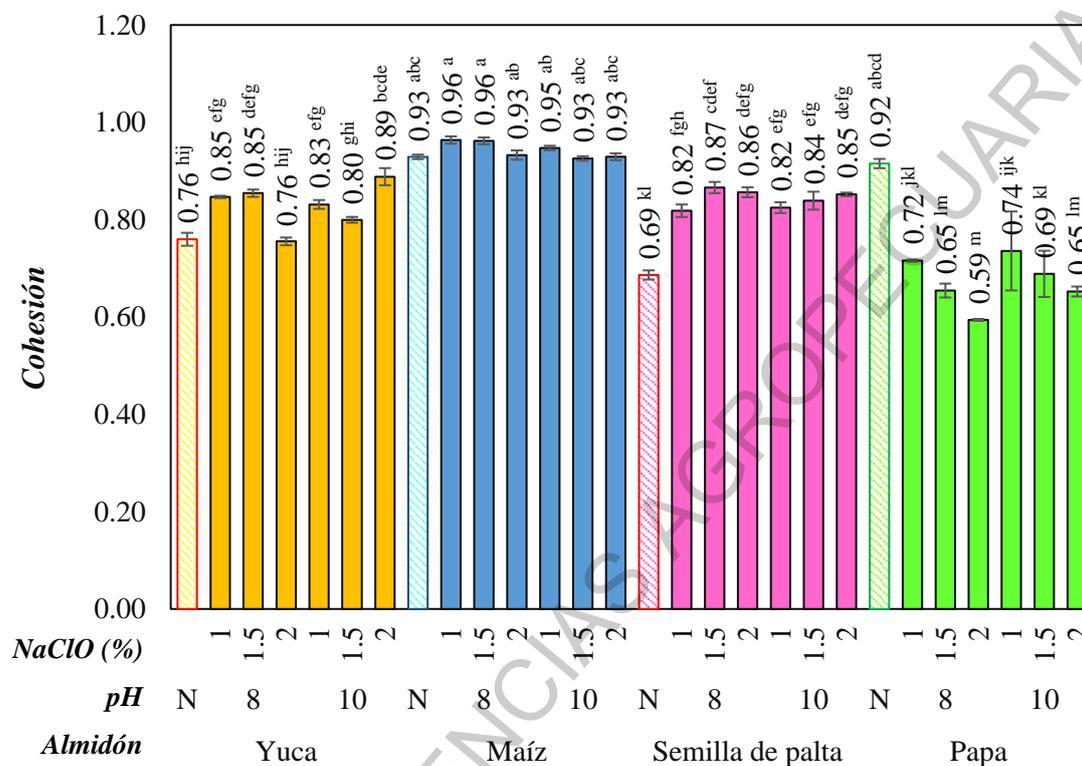
3.4.4. Cohesión

Los valores de elasticidad en los almidones modificados de AYO, AMO, ASPO y APO se encontraron en el rango de 0.85 (T1: AY; pH 8; 1%) a 0.89 (T6: AY; pH 10; 2%), 0.96 (T7: AM; pH 8; 1%) a 0.93 (T12: AM; pH 10; 2%), 0.82 (T13: ASP; pH 8; 1%) a 0.85 (T18: ASP; pH 10; 2%), 0.72 (T19: AP; pH 8; 1%) a 0.65 (T24: AP; pH 10; 2%), para almidón oxidado de AY, AM, ASP y AP, respectivamente.

Para la cohesión se observa en la figura 19 que los almidones nativos de maíz, papa y yuca presentaron mayor valor (0.93, 0.92 y 0.76) y menor valor el almidón nativo de semilla de palta (0.69). Alishahi et al. (2015) determinó una cohesividad de 0.94 en almidón de maíz, coincidiendo con el del presente estudio, mientras que Pourmohammadi et al. (2018) reportó un valor menor de 0.51 en almidón de yuca y Kaur et al. (2007) encontró valores menores que variaron entre 0.54-0.59 en tres variedades de almidón de papa (Ashoka, Kunden, Dewa). En contraste el almidón nativo de semilla de palta (0.69) presentó el menor valor en comparación de los demás almidones nativos, este valor es mayor al analizado por Macena et al. (2020) (0.32) en almidón de semilla de palta, esto se debe por la baja concentración de almidón utilizado en la preparación del gel (4%).

Figura 19

Parámetro de cohesión en gel de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)



La prueba de Tukey (Anexo 19) indicó que el T7 (AM, pH 8, 1% de NaClO) presentó mayor cohesión (0.96); valor cercano al reportado por Bustillos-Rodríguez et al. (2019) (0.72) en AMO trabajado bajo los mismos parámetros de oxidación. En contraste el T21 (AP; pH 8, 2% de NaClO) se encontró en menor cuantía con valor de 0.59, este resultado es menor al presentado por Rebaza (2019) en geles de almidón de papa entrecruzados con trimetafosfato de sodio que variaron desde 0.99-0.68. Un elevado contenido de amilosa provoca geles relativamente débiles con una textura dirigida hacia el lado gomoso y cohesivo (Herceg et al., 2010).

La cohesión es una medida del grado de dificultad para deshacer la estructura interna del gel (Mua y Jackson, 1997).

Propiedades mecánicas como la elasticidad, dureza, cohesión, adhesividad y gomosidad en geles a base de almidón dependen principalmente de la estructura

molecular según el tipo de almidón (Sworn et al., 1995). La diferencia en las propiedades de textura en todos los geles de muestra es influenciada por el contenido de amilosa, la rigidez del almidón gelatinizado y la interacción entre la fase continua y dosificada del gel, que a la par depende directamente de la estructura de las cadenas de amilopectina y amilosa (Reddy et al., 2015).

De manera general, los geles obtenidos de semilla de palta, papa, yuca y maíz nativos fueron más fuertes, duros, adhesivos y presentaron mayor gomosidad en comparación con los geles elaborados a partir de almidones modificados mediante oxidación. Todas estas propiedades fueron influenciadas por la despolimerización y retrogradación en las moléculas de almidón, generando que sean más solubles en agua y elevando la homogeneidad y estabilidad del gel. Los almidones gelatinizados en alimentos refrigerados necesitan una baja tasa de retrogradación y un fuerte carácter hidrofílico; no obstante, en el presente estudio, los geles formados a partir de almidones nativos presentaron más susceptibilidad a la sinéresis y retrogradación, comprometiendo al sabor, textura y vida útil de los alimentos preparados a base de este tipo de almidones. Por esta razón, los almidones nativos generalmente se les debe modificar para mejorar sus propiedades funcionales y texturales para poder ser utilizados como aditivos alimentarios en más industria (Liu et al., 2014).

BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

IV. CONCLUSIONES

El pH (8 y 10), la concentración de hipoclorito de sodio (1.0%, 1.5%, 2.0%) y la fuente de almidón (yuca, maíz, semilla de palta y papa) presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) en las propiedades químicas (pH 10 y 2.0% de NaClO, generó una notoria disminución en el porcentaje de amilosa y un incremento en los grupos carboxilos y carbonilos), funcionales (pH 10 y 2.0% de NaClO, mostró una visible disminución en el poder de hinchamiento y aumento en la solubilidad), reológicas (pH 10, aumenta el índice de comportamiento de flujo y disminuye el coeficiente de consistencia y la tensión de fluencia) y texturales (2% de NaClO, ocasionó notoriamente en el gel una disminución en la dureza y gomosidad y un ligero aumento en elasticidad y cohesión) en almidón oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz. Resaltando a nivel general del estudio a los tratamientos oxidados de almidón de semilla de palta, los cuales presentaron altos valores en amilosa generando así la formación de más grupos carboxilos, menores valores en propiedades funcionales, además a ello geles más firmes, gomosos y con menos tendencia a fluir.

Los efectos de la oxidación son más evidentes en los almidones oxidados con mayor alcalinidad (pH 10) y una elevada concentración de cloro activo (2.0%), especialmente en las propiedades químicas y texturales. Estas propiedades permitirían dar valor agregado al almidón extraído de una fuente no convencional como lo es la semilla de palta, ampliando así su aplicación en la industria alimentaria, en donde podrían ser empleados como espesantes o estabilizadores, y en la industria no alimentaria, empleándose como aditivos en la elaboración de envases biodegradables, papel, productos cosméticos, farmacéuticos, etc.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamczyk, G., Krystijan, M., & Witczak, M. (2021). The Impact of Fiber from Buckwheat Hulls Waste on the Pasting, Rheological and Textural Properties of Normal and Waxy Potato Starch Gels. *Polymers*, *13*(23), 4148. <https://doi.org/10.3390/polym13234148>
- Adebowale, K. O., Adeniyi Afolabi, T., & Lawal, O. S. (2002). Isolation, chemical modification and physicochemical characterisation of Bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch and flour. *Food Chemistry*, *78*(3), 305-311. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00100-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00100-0)
- Agi, A., Junin, R., Gbadamosi, A., Abbas, A., Azli, N. B., & Oseh, J. (2019). Influence of nanoprecipitation on crystalline starch nanoparticle formed by ultrasonic assisted weak-acid hydrolysis of cassava starch and the rheology of their solutions. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, *142*, 107556. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.107556>
- Agudelo, A., Varela, P., Sanz, T., & Fiszman, S. M. (2014). Native tapioca starch as a potential thickener for fruit fillings. Evaluation of mixed models containing low-methoxyl pectin. *Food Hydrocolloids*, *35*, 297-304. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.004>
- Alishahi, A., Farahnaky, A., Majzoobi, M., & Blanchard, C. L. (2015). Physicochemical and textural properties of corn starch gels: Effect of mixing speed and time. *Food Hydrocolloids*, *45*, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.005>
- Araujo de Vizcarrondo, C., Rincón, A. M., & Padilla, F. (2004). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, *54*(2), 241-245.
- Baik, B.-K., & Lee, M.-R. (2003). Effects of Starch Amylose Content of Wheat on Textural Properties of White Salted Noodles. *Cereal Chemistry Journal*, *80*(3), 304-309. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.3.304>
- Bajaj, R., Singh, N., Ghumman, A., Kaur, A., & Mishra, H. N. (2022). Effect of High Pressure Treatment on Structural, Functional, and In-Vitro Digestibility of Starches from Tubers, Cereals, and Beans. *Starch - Stärke*, *74*(1-2), 2100096. <https://doi.org/10.1002/star.202100096>
- Balakrishnan, B., & Jayakrishnan, A. (2005). Self-cross-linking biopolymers as injectable in situ forming biodegradable scaffolds. *Biomaterials*, *26*(18), 3941-3951. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.10.005>
- Bedoya-Perales, N. S., & Dal' Magro, G. P. (2021). Quantification of Food Losses and Waste in Peru: A Mass Flow Analysis along the Food Supply Chain. *Sustainability*, *13*(5), 2807. <https://doi.org/10.3390/su13052807>
- Bragd, P. L., Besemer, A. C., & van Bekkum, H. (2000). Bromide-free TEMPO-mediated oxidation of primary alcohol groups in starch and methyl α -d-

glucopyranoside. *Carbohydrate Research*, 328(3), 355-363.
[https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)00109-9](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)00109-9)

