

**Evaluación de la digestibilidad de almidón de  
zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*)  
tratado por recocido *in situ***

**Diana Carolina Sáez Benavides**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Evaluación de la digestibilidad de almidón de  
zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*)  
tratado por recocido *in situ***

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Diana Carolina Sáez Benavides**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2020

## Evaluación de la digestibilidad de almidón de zanahoria blanca (*Arraica xanthorrhiza*) tratado por recocado *in situ*

Diana Carolina Sáez Benavides

**Resumen.** La zanahoria blanca es un tubérculo de origen suramericano, contiene 67.29% de almidón. El almidón se clasifica de acuerdo con el tiempo en que es digerido, Almidón Rápidamente Digerible (ARD), Almidón Lentamente Digerible (ALD) y Almidón Resistente (AR). Las fracciones ALD y AR tienen un efecto positivo en la salud, para que estas fracciones aumenten, se han propuesto diferentes modificaciones, una de ellas es recocado *in situ*. El recocado *in situ* se basa en someter el tubérculo a temperaturas y tiempos específicos. Los objetivos de este estudio fueron determinar la mejor combinación de tiempo y temperatura para obtención de ALD y AR y evaluar la viabilidad de esta modificación. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial, cuatro temperaturas y tres tiempos, para un total de doce tratamientos más el control y dos repeticiones, se realizó un análisis de varianza, ANDEVA, y una separación de medias LSMEANS. El estudio se llevó a cabo en los laboratorios de investigación de la Universidad Estadual de Londrina, se realizó la modificación a temperaturas de 35, 40, 47 y 54 °C por 12, 24 y 48 horas, se extrajo el almidón y se midió el perfil de digestibilidad *in vitro*, para conocer el contenido de cada fracción. La modificación del almidón por recocado *in situ*, no demostró ninguna combinación de tiempo y temperatura que aumentara las fracciones beneficiosas para la salud y no resultó ser viable para disminuir la velocidad de digestión.

**Palabras clave:** Almidón lentamente digerible, almidón rápidamente digerible, y almidón resistente.

**Abstract.** The white carrot is a tuber of South American origin, it contains 67.29% starch. Starch is classified according to the time it is digested into Rapidly Digestible Starch (RDS), Slowly Digestible Starch (SDS) and Resistant Starch (RS). The SDS and RS fractions have a positive effect on human health, for these fractions to increase, different modifications have been proposed, one of them is Annealing *in situ*. Annealing *in situ* is based on placing the tuber to specific temperatures and times. The objectives of this study were to determine the best combination of time and temperature to obtain SDS and RS and to evaluate the viability of the modification by Annealing *in situ*, of the white carrot starch. A Completely Randomized Design (CRD) was used, with factorial arrangement, four temperatures and three times, resulting in 12 treatments plus the control, results were analyzed through an analysis of variance, ANOVA, and a separation of means using LSMEANS. The study was carried out in the research laboratories of the State University of Londrina, the modification was carried out at temperatures of 35, 40, 47 and 54 °C for 12, 24 and 48 hours, the starch was extracted from the white carrots and the digestibility profile was measured *in vitro* to know the content of each fraction. Modification of the starch by Annealing *in situ* did not show any combination of temperature and time to increase the beneficial health fractions and it was not viable to decrease the speed of digestion.

**Keywords:** Quickly digestible starch, slowly digestible starch and resistant starch.

## INDICE GENERAL

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros y Figuras .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>13</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>14</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>15</b>

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Proporciones de glucosa y etanol para la elaboración de la curva patrón de glucosa.....	4
2. Contenido de Almidón Rápidamente Digerible (ARD), Almidón Lentamente Digerible (ALD) y Almidón Resistente (AR) de zanahoria blanca, tratado por recocado <i>in situ</i> ...	7