- Bustillos-Rodríguez, J. C., Ordóñez-García, M., Tirado-Gallegos, J. M., Zamudio-Flores, P. B., Ornelas-Paz, J. de J., Acosta-Muñiz, C. H., Gallegos-Morales, G., Sepúlveda-Ahumada, D. R., Salas-Marina, M. Á., Berlanga-Reyes, D. I., Aparicio-Saguilán, A., & Rios-Velasco, C. (2019a). Physicochemical, Thermal and Rheological Properties of Native and Oxidized Starch from Corn Landraces and Hybrids. *Food Biophysics*, 14(2), 182-192. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09569-z>
- Bustillos-Rodríguez, J. C., Ordóñez-García, M., Tirado-Gallegos, J. M., Zamudio-Flores, P. B., Ornelas-Paz, J. de J., Acosta-Muñiz, C. H., Gallegos-Morales, G., Sepúlveda-Ahumada, D. R., Salas-Marina, M. Á., Berlanga-Reyes, D. I., Aparicio-Saguilán, A., & Rios-Velasco, C. (2019b). Physicochemical, Thermal and Rheological Properties of Native and Oxidized Starch from Corn Landraces and Hybrids. *Food Biophysics*, 14(2), 182-192. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09569-z>
- Castanha, N., Matta Junior, M. D. da, & Augusto, P. E. D. (2017). Potato starch modification using the ozone technology. *Food Hydrocolloids*, 66, 343-356. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.001>
- Chan, H., Leh, C. P., Bhat, R., Senan, C., Williams, P. A., & Karim, A. A. (2011). Molecular structure, rheological and thermal characteristics of ozone-oxidized starch. *Food Chemistry*, 126(3), 1019-1024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.113>
- Chandla, N. K., Khatkar, S. K., Singh, S., Saxena, D. C., Jindal, N., Bansal, V., & Wakchaure, N. (2020). Tensile Strength and Solubility Studies of Edible Biodegradable Films Developed from Pseudo-cereal Starches: An Inclusive Comparison with Commercial Corn Starch. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, OF. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-1522>
- Chapagai, M. K., Fletcher, B., Witt, T., Dhital, S., Flanagan, B. M., & Gidley, M. J. (2021). Multiple length scale structure-property relationships of wheat starch oxidized by sodium hypochlorite or hydrogen peroxide. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100147. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100147>
- Chávez-Murillo, C. E., Wang, Y.-J., & Bello-Pérez, L. A. (2008). Morphological, Physicochemical and Structural Characteristics of Oxidized Barley and Corn Starches. *Starch - Stärke*, 60(11), 634-645. <https://doi.org/10.1002/star.200800016>
- Choi, H. M., & Yoo, B. (2009). Steady and dynamic shear rheology of sweet potato starch-xanthan gum mixtures. *Food Chemistry*, 116(3), 638-643. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.076>
- Chong, W. T., Uthumporn, U., Karim, A. A., & Cheng, L. H. (2013). The influence of ultrasound on the degree of oxidation of hypochlorite-oxidized corn starch. *LWT*

- *Food Science and Technology*, 50(2), 439-443.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.024>

Contreras-Pérez, R. K., Torre-Gutiérrez, L. D. la, González-Cortés, N., & Jiménez-Vera, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *European Scientific Journal, ESJ*, 14(30), Art. 30.
<https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p82>

Cornelia, M., & Christianti, A. (2018). Utilization of modified starch from avocado (*Persea americana* Mill.) seed in cream soup production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 102, 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/102/1/012074>

Cuba Canales, A. (2021). *Caracterización físicoquímica y funcional de almidones de Papa y Tunta de tres variedades nativas amargas procedentes de Ilave—Puno* [Pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4607>

Czaikoski, A., da Cunha, R. L., & Menegalli, F. C. (2020). Rheological behavior of cellulose nanofibers from cassava peel obtained by combination of chemical and physical processes. *Carbohydrate Polymers*, 248, 116744.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116744>

Dang, X., Chen, H., Shan, Z., Zhen, W., & Yang, M. (2019). The oxidation of potato starch by Electro-Fenton system in the presence of Fe(II) ions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121, 113-119.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.012>

De Dios-Avila, N., Tirado-Gallegos, J. M., Rios-Velasco, C., Luna-Esquivel, G., Isiordia-Aquino, N., Zamudio-Flores, P. B., Estrada-Virgen, M. O., & Cambero-Campos, O. J. (2022). Physicochemical, Structural, Thermal and Rheological Properties of Flour and Starch Isolated from Avocado Seeds of Landrace and Hass Cultivars. *Molecules*, 27(3), 910.
<https://doi.org/10.3390/molecules27030910>

Dias, A. R. G., Zavareze, E. da R., Elias, M. C., Helbig, E., da Silva, D. O., & Ciacco, C. F. (2011a). Pasting, expansion and textural properties of fermented cassava starch oxidised with sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 268-275. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.11.033>

Dias, A. R. G., Zavareze, E. da R., Elias, M. C., Helbig, E., da Silva, D. O., & Ciacco, C. F. (2011b). Pasting, expansion and textural properties of fermented cassava starch oxidised with sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 268-275. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.11.033>

Dias, A. R. G., Zavareze, E. da R., Helbig, E., Moura, F. A. de, Vargas, C. G., & Ciacco, C. F. (2011a). Oxidation of fermented cassava starch using hydrogen peroxide. *Carbohydrate Polymers*, 86(1), 185-191.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.04.026>

- Dias, A. R. G., Zavareze, E. da R., Helbig, E., Moura, F. A. de, Vargas, C. G., & Ciacco, C. F. (2011b). Oxidation of fermented cassava starch using hydrogen peroxide. *Carbohydrate Polymers*, 86(1), 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.04.026>
- FAOSTAT. (2022). *Buenas prácticas en la agricultura: Caso aguacate*. <https://www.fonagro.org/es/events-2/evento/atn-rf-16111-rg-buenas-practicas-en-la-agricultura-caso-aguacate-iniap-ecuador/>
- Fonseca, L. M., Gonçalves, J. R., El Halal, S. L. M., Pinto, V. Z., Dias, A. R. G., Jacques, A. C., & Zavareze, E. da R. (2015a). Oxidation of potato starch with different sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 714-720. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.052>
- Fonseca, L. M., Gonçalves, J. R., El Halal, S. L. M., Pinto, V. Z., Dias, A. R. G., Jacques, A. C., & Zavareze, E. da R. (2015b). Oxidation of potato starch with different sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 714-720. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.052>
- Fonseca, L. M., Gonçalves, J. R., El Halal, S. L. M., Pinto, V. Z., Dias, A. R. G., Jacques, A. C., & Zavareze, E. da R. (2015c). Oxidation of potato starch with different sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2, Part 1), 714-720. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.052>
- Forssell, P., Hamunen, A., Autio, K., Suortti, P., & Poutanen, K. (1995). Hypochlorite Oxidation of Barley and Potato Starch. *Starch - Stärke*, 47(10), 371-377. <https://doi.org/10.1002/star.19950471002>
- Garrido, L. H., Schnitzler, E., Zortéa, M. E. B., de Souza Rocha, T., & Demiate, I. M. (2014). Physicochemical properties of cassava starch oxidized by sodium hypochlorite. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2640-2647. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0794-9>
- Gong, Q., Wang, L.-Q., & Tu, K. (2006). In situ polymerization of starch with lactic acid in aqueous solution and the microstructure characterization. *Carbohydrate Polymers*, 64(4), 501-509. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.09.005>
- Guleria, P., & Yadav, B. S. (2022). Effect of chemical treatments on the functional, morphological and rheological properties of starch isolated from pigeon pea (*Cajanus cajan*). *Current Research in Food Science*, 5, 1750-1759. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.001>
- Gutkoski, L. C., Nodari, M. L., & Jacobsen Neto, R. (2003). Avaliação de farinhas de trigos cultivados no Rio Grande do Sul na produção de biscoitos. *Food Science and Technology*, 23, 91-97. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612003000400017>
- Halal, S. L. M. E., Colussi, R., Pinto, V. Z., Bartz, J., Radunz, M., Carreño, N. L. V., Dias, A. R. G., & Zavareze, E. da R. (2015a). Structure, morphology and

- functionality of acetylated and oxidised barley starches. *Food Chemistry*, 168, 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.046>
- Halal, S. L. M. E., Colussi, R., Pinto, V. Z., Bartz, J., Radunz, M., Carreño, N. L. V., Dias, A. R. G., & Zavareze, E. da R. (2015b). Structure, morphology and functionality of acetylated and oxidised barley starches. *Food Chemistry*, 168, 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.046>
- Herceg, I. L., Jambrak, A. R., Šubarić, D., Brnčić, M., Brnčić, S. R., Badanjak, M., Tripalo, B., Ježek, D., Novotni, D., & Herceg, Z. (2010). Texture and pasting properties of ultrasonically treated corn starch. *Czech Journal of Food Sciences*, 28 (2010)(No. 2), 83-93. <https://doi.org/10.17221/50/2009-CJFS>
- Hoover, R., & Ratnayake, W. s. (2001). Determination of Total Amylose Content of Starch. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00(1), E2.3.1-E2.3.5. <https://doi.org/10.1002/0471142913.fae0203s00>
- Hoyos C., José Luis. (2013). *EFFECT OF CASSAVA STARCH OXIDATION OVER MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF BIODEGRADABLE FILMS*. 11. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612013000100024
- Huang, T.-T., Zhou, D.-N., Jin, Z.-Y., Xu, X.-M., & Chen, H.-Q. (2016). Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch. *Food Hydrocolloids*, 54, 202-210. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.002>
- Huaxi, X., Qinlu, L., Gao Qiang, L., Yue, W., Wei, T., Wei, W., & Xiangjin, F. (2011). Physicochemical properties of chemically modified starches from different botanical origin. *Scientific Research and Essays*, 6(21), 4517-4525. <https://doi.org/10.5897/SRE11.618>
- Jyothi, A. N., Rajasekharan, K. N., Moorthy, S. N., & Sreekumar, J. (2005). Microwave-Assisted Synthesis and Characterization of Succinate Derivatives of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Starch. *Starch - Stärke*, 57(11), 556-563. <https://doi.org/10.1002/star.200500429>
- Karim, A. A., Nadiha, M. Z., Chen, F. K., Phuah, Y. P., Chui, Y. M., & Fazilah, A. (2008). Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (*Metroxylon sago*) starch. *Food Hydrocolloids*, 22(6), 1044-1053. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.05.011>
- Kaur, L., Singh, J., McCarthy, O. J., & Singh, H. (2007). Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering*, 82(3), 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.059>
- Kaur, M., & Bhullar, G. K. (2016a). Partial Characterization of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Kernel Starch Oxidized at Different Levels of Sodium Hypochlorite. *International Journal of Food Properties*, 19(3), 605-617. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1038722>

- Kaur, M., & Bhullar, G. K. (2016b). Partial Characterization of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Kernel Starch Oxidized at Different Levels of Sodium Hypochlorite. *International Journal of Food Properties*, 19(3), 605-617. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1038722>
- Kringel, D. H., Dias, A. R. G., Zavareze, E. da R., & Gandra, E. A. (2020). Fruit Wastes as Promising Sources of Starch: Extraction, Properties, and Applications. *Starch - Stärke*, 72(3-4), 1900200. <https://doi.org/10.1002/star.201900200>
- Kuakpetoon, D., & Wang, Y.-J. (2001). Characterization of Different Starches Oxidized by Hypochlorite. *Starch - Stärke*, 53(5), 211-218. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200105\)53:5<211::AID-STAR211>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200105)53:5<211::AID-STAR211>3.0.CO;2-M)
- Kuakpetoon, D., & Wang, Y.-J. (2006a). Structural characteristics and physicochemical properties of oxidized corn starches varying in amylose content. *Carbohydrate Research*, 341(11), 1896-1915. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2006.04.013>
- Kuakpetoon, D., & Wang, Y.-J. (2006b). Structural characteristics and physicochemical properties of oxidized corn starches varying in amylose content. *Carbohydrate Research*, 341(11), 1896-1915. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2006.04.013>
- Lai, Y. C., Wang, S. Y., Gao, H. Y., Nguyen, K. M., Nguyen, C. H., Shih, M. C., & Lin, K. H. (2016). Physicochemical properties of starches and expression and activity of starch biosynthesis-related genes in sweet potatoes. *Food Chemistry*, 199, 556-564. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.053>
- Lawal, O. S., & Adebawale, K. O. (2005). Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. *Carbohydrate Polymers*, 60(3), 331-341. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.01.011>
- Lewandowicz, J., Le Thanh-Blicharz, J., & Szwengiel, A. (2022). The Effect of Chemical Modification on the Rheological Properties and Structure of Food Grade Modified Starches. *Processes*, 10(5), 938. <https://doi.org/10.3390/pr10050938>
- Li, J.-Y., & Yeh, A.-I. (2001). Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. *Journal of Food Engineering*, 50(3), 141-148. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00236-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00236-3)
- Lin, D., Zhou, W., Yang, Z., Zhong, Y., Xing, B., Wu, Z., Chen, H., Wu, D., Zhang, Q., Qin, W., & Li, S. (2019). Study on physicochemical properties, digestive properties and application of acetylated starch in noodles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, 948-956. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.176>
- Liu, J., Wang, B., Lin, L., Zhang, J., Liu, W., Xie, J., & Ding, Y. (2014). Functional, physicochemical properties and structure of cross-linked oxidized maize starch. *Food Hydrocolloids*, 36, 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.013>
- Liu, X., Zhang, B., Xu, J.-H., Mao, D.-Z., Yang, Y.-J., & Wang, Z.-W. (2017). Rapid determination of the crude starch content of *Coix* seed and comparing the pasting

and textural properties of the starches: *Coix* seed starches: Rapid determination and pasting and textural properties. *Starch - Stärke*, 69(1-2), 1600115. <https://doi.org/10.1002/star.201600115>

Macena, J. F. F., Souza, J. C. A. de, Camilloto, G. P., & Cruz, R. S. (2020). Physico-chemical, morphological and technological properties of the avocado (*Persea americana* Mill. Cv. Hass) seed starch. *Ciência e Agrotecnologia*, 44. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044001420>

Makowska, A., Dwiecki, K., Kubiak, P., Baranowska, H. M., & Lewandowicz, G. (2022). Polymer-Solvent Interactions in Modified Starches Pastes—Electrokinetic, Dynamic Light Scattering, Rheological and Low Field Nuclear Magnetic Resonance Approach. *Polymers*, 14(15), 2977. <https://doi.org/10.3390/polym14152977>

Mantilla Roldan, J. M., & Zavala Agreda, J. M. (2018). Extracción y caracterización de almidón de las semillas de *Persea americana* Mill. (Palta) Var. Fuerte, Hass y Criolla. *Universidad Nacional de Trujillo*. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11329>

Maqsood, S., Adiamo, O., Ahmad, M., & Mudgil, P. (2020). Bioactive compounds from date fruit and seed as potential nutraceutical and functional food ingredients. *Food Chemistry*, 308, 125522. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125522>

Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A., & Velezmoro, C. (2015). Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), Art. 4. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06>

Martínez, P., Peña, F., Bello-Pérez, L. A., Núñez-Santiago, C., Yee-Madeira, H., & Velezmoro, C. (2019). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry: X*, 2, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100030>

Maryam, Anwar Kasim, & Santosa. (2016). Utilization Starch of Avocado Seed (*Persea Americana* Mill.) as a Raw Material for Dextrin. *Journal of Food Science and Engineering*, 6(1). <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.01.005>

Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, P. D., & Ring, S. G. (1985). The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research*, 135(2), 271-281. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)90778-X](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)90778-X)

Ministerio de agricultura y riego. (2021). *Producción anual de aguacate*. <https://www.gob.pe/midagri>

Mua, J. P., & Jackson, D. S. (1997). Relationships between Functional Attributes and Molecular Structures of Amylose and Amylopectin Fractions from Corn Starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(10), 3848-3854. <https://doi.org/10.1021/jf9608783>

- Naknaen, P., Tobkaew, W., & Chaichaleom, S. (2017a). Properties of jackfruit seed starch oxidized with different levels of sodium hypochlorite. *International Journal of Food Properties*, 20(5), 979-996. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1191868>
- Naknaen, P., Tobkaew, W., & Chaichaleom, S. (2017b). Properties of jackfruit seed starch oxidized with different levels of sodium hypochlorite. *International Journal of Food Properties*, 20(5), 979-996. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1191868>
- Nakthong, N., Wongsagonsep, R., & Amornsakchai, T. (2017). Characteristics and potential utilizations of starch from pineapple stem waste. *Industrial Crops and Products*, 105, 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.048>
- Nazarian-Firouzabadi, F., Trindade, L. M., & Visser, R. G. F. (2012). Production of small starch granules by expression of a tandem-repeat of a family 20 starch-binding domain (SBD3-SBD5) in an amylose-free potato genetic background. *Functional Plant Biology*, 39(2), 146. <https://doi.org/10.1071/FP11150>
- Nie, H., Li, C., Liu, P.-H., Lei, C.-Y., & Li, J.-B. (2019). Retrogradation, gel texture properties, intrinsic viscosity and degradation mechanism of potato starch paste under ultrasonic irradiation. *Food Hydrocolloids*, 95, 590-600. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.035>
- Nwokocha, L. M., Aviara, N. A., Senan, C., & Williams, P. A. (2009). A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) starches. *Carbohydrate Polymers*, 76(3), 362-367. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.034>
- Nyakang'i, C. O., Ebere, R., Marete, E., & Arimi, J. M. (2023). Avocado production in Kenya in relation to the world, Avocado by-products (seeds and peels) functionality and utilization in food products. *Applied Food Research*, 3(1), 100275. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100275>
- Okekunle, M. O., Adebawale, K. O., Olu-Owolabi, B. I., & Lamprecht, A. (2020). Physicochemical, morphological and thermal properties of oxidized starches from Lima bean (*Phaseolus lunatus*). *Scientific African*, 8, e00432. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00432>
- Palavecino, P. M., Penci, M. C., & Ribotta, P. D. (2020). Effect of Sustainable Chemical Modifications on Pasting and Gel Properties of Sorghum and Cassava Starch. *Food and Bioprocess Technology*, 13(1), 112-120. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02381-0>
- Peña Carrasco, E. F. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (Puno)* [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2655>
- Peñaranda Contreras, O. I., Perilla Perilla, J. E., & Algecira Enciso, N. A. (2008). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos.

Ingeniería e Investigación, 28(3), 47-52.
<https://doi.org/10.15446/ing.investig.v28n3.15119>

- Pérez, L. F., & Gómez, M. I. (2022). Public-private strategies to establish a successful avocado export cycle: Cases from Colombia. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 12(4), 620-640.
<https://doi.org/10.1108/JADEE-11-2021-0275>
- Pourmohammadi, K., Abedi, E., Hashemi, S. M. B., & Torri, L. (2018). Effects of sucrose, isomalt and maltodextrin on microstructural, thermal, pasting and textural properties of wheat and cassava starch gel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 1935-1943.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.172>
- Pozo, F., & Lechón, B. A. (2022). Caracterización fisicoquímica y funcional de almidón de papa súperchola y su utilización en la formulación de salchicha tipo Frankfurt. *SATHIRI*, 17(2), Art. 2. <https://doi.org/10.32645/13906925.1137>
- Punia, S., Sandhu, K. S., Dhull, S. B., Siroha, A. K., Purewal, S. S., Kaur, M., & Kidwai, Mohd. K. (2020a). Oat starch: Physico-chemical, morphological, rheological characteristics and its applications - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 493-498.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.083>
- Punia, S., Sandhu, K. S., Dhull, S. B., Siroha, A. K., Purewal, S. S., Kaur, M., & Kidwai, Mohd. K. (2020b). Oat starch: Physico-chemical, morphological, rheological characteristics and its applications - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 493-498.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.083>
- Qu, R., Wang, Y., Li, D., & Wang, L. (2021). The study of rheological properties and microstructure of carboxylated nanocellulose as influenced by level of carboxylation. *Food Hydrocolloids*, 121, 106985.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106985>
- Rebaza Cabrera, M. G. (2019). *Propiedades reológicas y texturales de geles de almidón de papa (Solanum tuberosum L.) entrecruzado, variedad Bretaña* [Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13425>
- Reddy, C. K., Pramila, S., & Haripriya, S. (2015). Pasting, textural and thermal properties of resistant starch prepared from potato (*Solanum tuberosum*) starch using pullulanase enzyme. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1594-1601. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1151-3>
- Richardson, S., & Gorton, L. (2003). Characterisation of the substituent distribution in starch and cellulose derivatives. *Analytica Chimica Acta*, 497(1-2), 27-65.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.08.005>

- Robles, M. del P. (2012). *Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé* [Pregrado]. Universidad Austral de Chile.
- Rodriguez-Gonzalez, F. J., Ramsay, B. A., & Favis, B. D. (2004). Rheological and thermal properties of thermoplastic starch with high glycerol content. *Carbohydrate Polymers*, 58(2), 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.06.002>
- Rojas, P., & Sánchez, K. (2019). *Efecto de la concentración de almidón de semilla de mango variedad Edward y almidón de yuca sobre las propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables* [Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13426>
- Sadowska, J. (2006). *RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF OXIDISED POTATO STARCH*. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?jsessionid=F6AF2F48136AB8B4ACB1A7A9827218B1?request_locale=fr&recordID=PL2004000756&query=&sourceQuery=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField=
- Salcedo-Mendoza, J. G., Rodríguez-Lora, M. C., & Figueroa-Flórez, J. A. (2016). *EFFECT OF ACETYLATION ON STRUCTURAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF STARCHES FROM CASSAVA (Manihot esculenta Crantz) AND YAM (Dioscorea alata cv. Diamante 22)*.
- Sánchez Banda, L. R. (2019). *Propiedades químicas, morfológicas y funcionales de almidón de semilla de palta (Persea americana Mill.) CV fuerte* [Pregrado, Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14162>
- Sanchez-González, J. A., Echeverría, C., Lescano, L., Linares, G., Arteaga-Miñano, H. L., Soriano-Colchado, J., & Barraza-Jáuregui, G. (2019). Physico-chemical, thermal and rheological characteristics of starch isolated from four commercial potatoes cultivars. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 63-71. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.07>
- Sánchez-Rivera, M. M., García-Suárez, F. J. L., Velázquez del Valle, M., Gutierrez-Meraz, F., & Bello-Pérez, L. A. (2005). Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 62(1), 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.005>
- Sangseethong, K., Termvejsayanon, N., & Sriroth, K. (2010). Characterization of physicochemical properties of hypochlorite- and peroxide-oxidized cassava starches. *Carbohydrate Polymers*, 82(2), 446-453. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.05.003>
- Santos, D. M. dos, Ascheri, D. P. R., Bukzem, A. de L., Morais, C. C., Carvalho, C. W. P., & Ascheri, J. L. R. (2017). PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF STARCH FROM AVOCADO SEED (PERSEA AMERICANA MILL). *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 34(2), Art. 2. <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/53138>

- Sanyaolu, N. O., Babalola, L. K., Alabi-Abas, M. O., Ibikunle, A. A., & Yussuf, S. T. (2022). STUDIES ON THE PHYSICO-CHEMICAL AND PASTING PROPERTIES OF OXIDIZED SWEET POTATO (*Ipomoea batatas* L. (Lam) STARCH. *Journal of Chemical Society of Nigeria*, 47(4). <https://doi.org/10.46602/jcsn.v47i4.802>
- Siche, R., Falguera, V., & Ibarz, A. (2015). Use of Response Surface Methodology to Describe the Combined Effect of Temperature and Fiber on the Rheological Properties of Orange Juice. *Journal of Texture Studies*, 46(2), 67-73. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12112>
- Sikora, M., Dobosz, A., Adamczyk, G., Krystyan, M., Kowalski, S., Tomasik, P., & Kutyla-Kupidura, E. M. (2017). Binary mixtures of two anionic polysaccharides simulating the rheological properties of oxidised starch. *International Agrophysics*, 31(1), 117-128. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0029>
- Singh, N., Isono, N., Srichuwong, S., Noda, T., & Nishinari, K. (2008). Structural, thermal and viscoelastic properties of potato starches. *Food Hydrocolloids*, 22(6), 979-988. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.05.010>
- Suh, D. S., Chang, P. S., & Kim, K.-O. (2002). Physicochemical Properties of Corn Starch Selectively Oxidized with 2,2,6,6-Tetramethyl-1-Piperidinyll Oxoammonium Ion. *Cereal Chemistry Journal*, 79(4), 576-581. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.4.576>
- Sukhija, S., Singh, S., & Riar, C. S. (2016). Effect of oxidation, cross-linking and dual modification on physicochemical, crystallinity, morphological, pasting and thermal characteristics of elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*) starch. *Food Hydrocolloids*, 55, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.003>
- Sworn, G., Sanderson, G. R., & Gibson, W. (1995). Gellan gum fluid gels. *Food Hydrocolloids*, 9(4), 265-271. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(09\)80257-9](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(09)80257-9)
- Thory, R., & Sandhu, K. S. (2017). A Comparison of mango kernel starch with a novel starch from litchi (*Litchi chinensis*) kernel: Physicochemical, morphological, pasting, and rheological properties. *International Journal of Food Properties*, 20(4), 911-921. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1188403>
- Tran, T., Piyachomkwan, K., & Sriroth, K. (2007). Gelatinization and Thermal Properties of Modified Cassava Starches. *Starch - Stärke*, 59(1), 46-55. <https://doi.org/10.1002/star.200600514>
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7, 223-230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>
- Vargas-Canales, J. M., Carbajal-Flores, G., Bustamante-Lara, T. I., Camacho-Vera, J. H., Fresnedo-Ramírez, J., Palacios-Rangel, M. I., & Rodríguez-Haros, B. (2020). Impact of the Market on the Specialization and Competitiveness of Avocado