Figuras	Página
1. Curva patrón de glucosa.....	6
2. Aumento de la fracción ARD y disminución de la fracción AR, para los tratamientos que son estadísticamente diferente al control.....	8
3. Comportamiento de las fracciones ARD, ALD y AR para el almidón de zanahoria blanca, en el tratamiento de 35 °C a 12 h respecto al no modificado .....	10
4. Comportamiento de las fracciones de ARD, ALD y AR, en zanahoria blanca para los tratamientos de 40 °C a 24 h y 54 °C a 24 h y 48 h respecto al no modificado.....	10
5. Comportamiento de las fracciones de ARD, ALD y AR, en zanahoria blanca para los tratamientos de 47 °C a 24 y 48 h respecto al no modificado.....	12

# 1. INTRODUCCIÓN

La zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) es un tubérculo de origen sur americano, perteneciente a la familia *Apiaceae* (Parra *et al.* 2015), sus raíces contienen cerca de 67.29 g de almidón por cada 100 g de materia seca (Mazón *et al.* 1996). En Brasil, se producen cerca de 16 mil hectáreas de zanahoria blanca, específicamente en los estados del Sur y Sureste del país, Minas Gerais es el estado con mayor producción, cerca de 67 mil toneladas en el año 2018 (Rodrigues y Alencar 2018). Su consumo se realiza de manera directa y es poco aprovechada de manera industrial (EMBRAPA 2018). Actualmente cerca del 5% del total del volumen de la producción es utilizado por la industria (Macedo 2019). La degradación de este tubérculo empieza a ocurrir a los cuatro días después de ser cosechado (Ribeiro *et al.* 2007), esta situación deja a los productores en una posición arriesgada para su venta (Castanha *et al.* 2018). Debido a la cantidad de almidón de la zanahoria blanca, su fácil deterioro y poca participación en la industria, la extracción de su almidón y posible aplicación en la industria alimentaria se convierte en una alternativa interesante.

A lo largo de los años se ha asociado el consumo de almidones con enfermedades como diabetes tipo II y obesidad, se han realizado investigaciones que los clasifican de acuerdo al índice glucémico y la digestibilidad, en almidón rápidamente digerible que se digiere en los primeros 20 minutos de incubación, el almidón lentamente digerible que es digerido entre los 20 y 120 minutos y por último se encuentra el almidón resistente, el cual no puede ser absorbido en el intestino (Villarroel *et al.* 2018).

El almidón rápidamente digerible (ARD), provoca un aumento repentino en el nivel de glucosa en la sangre después de la ingestión, causando a lo largo de los años enfermedades como la diabetes tipo II, mientras que el almidón lentamente digerible (ALD) resulta en una liberación lenta y prolongada de glucosa en el torrente sanguíneo, pudiendo ser útil para controlar y prevenir enfermedades relacionadas con la hiperglucemia; y el almidón resistente (AR) es beneficioso para la salud por que se ha demostrado que puede prevenir el cáncer de colón, efectos hipoglucémicos y también es un sustrato para el crecimiento de microorganismos probióticos (Miao *et al.* 2015 ; Chung *et al.* 2006).

Para que las fracciones de almidones lentamente digeribles y resistentes aumenten, se han propuesto diferentes modificaciones físicas y una de ellas es el tratamiento por recocado *in situ*, donde se coloca el tubérculo durante tiempos y temperaturas específicas, que sean inferiores a la temperatura de gelatinización (Veyna *et al.* 2016). Estudios en papas y camote han demostrado el aumento del porcentaje de almidones lentamente digerible al ser tratados por recocado y la morfología permanece sin cambios (Song *et al.* 2014).

Cada vez más incrementa el número de industrias que se dedican al procesamiento y ventas de almidones (Econodata 2019), pero estos contienen índices glucémicos altos. Es allí donde la alternativa de someter el almidón a un tratamiento de recocado y extraerlo incentivará la producción de este tubérculo y habrá menos pérdidas para los productores, logrando aprovechar todo el potencial que la raíz ofrece. Al aumentar el almidón lentamente digerible, que demora en convertirse en glucosa por la acción de enzimas en el tracto intestinal y el resistente que no se

digiere (FOOD INGREDIENTS BRASIL 2015), contribuirá a mejorar la salud de las personas que consuman productos elaborados con este almidón.