- Production in Mexico. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup3), S1942-S1958. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1837711>
- Villa-Rodriguez, J. A., Yahia, E. M., González-León, A., Ifie, I., Robles-Zepeda, R. E., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2020). Ripening of 'Hass' avocado mesocarp alters its phytochemical profile and the in vitro cytotoxic activity of its methanolic extracts. *South African Journal of Botany*, 128, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.09.020>
- Wang, J., Li, Y., Jin, Z., & Cheng, Y. (2022a). Physicochemical, Morphological, and Functional Properties of Starches Isolated from Avocado Seeds, a Potential Source for Resistant Starch. *Biomolecules*, 12(8), 1121. <https://doi.org/10.3390/biom12081121>
- Wang, J., Li, Y., Jin, Z., & Cheng, Y. (2022b). Physicochemical, Morphological, and Functional Properties of Starches Isolated from Avocado Seeds, a Potential Source for Resistant Starch. *Biomolecules*, 12(8), 1121. <https://doi.org/10.3390/biom12081121>
- Wang, W., Chen, W., Yang, H., & Cui, M. (2017). Textural and rheological properties of potato starch as affected by amino acids. *International Journal of Food Properties*, 20(sup3), S3123-S3134. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1396475>
- Wang, Y. (2003). Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 52(3), 207-217. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00304-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00304-1)
- Wang, Y.-J., & Wang, L. (2003). Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 52(3), 207-217. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)003041](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)003041)
- Zhang, D., Smith, D. E., Jack, D. A., & Montgomery-Smith, S. (2012). *Rheological Study on Multiple Fiber Suspensions for Fiber Reinforced Composite Materials Processing*. 203-212. <https://doi.org/10.1115/IMECE2011-64498>
- Zhou, F., Liu, Q., Zhang, H., Chen, Q., & Kong, B. (2016a). Potato starch oxidation induced by sodium hypochlorite and its effect on functional properties and digestibility. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 410-417. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.050>
- Zhou, F., Liu, Q., Zhang, H., Chen, Q., & Kong, B. (2016b). Potato starch oxidation induced by sodium hypochlorite and its effect on functional properties and digestibility. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 410-417. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.050>
- Zhu, D., Zhang, H., Guo, B., Xu, K., Dai, Q., Wei, C., Zhou, G., & Huo, Z. (2017). Physicochemical properties of indica-japonica hybrid rice starch from Chinese varieties. *Food Hydrocolloids*, 63, 356-363. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.013>

ANEXOS

BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Anexo 1. Análisis estadístico de los datos experimentales del contenido de carboxilos en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 2

Análisis de varianza en contenido de carboxilos en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	0.051	0.017	4720.046	0.000
pH	1	0.009	0.009	2634.270	0.000
NaClO: C	2	0.087	0.043	12032.529	0.000
A*pH	3	0.001	0.000	136.819	0.000
A*C	6	0.018	0.003	817.641	0.000
pH*C	2	0.001	0.000	124.081	0.000
A*pH*C	6	0.001	0.000	41.239	0.000
Residuales	48	0.000	0.000		
Total	71	0.168			

Tabla 3

Prueba de Tukey en contenido de carboxilos en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Carboxilos (%)
Maíz	10	2	0.20 ± 0.000 a
Papa	10	2	0.19 ± 0.002 b
Semilla de palta	10	2	0.18 ± 0.001 c
Papa	10	1.5	0.17 ± 0.003 d
Semilla de palta	10	1.5	0.16 ± 0.001 de
Yuca	10	2	0.16 ± 0.002 e
Papa	8	2	0.16 ± 0.003 ef
Maíz	8	2	0.15 ± 0.001 fg
Semilla de palta	8	2	0.15 ± 0.001 g
Yuca	8	2	0.14 ± 0.002 h
Papa	10	1	0.14 ± 0.003 h
Semilla de palta	8	1.5	0.13 ± 0.001 i
Semilla de palta	10	1	0.13 ± 0.001 j
Papa	8	1.5	0.13 ± 0.003 j
Maíz	10	1.5	0.12 ± 0.001 j
Papa	8	1	0.12 ± 0.004 k
Maíz	8	1.5	0.11 ± 0.002 l
Semilla de palta	8	1	0.10 ± 0.001 l
Yuca	10	1.5	0.07 ± 0.002 m
Yuca	8	1.5	0.07 ± 0.001 mn
Maíz	10	1	0.07 ± 0.002 n
Maíz	8	1	0.06 ± 0.001 o
Yuca	10	1	0.03 ± 0.001 p
Yuca	8	1	0.02 ± 0.001 p
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		0.00 ± 0.000 q
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		0.00 ± 0.000 q
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		0.00 ± 0.000 q
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		0.00 ± 0.000 q

Anexo 2. Análisis estadístico de los datos experimentales del contenido de carbonilos en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 4

Análisis de varianza en contenido de carbonilos en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	0.083	0.028	5371.364	0.000
pH	1	0.003	0.003	631.418	0.000
NaClO: C	2	0.021	0.010	1989.981	0.000
A*pH	3	0.001	0.000	95.087	0.000
A*C	6	0.002	0.000	60.644	0.000
pH*C	2	0.000	0.000	17.906	0.000
A*pH*C	6	0.001	0.000	24.756	0.000
Residuales	48	0.000	0.000		
Total	71	0.111			

Tabla 5

Prueba de Tukey en contenido de carbonilos en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Carbonilos (%)
Semilla de palta	10	2	0.14 ± 0.002 a
Semilla de palta	8	2	0.13 ± 0.003 b
Semilla de palta	10	1.5	0.12 ± 0.004 b
Semilla de palta	8	1.5	0.11 ± 0.001 c
Semilla de palta	10	1	0.11 ± 0.001 c
Maíz	10	2	0.09 ± 0.001 d
Yuca	10	2	0.08 ± 0.003 e
Semilla de palta	8	1	0.08 ± 0.003 e
Maíz	10	1.5	0.06 ± 0.001 f
Yuca	8	2	0.06 ± 0.003 f
Maíz	8	2	0.05 ± 0.000 g
Maíz	10	1	0.05 ± 0.000 gh
Papa	10	2	0.04 ± 0.004 hi
Yuca	10	1.5	0.04 ± 0.003 hi
Maíz	8	1.5	0.04 ± 0.001 hij
Papa	8	2	0.04 ± 0.003 ijk
Yuca	8	1.5	0.03 ± 0.003 jkl
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		0.03 ± 0.003 kl
Maíz	8	1	0.03 ± 0.002 l
Papa	8	1.5	0.02 ± 0.002 m
Papa	10	1.5	0.02 ± 0.002 mn
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		0.02 ± 0.002 mn
Yuca	10	1	0.01 ± 0.003 no
Papa	10	1	0.01 ± 0.002 no
Yuca	8	1	0.01 ± 0.001 op
Papa	8	1	0.01 ± 0.002 op
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		0.00 ± 0.001 p
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		0.00 ± 0.001 p

Anexo 3. Análisis estadístico de los datos experimentales del porcentaje de amilosa en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 6

Análisis de varianza en porcentaje de amilosa en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	2039.100	679.700	17577.186	0.000
pH	1	141.450	141.450	3657.938	0.000
NaClO: C	2	32.580	16.290	421.232	0.000
A*pH	3	15.600	5.200	134.478	0.000
A*C	6	9.320	1.550	40.185	0.000
pH*C	2	0.140	0.070	1.805	0.176
A*pH*C	6	2.420	0.400	10.410	0.000
Residuales	48	1.860	0.040		
Total	71	2242.470			

Tabla 7

Prueba de Tukey en porcentaje de amilosa en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Amilosa (%)	
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		35.55 ± 0.10	a
Semilla de palta	8	1	34.67 ± 0.30	b
Semilla de palta	8	1.5	32.23 ± 0.58	c
Semilla de palta	8	2	31.40 ± 0.04	d
Semilla de palta	10	1	31.12 ± 0.10	d
Semilla de palta	10	1.5	30.03 ± 0.06	e
Semilla de palta	10	2	28.39 ± 0.20	f
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		27.37 ± 0.29	g
Papa	8	1	27.08 ± 0.05	gh
Papa	8	1.5	26.44 ± 0.09	hi
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		26.01 ± 0.03	ij
Papa	8	2	25.87 ± 0.09	ijk
Maíz	8	1	25.55 ± 0.04	jk
Papa	10	1	25.35 ± 0.06	kl
Maíz	8	1.5	25.30 ± 0.08	kl
Maíz	8	2	24.80 ± 0.08	l
Papa	10	1.5	23.98 ± 0.11	m
Papa	10	2	22.98 ± 0.43	n
Maíz	10	1	21.35 ± 0.26	o
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		21.08 ± 0.36	op
Maíz	10	1.5	21.02 ± 0.06	op
Maíz	10	2	20.59 ± 0.24	p
Yuca	8	1	17.74 ± 0.13	q
Yuca	8	1.5	17.37 ± 0.16	q
Yuca	8	2	16.69 ± 0.05	r
Yuca	10	1	16.14 ± 0.10	r
Yuca	10	1.5	15.44 ± 0.08	s
Yuca	10	2	15.12 ± 0.13	s

Anexo 4. Análisis estadístico de los datos experimentales del poder de hinchamiento a 60 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 8

Análisis de varianza en poder de hinchamiento evaluado a 60 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	1155.840	385.280	34121.419	0.000
pH	1	0.500	0.500	44.207	0.000
NaClO: C	2	13.300	6.650	589.043	0.000
A*pH	3	5.500	1.830	162.260	0.000
A*C	6	5.200	0.870	76.723	0.000
pH*C	2	0.040	0.020	1.703	0.193
A*pH*C	6	0.450	0.080	6.673	0.000
Residuales	48	0.540	0.010		
Total	71	1181.370			

Tabla 9

Prueba de Tukey en poder de hinchamiento evaluado a 60 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Poder de hinchamiento (g/g) a 60 °C	
<i>Papa</i>		<i>Nativo</i>	14.18 ± 0.04	a
Papa	8	1	13.19 ± 0.08	b
Papa	10	1	12.02 ± 0.17	c
Papa	8	1.5	11.85 ± 0.26	c
Papa	8	2	10.89 ± 0.15	d
Papa	10	1.5	10.57 ± 0.18	d
Papa	10	2	10.09 ± 0.23	e
<i>Maíz</i>		<i>Nativo</i>	3.64 ± 0.11	f
<i>Yuca</i>		<i>Nativo</i>	3.12 ± 0.06	g
Yuca	10	1	2.95 ± 0.05	gh
Maíz	8	1	2.86 ± 0.06	ghi
Yuca	8	1	2.79 ± 0.09	hi
Maíz	10	1	2.75 ± 0.11	hij
Maíz	8	1.5	2.59 ± 0.09	ijk
Yuca	10	1.5	2.56 ± 0.03	ijk
Maíz	10	1.5	2.46 ± 0.03	jkl
Maíz	8	2	2.37 ± 0.03	klm
<i>Semilla de palta</i>		<i>Nativo</i>	2.33 ± 0.09	klm
Maíz	10	2	2.31 ± 0.00	klm
Yuca	10	2	2.19 ± 0.08	lmn
Yuca	8	1.5	2.13 ± 0.01	lmn
Semilla de palta	10	1	2.11 ± 0.07	mn
Semilla de palta	10	1.5	1.93 ± 0.02	no
Semilla de palta	8	1	1.92 ± 0.06	no
Yuca	8	2	1.73 ± 0.02	op
Semilla de palta	8	1.5	1.51 ± 0.07	pq
Semilla de palta	8	2	1.39 ± 0.02	q
Semilla de palta	10	2	1.27 ± 0.04	q

Anexo 5. Análisis estadístico de los datos experimentales del poder de hinchamiento a 70 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 10

Análisis de varianza en poder de hinchamiento evaluado a 70 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	1083.550	361.180	11353.066	0.000
pH	1	0.560	0.560	17.476	0.000
NaClO: C	2	45.310	22.660	712.147	0.000
A*pH	3	1.070	0.360	11.231	0.000
A*C	6	44.390	7.400	232.574	0.000
pH*C	2	2.950	1.480	46.368	0.000
A*pH*C	6	15.840	2.640	82.961	0.000
Residuales	48	1.530	0.030		
Total	71	1195.200			

Tabla 11

Prueba de Tukey en poder de hinchamiento evaluado a 70 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Poder de hinchamiento (g/g) a 70 °C	
<i>Papa</i>		<i>Nativo</i>	16.91 ± 0.10	a
Papa	8	1	16.57 ± 0.17	a
<i>Yuca</i>		<i>Nativo</i>	14.86 ± 0.08	b
Papa	10	1	14.25 ± 0.24	c
Yuca	10	1	14.18 ± 0.02	c
Yuca	8	1	14.03 ± 0.12	c
Yuca	8	1.5	13.83 ± 0.14	cd
Papa	10	1.5	13.74 ± 0.56	cd
Yuca	8	2	13.46 ± 0.03	d
Yuca	10	1.5	13.33 ± 0.29	d
Yuca	10	2	12.52 ± 0.20	e
Papa	8	1.5	11.21 ± 0.15	f
Papa	10	2	10.37 ± 0.21	g
Papa	8	2	9.96 ± 0.28	g
<i>Maíz</i>		<i>Nativo</i>	8.63 ± 0.20	h
Maíz	8	1	8.27 ± 0.02	hi
Maíz	10	1	8.08 ± 0.10	i
Maíz	8	1.5	7.97 ± 0.13	ij
Maíz	10	1.5	7.49 ± 0.07	jk
Maíz	8	2	7.48 ± 0.10	jk
Maíz	10	2	7.14 ± 0.00	k
<i>Semilla de palta</i>		<i>Nativo</i>	4.60 ± 0.02	l
Semilla de palta	8	1	4.27 ± 0.02	lm
Semilla de palta	10	1	4.22 ± 0.02	lm
Semilla de palta	8	1.5	4.04 ± 0.03	mn
Semilla de palta	10	1.5	3.94 ± 0.02	mn
Semilla de palta	8	2	3.85 ± 0.03	mn
Semilla de palta	10	2	3.55 ± 0.11	n

Anexo 6. Análisis estadístico de los datos experimentales del poder de hinchamiento a 80 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 12

Análisis de varianza en poder de hinchamiento evaluado a 80 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	2677.000	892.330	19097.896	0.000
pH	1	3.250	3.250	69.557	0.000
NaClO: C	2	452.390	226.190	4841.048	0.000
A*pH	3	101.330	33.780	722.908	0.000
A*C	6	779.330	129.890	2779.884	0.000
pH*C	2	16.240	8.120	173.734	0.000
A*pH*C	6	31.240	5.210	111.434	0.000
Residuales	48	2.240	0.050		
Total	71	4063.020			

Tabla 13

Prueba de Tukey en poder de hinchamiento evaluado a 80 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Poder de hinchamiento (g/g) a 80 °C	
<i>Yuca</i>		<i>Nativo</i>	37.61 ± 0.17	a
Yuca	10	1	36.61 ± 0.29	b
Yuca	8	1	29.70 ± 0.00	c
Yuca	10	1.5	24.28 ± 0.22	d
Yuca	8	1.5	18.14 ± 0.60	e
Papa	8	1	17.37 ± 0.20	f
<i>Papa</i>		<i>Nativo</i>	17.34 ± 0.03	f
Papa	10	1	16.56 ± 0.28	g
Papa	8	1.5	16.35 ± 0.09	g
Papa	8	2	15.48 ± 0.43	h
Papa	10	1.5	14.32 ± 0.09	i
Yuca	10	2	13.30 ± 0.08	j
Yuca	8	2	13.29 ± 0.37	j
<i>Maíz</i>		<i>Nativo</i>	12.51 ± 0.10	k
Papa	10	2	12.25 ± 0.37	k
Maíz	8	1	9.13 ± 0.03	l
Maíz	8	1.5	8.76 ± 0.01	lm
Maíz	10	1	8.67 ± 0.05	lmn
Maíz	10	1.5	8.48 ± 0.00	mno
Maíz	8	2	8.18 ± 0.12	mno
<i>Semilla de palta</i>		<i>Nativo</i>	8.07 ± 0.15	nop
Maíz	10	2	8.01 ± 0.06	op
Semilla de palta	8	1	7.86 ± 0.07	op
Semilla de palta	8	1.5	7.44 ± 0.02	pq
Semilla de palta	10	1	7.43 ± 0.00	pq
Semilla de palta	10	1.5	7.07 ± 0.03	q
Semilla de palta	8	2	7.05 ± 0.03	q
Semilla de palta	10	2	6.87 ± 0.03	q

Anexo 7. Análisis estadístico de los datos experimentales del poder de hinchamiento a 90 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 14

Análisis de varianza en poder de hinchamiento evaluado a 90 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	5136.200	1712.050	32781.10	0.000
pH	1	16.700	16.700	319.75	0.000
NaClO: C	2	518.600	259.300	4964.88	0.000
A*pH	3	230.700	76.910	1472.62	0.000
A*C	6	587.500	97.910	1874.69	0.000
pH*C	2	24.600	12.280	235.12	0.000
A*pH*C	6	47.000	7.840	150.06	0.000
Residuales	48	2.500	0.050		
Total	71	6563.800			

Tabla 15

Prueba de Tukey en poder de hinchamiento evaluado a 90 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Poder de hinchamiento (g/g) a 90 °C	
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		59.08 ± 0.13	a
Yuca	10	1	48.24 ± 0.40	b
Yuca	8	1	35.93 ± 0.09	c
Yuca	10	1.5	34.17 ± 0.09	d
Yuca	8	1.5	28.36 ± 0.07	e
Yuca	10	2	25.23 ± 0.27	f
Yuca	8	2	22.07 ± 0.26	g
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		21.65 ± 0.37	g
Papa	8	1	20.22 ± 0.15	h
Papa	8	1.5	19.46 ± 0.13	i
Papa	10	1	19.17 ± 0.23	i
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		17.80 ± 0.12	j
Papa	10	1.5	16.41 ± 0.12	k
Papa	8	2	16.19 ± 0.68	k
Maíz	8	1	15.01 ± 0.13	l
Papa	10	2	14.47 ± 0.20	lm
Maíz	8	1.5	14.26 ± 0.03	mn
Maíz	10	1	14.11 ± 0.10	mn
Maíz	10	1.5	13.58 ± 0.22	no
Maíz	8	2	13.01 ± 0.00	op
Maíz	10	2	12.56 ± 0.48	p
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		11.42 ± 0.05	q
Semilla de palta	8	1	10.97 ± 0.11	q
Semilla de palta	10	1	10.95 ± 0.05	q
Semilla de palta	8	1.5	10.19 ± 0.02	r
Semilla de palta	8	2	10.04 ± 0.01	r
Semilla de palta	10	1.5	9.90 ± 0.04	r
Semilla de palta	10	2	8.49 ± 0.04	s

Anexo 8. Análisis estadístico de los datos experimentales de la solubilidad a 60 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 16

Análisis de varianza en solubilidad evaluada a 60 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	318.870	106.291	506114	0.000
pH	1	7.490	7.490	35663	0.000
NaClO: C	2	417.610	208.807	994254	0.000
A*pH	3	17.730	5.909	28134	0.000
A*C	6	124.830	20.805	99063	0.000
pH*C	2	2.940	1.469	6994	0.000
A*pH*C	6	7.450	1.242	5912	0.000
Residuales	48	0.010	0.000		
Total	71	896.930			

Tabla 17

Prueba de Tukey en solubilidad evaluado a 60 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Solubilidad (%) a 60 °C	
Yuca	10	2	14.02 ± 0.00	a
Papa	8	2	11.29 ± 0.02	b
Papa	10	2	11.19 ± 0.00	c
Yuca	8	2	11.02 ± 0.00	d
Papa	10	1.5	7.17 ± 0.00	e
Maíz	10	2	7.03 ± 0.00	f
Yuca	10	1.5	7.01 ± 0.00	f
Papa	8	1.5	6.24 ± 0.03	g
Yuca	8	1.5	6.01 ± 0.00	h
Maíz	8	2	5.12 ± 0.00	i
Maíz	10	1.5	4.03 ± 0.00	j
Yuca	10	1	4.01 ± 0.00	j
Semilla de palta	8	2	3.15 ± 0.01	k
Papa	10	1	3.14 ± 0.01	k
Maíz	8	1.5	3.10 ± 0.01	k
Yuca	8	1	3.01 ± 0.00	l
Semilla de palta	8	1.5	2.95 ± 0.03	m
Semilla de palta	10	2	2.85 ± 0.01	n
Semilla de palta	10	1.5	2.75 ± 0.02	o
Semilla de palta	8	1	2.73 ± 0.01	o
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		2.56 ± 0.03	p
Papa	8	1	2.18 ± 0.01	q
Maíz	10	1	2.03 ± 0.00	r
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		1.13 ± 0.01	s
Maíz	8	1	1.09 ± 0.00	s
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		1.02 ± 0.00	t
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		1.01 ± 0.00	t
Semilla de palta	10	1	0.40 ± 0.04	u

Anexo 9. Análisis estadístico de los datos experimentales de la solubilidad a 70 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 18

Análisis de varianza en solubilidad evaluada a 70 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	614.030	204.680	390727.70	0.000
pH	1	11.210	11.210	21401.70	0.000
NaClO: C	2	662.890	331.450	632733.20	0.000
A*pH	3	10.630	3.540	6764.30	0.000
A*C	6	261.210	43.530	83108.10	0.000
pH*C	2	3.920	1.960	3741.30	0.000
A*pH*C	6	5.600	0.930	1781.40	0.000
Residuales	48	0.030	0.000		
Total	71	1569.520			

Tabla 19

Prueba de Tukey en solubilidad evaluado a 70 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Solubilidad (%) a 70 °C	
Papa	10	2	18.21 ± 0.00	a
Yuca	10	2	17.45 ± 0.01	b
Papa	8	2	17.21 ± 0.00	c
Yuca	8	2	14.36 ± 0.01	d
Papa	8	1.5	12.16 ± 0.03	e
Papa	10	1.5	11.17 ± 0.00	f
Maíz	10	2	11.08 ± 0.00	g
Yuca	10	1.5	9.31 ± 0.03	h
Maíz	8	2	9.08 ± 0.00	i
Yuca	8	1.5	8.28 ± 0.03	j
Yuca	10	1	7.24 ± 0.05	k
Maíz	10	1.5	7.06 ± 0.00	l
Yuca	8	1	6.24 ± 0.03	m
Maíz	8	1.5	6.07 ± 0.00	n
Papa	10	1	5.12 ± 0.01	o
Semilla de palta	8	2	4.79 ± 0.01	p
Semilla de palta	10	2	4.25 ± 0.01	q
Papa	8	1	4.09 ± 0.00	r
Maíz	10	1	4.05 ± 0.00	rs
Semilla de palta	8	1.5	4.01 ± 0.00	st
Semilla de palta	10	1.5	3.97 ± 0.01	t
Semilla de palta	8	1	3.77 ± 0.07	u
Semilla de palta	10	1	3.67 ± 0.03	v
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		3.55 ± 0.04	w
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		3.20 ± 0.01	x
Maíz	8	1	3.05 ± 0.00	y
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		2.08 ± 0.01	z
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		2.03 ± 0.00	z

Anexo 10. Análisis estadístico de los datos experimentales de la solubilidad a 80 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 20

Análisis de varianza en solubilidad evaluada a 80 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	716.480	238.830	65793.73	0.000
pH	1	28.400	28.400	7823.33	0.000
NaClO: C	2	1235.120	617.560	170130.31	0.000
A*pH	3	9.490	3.160	871.58	0.000
A*C	6	384.780	64.130	17667.03	0.000
pH*C	2	3.610	1.800	496.71	0.000
A*pH*C	6	3.250	0.540	149.39	0.000
Residuales	48	0.170	0.000		
Total	71	2381.300			