La investigación realizada proveerá información valiosa para las industrias alimentarias que se dedican a la producción de almidones, ya que cada vez más, el mercado opta por productos con mayores beneficios para la salud, también contribuirá a la economía de los productores de zanahoria blanca por la demanda producida y disminuirán las pérdidas poscosecha por el uso dado. Los objetivos de la presente investigación fueron:

- Determinar la mejor combinación de tiempo y temperatura para obtención de almidón lentamente digerible y almidón resistente.
- Evaluar la viabilidad de la modificación por recocado *in situ*, del almidón de zanahoria blanca.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del estudio

Se desarrolló en los laboratorios de investigación del Departamento de Ciencia y Tecnología de alimentos, en la Universidad Estadual de Londrina, del estado de Paraná, Brasil.

### Materiales

- Zanahoria blanca, origen, Londrina, Brasil. CEASA (Central Estadual de Abastecimento)
- Glucosa (Glicose, Gold Analisa Diagnostica Ltda)
- Pancreatina (Pancreatin from porcine pancreas, SIGMA life science)
- Amiloglucosidasa (Amyloglucosidase solution from *Aspergillus niger*, SIGMA life science)

### Modificación de los almidones (*Recocido in situ*)

Las zanahorias blancas se limpiaron y fueron envueltas dos veces con papel film transparente de PVC, para luego ser colocadas en una estufa cerrada con circulación de aire (Marconi, MA 033). Dentro de la estufa se colocaron recipientes con agua para evitar la deshidratación de las muestras. Las condiciones de los tratamientos fueron diferentes combinaciones de tiempos y temperaturas. Las temperaturas eran 35, 40, 47 y 54 °C, mientras que los tiempos fueron de 12, 24 y 48 h.

### Extracción de los almidones

Las raíces fueron descascaradas y se le retiraron las impurezas. En seguida se cortaron en cubos pequeños para ser colocadas en una licuadora industrial Vitalex LQ1-04 con capacidad de 4 litros. Se licuaron con agua en una proporción de 1:1 (v/v) por 40 segundos a 3450 rpm y la suspensión obtenida fue pasada por tamices de 80 y 100 mesh para remover el residuo. El residuo se retiró del tamiz de 80 mesh y nuevamente fue triturado en la licuadora por 40 segundos a 3450 rpm, con un volumen de agua igual a la primera vez. La suspensión obtenida se colocó en la cámara fría a 5 °C durante 12 h para que ocurriera la decantación del almidón. El almidón fue recuperado mediante un proceso de sifonado y lavado con agua destilada hasta que quedó libre de impurezas, quedando el agua sobrenadante traslúcida. Se colocó en una estufa con circulación de aire (Marconi, MA 033) a 40 °C durante 2 h para recuperar el almidón (Rocha 2007).

### Perfil de digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad fue evaluada según la metodología descrita por Englyst *et al.* (1992), los diferentes tipos de almidones; almidón rápidamente digerible, almidón lentamente digerible y almidón resistente fueron cuantificados de acuerdo al contenido de glucosa después del proceso de hidrólisis enzimática.

**Preparación de etanol 70%.** Se midió 703.517 mL de etanol absoluto de pureza 99.5% y fue colocado en un balón volumétrico de 1000 mL y se completó el volumen con agua destilada.



**Solución tampón fosfato 50 mM pH 6.** Se pesó 1.3609 g de Fosfato de Potasio monobásico y fue disuelto en un balón volumétrico en 50 mL con agua ultra purificada (solución 1); luego 0.08 g de hidróxido de sodio fueron pesados y disueltos en un balón volumétrico de 10 mL con agua ultra purificada (solución 2) y se adicionaron 50 mL de la solución 1 en 5.7 mL de la solución 2 en un balón de 200 mL, completado con agua ultra purificada.

**Solución enzimática (4 frascos shot).** Para preparar la pancreatina, se pesaron 3 g de pancreatina en un tubo Falcon de 50 mL y se adicionaron 20 mL de agua ultra purificada; después, se agitó por 10 segundos a 2800 rpm en el vortex (IKA Lab dancer) para homogenizar y se colocó en la mesa agitadora (Marconi, MA 140 CFT), por 10 minutos; luego se colocó en la centrifuga Eppendorf AG 5804 R, a 2500 rpm por 10 minutos y se recolectó el sobrenadante. Después para preparar la amiloglucosidasa, se midieron 0.2 mL y se adicionaron 2 mL de agua ultra purificada, luego se adicionó 2 mL de la mezcla de amiloglucosidasa en el sobrenadante recolectado de la pancreatina y finalmente, se adicionaron 2 mL más de agua ultra purificada.

**Curva padrón de glucosa.** Se pesó 0.5 g de glucosa anhidra y fue colocada en un balón volumétrico de 50 mL, después se adicionaron cerca de 40 ml de etanol al 70%, que, durante 10 minutos, con la ayuda de un baño ultrasónico fue disuelto, luego fue completando con 50 ml de etanol al 70% y, por último, se colocó en tubos tipo Falcon de 15 mL en las proporciones presentadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Proporciones de glucosa y etanol para la elaboración de la curva patrón de glucosa.

Puntos	Solución de glucosa (mL)	Etanol al 70% (mL)
1	1	5
2	2	4
3	3	3
4	4	2
5	5	1

La curva padrón de glucosa, se realizó con el fin de tener concentraciones conocidas de glucosa pura, que luego ser analizadas y obtener su absorbancia, se graficó en Excel para conocer los puntos de una ecuación de la recta y estos, fueron utilizados para saber la concentración de glucosa de los diferentes tratamientos.

#### **Evaluación del contenido de glucosa producido durante la digestión**

Se maceró en un pistilo cerca de 2 g de almidón y 0.5 g de almidón fueron pesados y colocados en frascos ISO ECO (shot); seguidamente, se adicionó 5 perlas de vidrio, para mejorar la agitación; después se colocó 20 mL de solución tampón fosfato 50 mM pH 6; para luego colocarlo en un baño Banho Dubnoff TE- 053 con agitación por 30 minutos a 37 °C. Después de este tiempo se adicionó 5 mL de la solución enzimática en la muestra y en seguida se recolectó la nueva solución (tampón fosfato con el almidón más la solución enzimática), y se tomaron tres muestras de 0.5 mL cada una, en los tiempos 0, 20 y 120 minutos. Para cada tiempo que las muestras fueron recolectadas se midió el contenido de glucosa a través de la utilización del Kit de Glucosa para análisis

colorimétrica-enzimática IVD. Fueron añadidos 10 microlitros de la muestra en el tubo eppendorf y se agitó en el vortex por 10 segundos a 2800 rpm, luego los tubos fueron colocados con la muestra en un baño maría, Banho Dubnoff TE- 053 a 37 °C por 10 minutos, y finalmente se realizó la lectura de absorbancia a 510 nm con el espectrofotómetro biochrom Libra S22.

### **Cálculos**

Para calcular los valores de ARD, ALD y AR, primero se obtuvo una ecuación lineal de la curva padrón de glucosa ( $y=ax+b$ ), donde  $y$ =absorbancia y  $x$ =contenido de glucosa, con un  $R^2$  muy próximo de 1. Se utilizaron las ecuaciones propuestas por Englyst (1992), donde  $ARD = \text{Tiempo } 20 - \text{Glucosa libre}$ ,  $ALD = \text{Tiempo } 120 - ARD$  y  $AR = 100 - (ALD - ARD)$  y la glucosa libre es la obtenida en el tiempo 0. Para los porcentajes de cada almidón, se utilizó el resultado y se dividió por el valor del almidón total y se multiplicó por 100.

### **Diseño experimental**

Se usó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial  $4 \times 3$ , con cuatro temperaturas (35, 40, 47 y 54 °C) y tres tiempos (12, 24 y 48 h), para un total de 12 tratamientos más el almidón nativo o control, haciendo un total de 13 tratamientos con dos repeticiones cada uno, obteniéndose un total de 26 unidades experimentales. Los datos fueron analizados usando el programa SAS® Versión 9.6, se realizó un ANDEVA y una separación de medias a través del método LSMEANS para encontrar diferencias estadísticas entre tratamientos, usándose un nivel de significancia de 95%.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Curva patrón de glucosa

Los datos obtenidos de las reacciones de las soluciones estándar de concentración conocida de glucosa y medición de absorbancia fueron obtenidas a través de una regresión lineal, ilustrado gráficamente con un diagrama de dispersión, trazando una línea para conocer los valores de a, b y x; a es el valor de la pendiente de la línea y b es el término constante. Los valores de a y b fueron utilizados en la ecuación descrita por Englyst *et al.* (1992) para conocer las concentraciones de glucosa de cada tratamiento.