Tabla 21

Prueba de Tukey en solubilidad evaluado a 80 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Solubilidad (%) a 80 °C	
Yuca	10	2	25.75 ± 0.01	a
Papa	10	2	24.12 ± 0.00	b
Papa	8	2	23.18 ± 0.03	c
Yuca	8	2	22.88 ± 0.02	d
Maíz	10	2	17.08 ± 0.00	e
Yuca	10	1.5	16.66 ± 0.00	f
Papa	8	1.5	16.20 ± 0.02	g
Papa	10	1.5	16.15 ± 0.01	g
Yuca	8	1.5	14.65 ± 0.01	h
Maíz	8	2	14.20 ± 0.20	i
Maíz	10	1.5	11.08 ± 0.00	j
Yuca	10	1	10.53 ± 0.01	k
Semilla de palta	10	2	10.27 ± 0.11	l
Maíz	8	1.5	10.07 ± 0.00	m
Semilla de palta	10	1.5	9.65 ± 0.04	n
Semilla de palta	8	2	9.44 ± 0.02	o
Yuca	8	1	9.43 ± 0.04	o
Semilla de palta	8	1.5	9.20 ± 0.13	p
Papa	10	1	8.29 ± 0.00	q
Semilla de palta	8	1	8.19 ± 0.10	qr
Semilla de palta	10	1	8.10 ± 0.05	qr
Maíz	10	1	8.06 ± 0.00	r
Papa	8	1	7.15 ± 0.03	s
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		7.13 ± 0.13	s
Maíz	8	1	6.06 ± 0.00	t
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		5.36 ± 0.01	u
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		4.04 ± 0.00	v
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		3.19 ± 0.00	w

Anexo 11. Análisis estadístico de los datos experimentales de la solubilidad a 90 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 22

Análisis de varianza en solubilidad evaluada a 90 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	1409.620	469.870	1024649	0.000
pH	1	155.700	155.700	339527	0.000
NaClO: C	2	2546.090	1273.050	2776124	0.000
A*pH	3	48.090	16.030	34958	0.000
A*C	6	706.210	117.700	256673	0.000
pH*C	2	71.430	35.710	77883	0.000
A*pH*C	6	51.560	8.590	18738	0.000
Residuales	48	0.020	0.000		
Total	71	4988.720			

Tabla 23

Prueba de Tukey en solubilidad evaluado a 90 °C en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Solubilidad (%) a 90 °C	
Yuca	10	2	40.85 ± 0.00	a
Yuca	8	2	30.94 ± 0.03	b
Maíz	10	2	30.08 ± 0.00	c
Papa	10	2	29.43 ± 0.01	d
Papa	8	2	28.42 ± 0.01	e
Yuca	10	1.5	23.78 ± 0.01	f
Maíz	8	2	21.11 ± 0.00	g
Yuca	8	1.5	20.75 ± 0.00	h
Papa	10	1.5	20.38 ± 0.01	i
Papa	8	1.5	20.31 ± 0.01	i
Maíz	10	1.5	16.08 ± 0.00	j
Maíz	8	1.5	15.09 ± 0.00	k
Yuca	10	1	14.66 ± 0.04	l
Semilla de palta	10	2	14.63 ± 0.04	l
Yuca	8	1	13.61 ± 0.01	m
Semilla de palta	10	1.5	13.06 ± 0.02	n
Semilla de palta	10	1	12.17 ± 0.02	o
Semilla de palta	8	2	11.52 ± 0.06	p
Maíz	10	1	11.07 ± 0.00	q
Semilla de palta	8	1.5	10.32 ± 0.04	r
Papa	10	1	10.30 ± 0.01	r
Papa	8	1	10.26 ± 0.01	r
Semilla de palta	8	1	9.78 ± 0.02	s
Maíz	8	1	9.08 ± 0.00	t
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		8.59 ± 0.17	u
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		7.51 ± 0.01	v
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		6.06 ± 0.00	w
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		5.21 ± 0.00	x

Anexo 12. Curvas de flujo en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Figura 20

Curva de flujo de en almidón nativo y oxidado de semilla de palta a pH 8 y 10

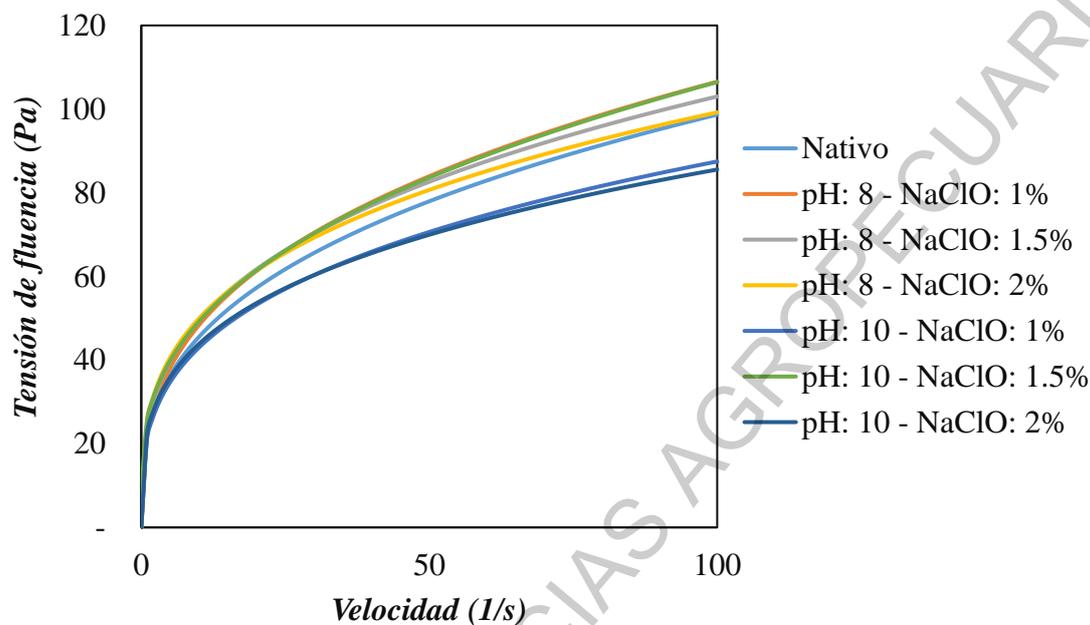


Figura 21

Curva de flujo de en almidón nativo y oxidado de semilla de yuca a pH 8 y 10

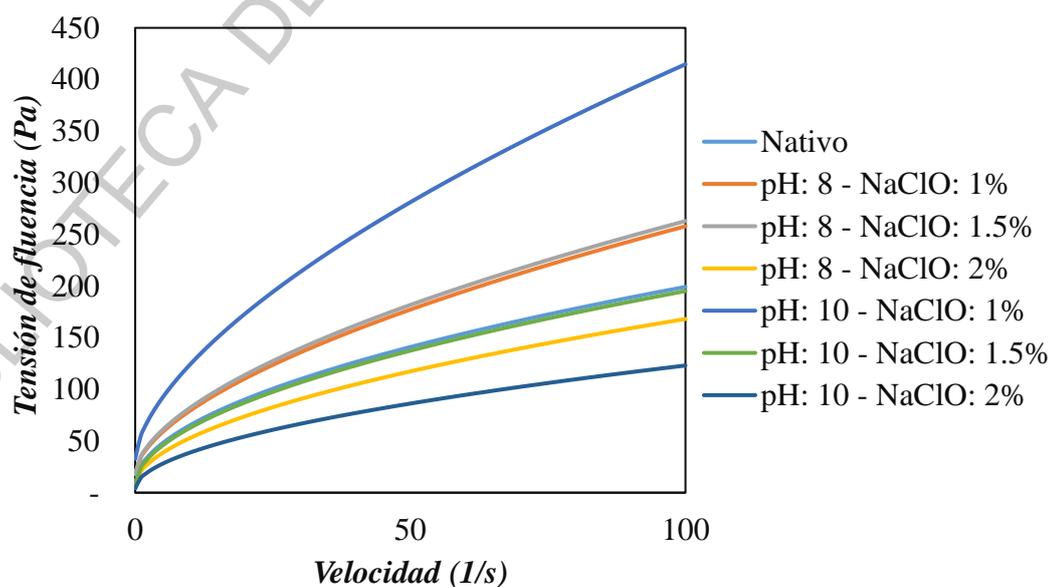


Figura 22

Curva de flujo de en almidón nativo y oxidado de semilla de papa a pH 8 y 10

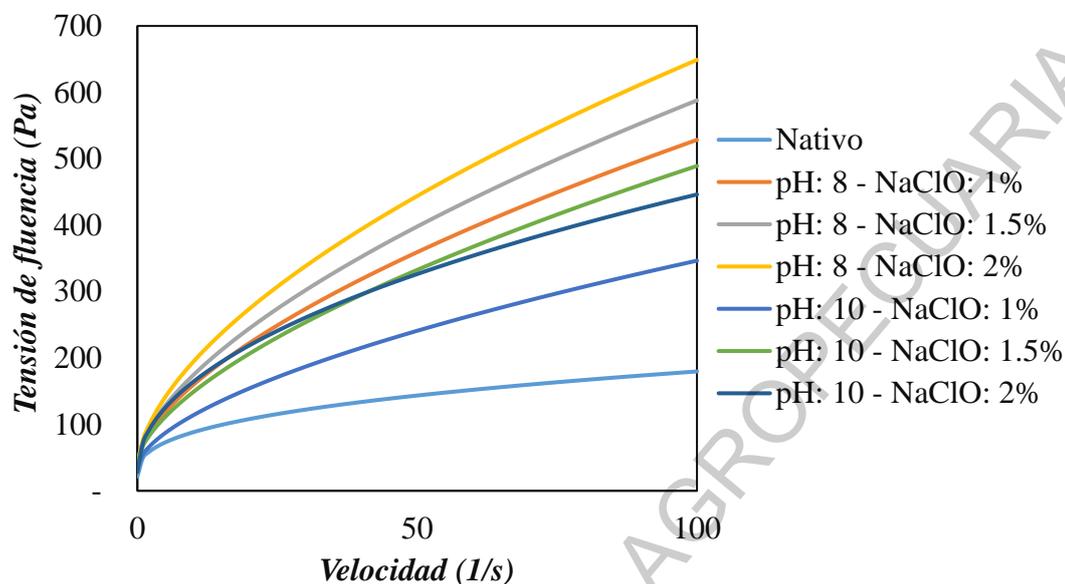
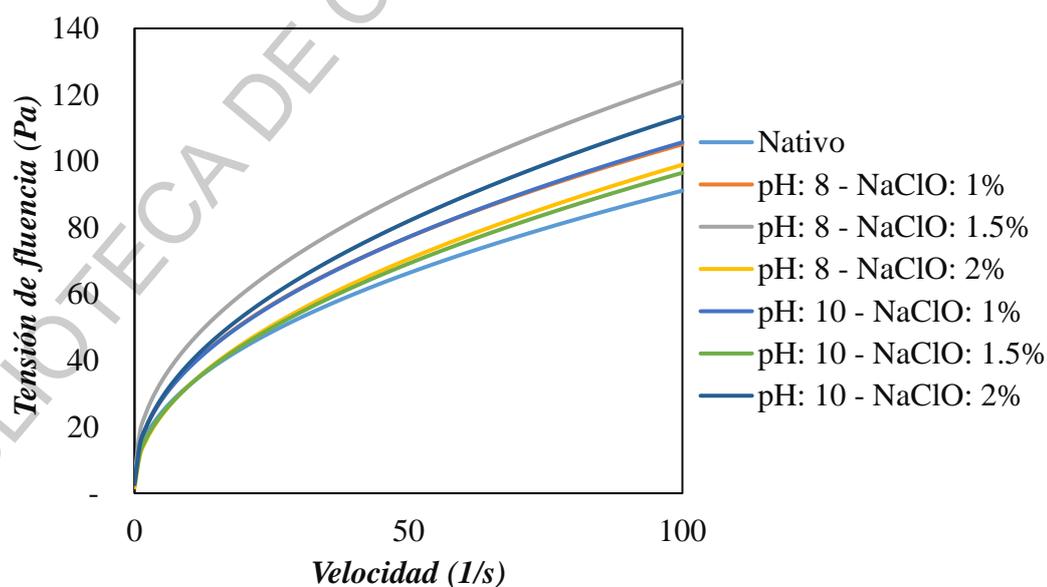


Figura 23

Curva de flujo de en almidón nativo y oxidado de semilla de maíz a pH 8 y 10



Anexo 13. Análisis estadístico de los datos experimentales de la tensión de fluencia en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 24

Análisis de varianza en la tensión de fluencia en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	16475.500	5491.800	3063.397	0.000
pH	1	9.800	9.800	5.449	0.024
NaClO: C	2	818.000	409.000	228.142	0.000
A*pH	3	135.800	45.300	25.242	0.000
A*C	6	955.200	159.200	88.802	0.000
pH*C	2	33.300	16.600	9.280	0.000
A*pH*C	6	753.400	125.600	70.046	0.000
Residuales	48	86.100	1.800		
Total	71	19267.100			

Tabla 25

Prueba de Tukey en la tensión de fluencia en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Tensión de fluencia (Pa)
Papa	8	1.5	43.24 ± 2.92 a
Papa	10	1.5	41.91 ± 0.46 a
Papa	8	1	41.90 ± 0.81 a
Papa	8	2	35.85 ± 1.31 b
Papa	10	1	35.22 ± 1.97 b
Yuca	10	1	32.71 ± 0.69 b
Papa	10	2	28.16 ± 2.80 c
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		21.52 ± 0.82 d
Yuca	8	1	18.08 ± 0.84 d
Yuca	8	1.5	18.04 ± 0.45 d
Semilla de palta	10	1.5	9.32 ± 2.22 e
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		8.54 ± 0.36 ef
Yuca	10	1.5	7.35 ± 1.00 efg
Yuca	8	2	7.34 ± 0.51 efg
Maíz	8	1.5	5.30 ± 0.06 fgh
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		3.97 ± 0.22 ghi
Yuca	10	2	3.97 ± 0.07 ghi
Maíz	10	1	3.37 ± 0.27 hij
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		2.91 ± 2.41 hij
Maíz	10	2	2.75 ± 0.39 hij
Maíz	10	1.5	2.58 ± 0.27 hij
Maíz	8	1	2.03 ± 0.53 hij
Maíz	8	2	1.72 ± 0.15 hij
Semilla de palta	8	1	0.50 ± 0.31 ij
Semilla de palta	8	1.5	0.00 ± 0.00 j
Semilla de palta	8	2	0.00 ± 0.00 j
Semilla de palta	10	1	0.00 ± 0.00 j
Semilla de palta	10	2	0.00 ± 0.00 j

Anexo 14. Análisis estadístico de los datos experimentales del coeficiente de consistencia en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 26

Análisis de varianza en el coeficiente de consistencia en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	4187.000	1395.650	1514.650	0.000
pH	1	56.800	56.750	61.591	0.000
NaClO: C	2	151.800	75.910	82.384	0.000
A*pH	3	70.100	23.370	25.367	0.000
A*C	6	1175.900	195.990	212.701	0.000
pH*C	2	64.500	32.250	34.998	0.000
A*pH*C	6	182.500	30.410	33.002	0.000
Residuales	48	44.200	0.920		
Total	71	5932.800			

Tabla 27

Prueba de Tukey en el coeficiente de consistencia en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Coeficiente de consistencia (Pa.sⁿ)	
Papa	10	2	44.25 ± 0.31	a
Papa	8	2	40.94 ± 0.99	b
Papa	8	1.5	31.49 ± 1.69	c
Papa	8	1	28.48 ± 1.27	cd
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		28.12 ± 2.17	de
Papa	10	1.5	25.54 ± 0.72	def
Semilla de palta	8	2	25.11 ± 3.13	ef
Semilla de palta	8	1.5	23.78 ± 0.09	fg
Semilla de palta	10	2	22.47 ± 1.58	fgh
Yuca	10	1	21.92 ± 0.45	ghi
Semilla de palta	8	1	21.59 ± 0.77	ghi
Semilla de palta	10	1	21.11 ± 0.40	ghi
Papa	10	1	19.83 ± 0.43	hij
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		18.96 ± 0.83	ijk
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		16.94 ± 0.26	jkl
Yuca	8	1.5	16.84 ± 0.26	jkl
Yuca	10	1.5	16.41 ± 0.52	klm
Semilla de palta	10	1.5	16.37 ± 1.22	klm
Yuca	8	1	15.72 ± 0.34	lmn
Maíz	8	1.5	13.29 ± 0.30	mno
Yuca	8	2	12.95 ± 0.43	nop
Maíz	8	1	12.58 ± 0.15	nopq
Maíz	10	2	11.97 ± 0.09	opqr
Maíz	10	1	11.64 ± 0.40	opqr
Yuca	10	2	10.22 ± 0.06	opqr
Maíz	8	2	9.78 ± 0.16	pqr
Maíz	10	1.5	9.52 ± 0.40	qr
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		9.40 ± 0.45	r

Anexo 15. Análisis estadístico de los datos experimentales del índice de comportamiento de flujo en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 28

Análisis de varianza en el índice de comportamiento de flujo en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	0.775	0.258	5747.980	0.000
pH	1	0.001	0.001	32.230	0.000
NaClO: C	2	0.022	0.011	239.715	0.000
A*pH	3	0.006	0.002	47.543	0.000
A*C	6	0.029	0.005	107.760	0.000
pH*C	2	0.006	0.003	69.945	0.000
A*pH*C	6	0.018	0.003	65.025	0.000
Residuales	48	0.002	0.000		
Total	71	0.860			

Tabla 29

Prueba de Tukey en el índice de comportamiento de flujo en almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Índice de comportamiento de flujo
Papa	10	1.5	0.62 ± 0.002 a
Yuca	10	1	0.62 ± 0.001 a
Papa	8	1.5	0.62 ± 0.009 a
Papa	8	1	0.62 ± 0.007 a
Papa	10	1	0.60 ± 0.006 ab
Yuca	8	1	0.59 ± 0.007 b
Papa	8	2	0.59 ± 0.003 b
Yuca	8	1.5	0.58 ± 0.002 b
Yuca	8	2	0.55 ± 0.004 c
Yuca	10	2	0.53 ± 0.001 c
Yuca	10	1.5	0.53 ± 0.002 c
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		0.53 ± 0.001 c
Maíz	8	2	0.50 ± 0.003 d
Maíz	10	1.5	0.50 ± 0.005 d
Papa	10	2	0.49 ± 0.001 de
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		0.48 ± 0.004 de
Maíz	10	2	0.48 ± 0.003 de
Maíz	8	1.5	0.48 ± 0.002 def
Maíz	10	1	0.47 ± 0.005 ef
Maíz	8	1	0.46 ± 0.002 f
Semilla de palta	10	1.5	0.39 ± 0.013 g
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		0.38 ± 0.021 gh
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		0.35 ± 0.007 hi
Semilla de palta	8	1	0.35 ± 0.007 i
Semilla de palta	8	1.5	0.32 ± 0.004 j
Semilla de palta	10	1	0.31 ± 0.002 jk
Semilla de palta	8	2	0.30 ± 0.021 jk
Semilla de palta	10	2	0.29 ± 0.009 k

Anexo 16. Análisis estadístico de los datos experimentales del parámetro de dureza respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 30

Análisis de varianza en análisis de dureza respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	152.314	50.771	13451.699	0.000
pH	1	0.018	0.018	4.699	0.035
NaClO: C	2	1.828	0.914	242.209	0.000
A*pH	3	1.332	0.444	117.637	0.000
A*C	6	1.172	0.195	51.770	0.000
pH*C	2	0.082	0.041	10.879	0.000
A*pH*C	6	0.180	0.030	7.942	0.000
Residuales	48	0.181	0.004		
Total	71	157.107			

Tabla 31

Prueba de Tukey en análisis de dureza respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Dureza (N)	
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		5.44 ± 0.10	a
Semilla de palta	10	1	5.30 ± 0.08	a
Semilla de palta	8	1	4.90 ± 0.13	b
Semilla de palta	10	1.5	4.84 ± 0.09	bc
Semilla de palta	8	1.5	4.66 ± 0.05	cd
Semilla de palta	10	2	4.49 ± 0.06	de
Semilla de palta	8	2	4.34 ± 0.09	e
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		2.56 ± 0.04	f
Maíz	8	1	2.46 ± 0.03	f
Maíz	8	1.5	2.39 ± 0.07	fg
Maíz	10	1	2.24 ± 0.08	gh
Maíz	8	2	2.13 ± 0.04	hi
Maíz	10	1.5	2.10 ± 0.03	hij
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		1.95 ± 0.06	ij
Maíz	10	2	1.93 ± 0.10	j
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		1.72 ± 0.04	k
Yuca	10	1	1.60 ± 0.08	kl
Papa	8	1	1.57 ± 0.05	klm
Yuca	10	2	1.51 ± 0.02	lm
Yuca	10	1.5	1.39 ± 0.01	mn
Yuca	8	2	1.28 ± 0.04	no
Papa	10	1	1.26 ± 0.01	no
Papa	8	1.5	1.24 ± 0.04	no
Yuca	8	1.5	1.11 ± 0.05	op
Yuca	8	1	1.03 ± 0.02	pq
Papa	10	1.5	0.87 ± 0.04	qr
Papa	8	2	0.80 ± 0.03	r
Papa	10	2	0.77 ± 0.02	r

Anexo 17. Análisis estadístico de los datos experimentales del parámetro de gomosidad respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 32

Análisis de varianza en análisis de gomosidad respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	149.774	49.925	381.568	0.000
pH	1	0.208	0.208	1.590	0.213
NaClO: C	2	4.612	2.306	17.626	0.000
A*pH	3	1.708	0.569	4.351	0.009
A*C	6	4.381	0.730	5.580	0.000
pH*C	2	0.381	0.191	1.458	0.243
A*pH*C	6	1.467	0.244	1.869	0.106
Residuales	48	6.280	0.131		
Total	71	168.811			

Tabla 33

Prueba de Tukey en análisis de gomosidad respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Gomosidad (N)	
Semilla de palta	10	1	6.02 ± 1.72	a
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		4.99 ± 0.13	ab
Semilla de palta	8	1	4.73 ± 0.15	bc
Semilla de palta	10	1.5	4.35 ± 0.07	bc
Semilla de palta	8	2	4.04 ± 0.08	bc
Semilla de palta	8	1.5	4.00 ± 0.11	bc
Semilla de palta	10	2	3.86 ± 0.08	c
Maíz	8	1.5	2.40 ± 0.10	d
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		2.38 ± 0.04	d
Maíz	8	1	2.32 ± 0.03	de
Maíz	10	1	2.14 ± 0.05	def
Maíz	8	2	1.99 ± 0.08	defg
Maíz	10	1.5	1.95 ± 0.03	defg
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		1.81 ± 0.02	defgh
Maíz	10	2	1.74 ± 0.08	defghi
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		1.61 ± 0.04	defghij
Papa	8	1	1.39 ± 0.04	defghij
Yuca	10	2	1.33 ± 0.03	defghij
Yuca	10	1	1.29 ± 0.03	efghij
Papa	10	1	1.13 ± 0.01	fghij
Yuca	10	1.5	1.10 ± 0.01	fghij
Yuca	8	2	0.96 ± 0.02	ghij
Yuca	8	1.5	0.95 ± 0.03	ghij
Yuca	8	1	0.87 ± 0.01	hij
Papa	10	2	0.68 ± 0.03	ij
Papa	10	1.5	0.67 ± 0.01	ij
Papa	8	1.5	0.66 ± 0.28	j
Papa	8	2	0.63 ± 0.05	j

Anexo 18. Análisis estadístico de los datos experimentales del parámetro de elasticidad respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 34