El valor de  $R^2 = 0.9877$  muestra la relación a través de la ecuación lineal de manera estadísticamente significativa de la medida de absorbancia y la concentración de glucosa. A medida que la intensidad de color aumenta la concentración de glucosa también (Díaz *et al.* 2017). En la Figura 1, se encuentran los resultados de la curva patrón de glucosa.

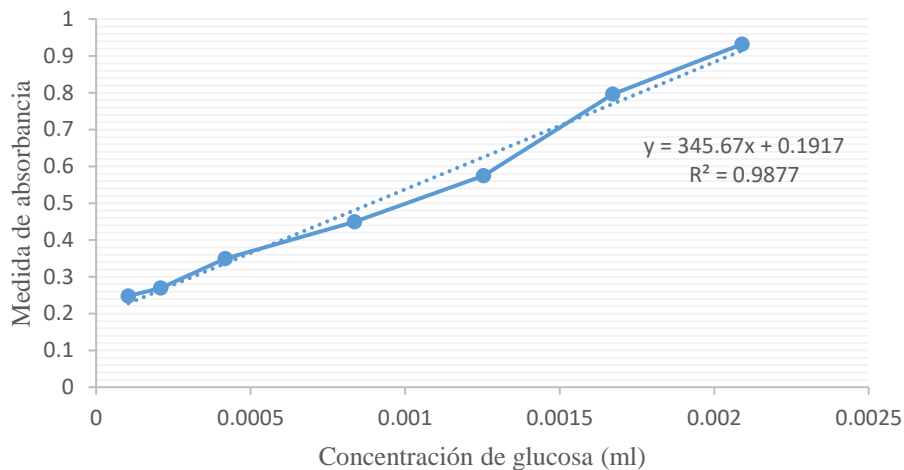


Figura 1. Curva patrón de glucosa.

#### Digestibilidad “*in vitro*”

Es una técnica analítica utilizada para determinar cada fracción del almidón, Almidón Rápidamente Digerible (ARD), Almidón Lentamente Digerible (ALD) y Almidón Resistente (AR) de un alimento. En el Cuadro 2, se muestra el contenido de almidón de zanahoria blanca para cada una de las fracciones.

Cuadro 2. Contenido de Almidón Rápidamente Digerible (ARD), Lentamente Digerible (ALD) y Almidón Resistente (AR) de zanahoria blanca, tratado por recocado *in situ*.

Tratamientos		ARD en g/100g	ALD en g/100g	AR en g/100g
Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Media ± DE	Media ± DE	Media ± DE
0	0	53.56 ± 1.92 <sup>d</sup>	23.75 ± 4.21 <sup>bcde</sup>	22.68 ± 2.28 <sup>a</sup>
35	12	53.68 ± 6.65 <sup>d</sup>	31.89 ± 4.21 <sup>a</sup>	14.41 ± 3.78 <sup>cdef</sup>
35	24	59.09 ± 6.9 <sup>abc</sup>	29.40 ± 1.83 <sup>ab</sup>	11.35 ± 8.54 <sup>f</sup>
35	48	59.12 ± 7.2 <sup>abc</sup>	22.96 ± 2.17 <sup>cde</sup>	17.92 ± 5.09 <sup>bcd</sup>
40	12	63.73 ± 7.21 <sup>a</sup>	24.24 ± 5.13 <sup>bcde</sup>	12.02 ± 2.1 <sup>f</sup>
40	24	57.07 ± 3.52 <sup>bcd</sup>	28.08 ± 3.31 <sup>abcd</sup>	14.83 ± 6.75 <sup>cdef</sup>
40	48	59.76 ± 6.09 <sup>abc</sup>	26.10 ± 1.18 <sup>abcde</sup>	14.13 ± 7.29 <sup>def</sup>
47	12	60.56 ± 5.60 <sup>abc</sup>	26.64 ± 1.34 <sup>abcd</sup>	12.79 ± 6.95 <sup>ef</sup>
47	24	61.92 ± 5.78 <sup>ab</sup>	21.88 ± 4.56 <sup>de</sup>	18.96 ± 6.44 <sup>abc</sup>
47	48	59.33 ± 4.68 <sup>abc</sup>	19.87 ± 2.93 <sup>e</sup>	20.79 ± 7.62 <sup>ab</sup>
54	12	56.57 ± 4.91 <sup>cd</sup>	28.16 ± 3.04 <sup>abcd</sup>	15.26 ± 7.95 <sup>cdef</sup>
54	24	58.45 ± 5.98 <sup>bcd</sup>	24.36 ± 0.69 <sup>bcde</sup>	17.18 ± 6.68 <sup>bcd</sup>
54	48	59.03 ± 5.96 <sup>abc</sup>	28.61 ± 1.14 <sup>abc</sup>	12.34 ± 4.81 <sup>ef</sup>
C.V(%)		4.11	11.39	13.30