Análisis de varianza en análisis de elasticidad respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	0.042	0.014	40.117	0.000
pH	1	0.004	0.004	10.561	0.002
NaClO: C	2	0.001	0.000	0.723	0.490
A*pH	3	0.001	0.000	1.255	0.300
A*C	6	0.009	0.002	4.545	0.001
pH*C	2	0.007	0.003	9.461	0.000
A*pH*C	6	0.006	0.001	2.661	0.026
Residuales	48	0.017	0.000		
Total	71	0.086			

Tabla 35

Prueba de Tukey en análisis de elasticidad respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Elasticidad	
<i>Maíz</i>	<i>Nativo</i>		0.98 ± 0.01	a
Maíz	10	1	0.97 ± 0.01	ab
Maíz	8	1.5	0.96 ± 0.06	abc
Semilla de palta	10	2	0.95 ± 0.00	abcd
Maíz	10	2	0.94 ± 0.01	abcde
Maíz	10	1.5	0.94 ± 0.02	abcdef
<i>Papa</i>	<i>Nativo</i>		0.93 ± 0.01	abcdefg
Semilla de palta	10	1	0.93 ± 0.01	abcdefgh
Yuca	10	2	0.93 ± 0.01	abcdefgh
Maíz	8	1	0.92 ± 0.00	abcdefgh
Maíz	8	2	0.92 ± 0.03	abcdefghi
Semilla de palta	8	2	0.92 ± 0.00	abcdefghi
Yuca	8	1.5	0.92 ± 0.01	bcdefghij
Yuca	10	1	0.90 ± 0.01	cdefghijk
Yuca	8	1	0.90 ± 0.01	defghijk
Semilla de palta	8	1.5	0.90 ± 0.01	defghijk
Yuca	8	2	0.89 ± 0.01	efghijk
Papa	10	1.5	0.89 ± 0.01	efghijk
Yuca	10	1.5	0.89 ± 0.00	efghijk
Semilla de palta	10	1.5	0.89 ± 0.01	efghijk
Papa	8	1.5	0.88 ± 0.01	fghijk
Papa	10	2	0.88 ± 0.01	fghijk
<i>Yuca</i>	<i>Nativo</i>		0.88 ± 0.01	ghijk
Papa	8	1	0.87 ± 0.00	hijk
Papa	10	1	0.87 ± 0.02	ijk
Semilla de palta	8	1	0.86 ± 0.02	jk
Papa	8	2	0.85 ± 0.03	k
<i>Semilla de palta</i>	<i>Nativo</i>		0.85 ± 0.01	k

Anexo 19. Análisis estadístico de los datos experimentales del parámetro de cohesión respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz.

Tabla 36

Análisis de varianza en análisis de cohesión respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferentes pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p
Almidón: A	3	0.671	0.224	493.091	0.000
pH	1	0.001	0.001	2.452	0.124
NaClO: C	2	0.009	0.005	10.393	0.000
A*pH	3	0.009	0.003	6.658	0.001
A*C	6	0.029	0.005	10.662	0.000
pH*C	2	0.014	0.007	15.623	0.000
A*pH*C	6	0.018	0.003	6.632	0.000
Residuales	48	0.022	0.000		
Total	71	0.774			

Tabla 37

Prueba de Tukey en análisis de cohesión respecto al perfil de textura en geles de almidón nativo y oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz a diferente pH (8 y 10) y concentraciones (1, 1.5 y 2 g cloro activo/100 g de almidón)

Fuente de almidón	pH de la suspensión de almidón	Concentración de hipoclorito de sodio (%)	Cohesión
Maíz	8	1	0.96 ± 0.01 a
Maíz	8	1.5	0.96 ± 0.01 a
Maíz	10	1	0.95 ± 0.00 ab
Maíz	8	2	0.93 ± 0.01 ab
Maíz	10	2	0.93 ± 0.01 abc
<i>Maíz Nativo</i>			0.93 ± 0.00 abc
Maíz	10	1.5	0.93 ± 0.00 abc
<i>Papa Nativo</i>			0.92 ± 0.01 abcd
Yuca	10	2	0.89 ± 0.02 bcde
Semilla de palta	8	1.5	0.87 ± 0.01 cdef
Semilla de palta	8	2	0.86 ± 0.01 defg
Yuca	8	1.5	0.85 ± 0.01 defg
Semilla de palta	10	2	0.85 ± 0.00 defg
Yuca	8	1	0.85 ± 0.00 efg
Semilla de palta	10	1.5	0.84 ± 0.02 efg
Yuca	10	1	0.83 ± 0.01 efg
Semilla de palta	10	1	0.82 ± 0.01 efg
Semilla de palta	8	1	0.82 ± 0.01 fgh
Yuca	10	1.5	0.80 ± 0.01 ghi
<i>Yuca Nativo</i>			0.76 ± 0.01 hij
Yuca	8	2	0.76 ± 0.01 hij
Papa	10	1	0.74 ± 0.08 ijk
Papa	8	1	0.72 ± 0.00 jkl
Papa	10	1.5	0.69 ± 0.05 kl
<i>Semilla de palta Nativo</i>			0.69 ± 0.01 kl
Papa	8	1.5	0.65 ± 0.01 lm
Papa	10	2	0.65 ± 0.01 lm
Papa	8	2	0.59 ± 0.00 m



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

DECLARACIÓN JURADA

Los AUTORES suscritos en el presente documento DECLARAMOS BAJO JURAMENTO que somos los responsables legales de la calidad y originalidad del contenido del Proyecto de Investigación Científica, así como, del Informe de la Investigación Científica realizado.

TITULO:

Propiedades químicas, funcionales, reológicas y texturales en almidón oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz. Efecto de los parámetros de proceso

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

INFORME FINAL DE INVESTIGACION CIENTIFICA

PROY DE TRABAJO DE INVESTIGACION (PREGRADO)

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

PROYECTO DE TESIS PREGRADO

TESIS PREGRADO

PROYECTO DE TESIS MAESTRIA

TESIS MAESTRIA

PROYECTO DE TESIS DOCTORADO

TESIS DOCTORADO

Equipo Investigador Integrado por:

N°	Apellidos y Nombres	Facultad	Departamento Académico	Categoría Docente Asesor	Código Docente Asesor Número Matrícula del Estudiante	Autor Coautor asesor
01	Ventura Avalos, Yulissa Maribel	Ciencias Agropecuarias	Ciencias Agroindustriales	---	10224009-16	Autora
02	Díaz Soto, Linda Rebeca Fernanda	Ciencias Agropecuarias	Ciencias Agroindustriales	---	15124009-16	Autora
03	MSc. Barraza Jáuregui, Gabriela del Carmen	Ciencias Agropecuarias	Ciencias Agroindustriales	Principal	5577	Asesora
04	MSc. Alcántara Campos, José Carlos	Ingeniería Química	Química	Auxiliar Ordinario	6375	Co-asesor

Trujillo, 13 de junio de 2023


Ventura Avalos, Yulissa Maribel

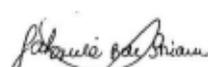
75503733

DNI DE LA TESISTA


Díaz Soto, Linda Rebeca Fernanda

76701678

DNI DE LA TESISTA


MSc. Barraza Jáuregui, Gabriela del Carmen

08715119

DNI DE LA ASESORA


MSc. Alcántara Campos, José Carlos

17893644

DNI DEL CO-ASESOR

Este formato debe ser llenado, firmado, adjuntado al final del documento del PIC, del Informe de Tesis, Trabajo de Investigación respectivamente.

Av. Juan Pablo II S/N – Trujillo – Perú.

e-mail: agroindustrial@unitru.edu.pe
www.unitru.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

UNT

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACION EN REPOSITORIO DIGITAL RENATI-SUNEDU

Trujillo, 13 de junio de 2021.

Los autores suscritos del INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Titulado:

Propiedades químicas, funcionales, reológicas y texturales en almidón oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz. Efecto de los parámetros de proceso

AUTORIZAMOS SU PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL, REPOSITORIO RENATI-SUNEDU, ALICIA-CONCYTEC, CON EL SIGUIENTE TIPO DE ACCESO:

- A. Acceso Abierto: (datos del autor y resumen del trabajo)
 B. Acceso Restringido
 C. No autorizo su Publicación

Si eligió la opción restringida o NO autoriza su publicación sírvase justificar

ESTUDIANTES DE PREGRADO: TRABAJO DE INVESTIGACION TESIS
 ESTUDIANTES DE POSTGRADO: TESIS MAESTRIA TESIS DOCTORADO
 DOCENTES: INFORME DE INVESTIGACION OTROS

El equipo investigador Integrado por:

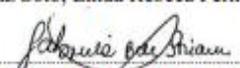
Nº	Apellidos y Nombres	Facultad	CONDICION (NOMBRADO, CONTRATADO, EMÉRITO, ESTUDIANTE, OTROS)	Código Docente Número Matrícula del Estudiante	Autor Coautor asesor
01	Ventura Avalos, Yulissa Maribel	Ciencias Agropecuarias	Bachiller	10224009-16	Autora
02	Díaz Soto, Linda Rebeca Fernanda	Ciencias Agropecuarias	Bachiller	15124009-16	Autora
03	MSc. Barraza Jáuregui, Gabriela del Carmen	Ciencias Agropecuarias	Principal	5577	Asesora
04	MSc. Alcántara Campos, José Carlos	Ingeniería Química	Auxiliar Ordinario	6375	Co-asesor


 Ventura Avalos, Yulissa Maribel

 75503733
 DNI DE LA TESISISTA


 Díaz Soto, Linda Rebeca Fernanda

 76701678
 DNI DE LA TESISISTA


 MSc. Barraza Jáuregui, Gabriela del Carmen

 08715119
 DNI DE LA ASESORA


 MSc. Alcántara Campos, José Carlos

 17893644
 DNI DEL CO-ASESOR

Este formato debe ser llenado, firmado y adjuntado en el Informe de Tesis y/o Trabajo de Investigación respectivamente. Este formato en el caso de Informe de Investigación científica docente debe ser llenado, firmado, escaneado y adjuntado en el sistema de www.picfedu.untriu.edu.pe

Av. Juan Pablo II S/N – Trujillo – Perú.

 e-mail: agroindustrial@untriu.edu.pe
www.untriu.edu.pe



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ DE ÉTICA EN
INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD – CON DEPÓSITO

N° 0044-2023-FAC.CC.AGROP-UNT

1. Investigador: **VENTURA AVALOS, YULISSA MARIBEL.**

DNI: **75503733**

Código: **N° 1022400916**

2. Asesor: **MSc. Barraza Jáuregui Gabriela del Carmen.**

3. Tipo de investigación: **BÁSICA**

4. Título de Trabajo de Investigación:

Propiedades químicas, funcionales, reológicas y texturales en almidón oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz. Efecto de los parámetros de proceso

5. Fecha de evaluación: **14 de junio de 2023**

6. Software antiplagio: **TURNITIN**

7. Porcentaje de similitud permitido en el informe de originalidad: hasta el 20 %

Porcentaje de similitud obtenido	Resultado de evaluación
09 %	APROBADO

Trujillo, 14 de junio de 2023



M. Sc. CESAR EDUARDO HONORIO JAVES
Presidente de Comité de Ética en Investigación
Facultad de Ciencias Agropecuarias

C.c. Archivo
CEHI/UBNA



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD – CON DEPÓSITO

N° 0043-2023-FAC.CC.AGROP-UNT

1. Investigador: **DÍAZ SOTO, LINDA REBECA FERNANDA.**

DNI: **76701678**

Código: N° **1512400916**

2. Asesor: **MSc. Barraza Jáuregui Gabriela del Carmen.**

3. Tipo de investigación: **BÁSICA**

4. Título de Trabajo de Investigación:

Propiedades químicas, funcionales, reológicas y texturales en almidón oxidado de semilla de palta, yuca, papa y maíz. Efecto de los parámetros de proceso

5. Fecha de evaluación: **14 de junio de 2023**

6. Software antiplagio: **TURNITIN**

7. Porcentaje de similitud permitido en el informe de originalidad: hasta el 20 %

Porcentaje de similitud obtenido	Resultado de evaluación
09 %	APROBADO

Trujillo, 14 de junio de 2023



M. Sc. CESAR EDUARDO HONORIO JAVES

Presidente de Comité de Ética en Investigación

Facultad de Ciencias Agropecuarias

C.c. Archivo
CEHI/UBNA