C.V: Coeficiente de variación. DE: Desviación estándar

(<sup>a-b-c-d</sup>) Valores con letras minúsculas diferentes en la columna indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

Tratamiento 0-0: control, no se le aplicó ni temperatura ni tiempo.

Los resultados muestran que el factor temperatura influyó significativamente ( $P < 0.05$ ) en la obtención de almidón rápidamente digerible, se ha demostrado que aplicar temperatura influye en la digestibilidad del almidón por posibles cambios en la morfología, como la formación de poros (Parada y Rozowski 2008). En el Cuadro 2, se muestra que hubo diferencias significativas entre los tratamientos, al aplicar recocado. Se observó un aumento en la cantidad de ARD respecto al almidón no modificado siendo estadísticamente diferentes, con excepción de los tratamientos de 40 °C a 24 h y 54 °C a 12 y 24 h, que aumentaron, pero no lo suficiente para ser diferente ya que son estadísticamente igual a otros tratamientos y al no modificado; y el tratamiento de 35 °C a 12 horas que se mantuvo estadísticamente igual al no modificado y diferente del resto.

El tratamiento de 40 °C por 12 horas, mostró el valor más alto de ARD, con 63.73 g/100 g de almidón respecto a 53.56 g/100 g de ARD que contenía el control; iguales resultados de aumento de ARD, mostró la investigación realizada por (Chung *et al.* 2006) en maíz, guisantes y lentejas donde el ARD aumentó a 59.9, 53.4 y 57.8% respecto a 29.7, 27 y 20.8% que contenían antes del proceso de recocado.

Para la fracción de ALD, la temperatura también presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), influyendo en el contenido de esta, el tratamiento a 35 °C por 12 h fue estadísticamente diferente al control, mientras que los demás tratamientos a pesar de aumentar su contenido, a excepción de

los tratamientos de 47 °C a 24 y 48 horas que disminuyeron, fueron estadísticamente igual al no modificado.

Como consecuencia del aumento de la fracción ARD y ALD, esta última mencionada solo para el tratamiento de 35 °C por 12 horas, se observa la disminución del contenido de AR, donde todos los tratamientos son estadísticamente diferente al almidón no modificado (control). Aunque, existe la excepción de los tratamientos de 47 °C por 24 y 48 horas que disminuyen, pero aun así siguen siendo igual al no modificado.

El aumento de la fracción de ARD y disminución de la fracción AR, como se muestra en la Figura 2, puede ser debido a la formación de una estructura porosa en el almidón de zanahoria blanca, que permite mayor hidrólisis por parte de las enzimas (O'Brien y Wang 2008). El origen de los poros, puede deberse a diversas razones como, la naturaleza del almidón o provocados durante su aislamiento y manipulación (Sujka y Jamroz 2007). También puede ser debido a la acción de amilasas endógenas durante el recocado que atacan la superficie e hidroliza los gránulos, permitiendo la formación de poros y la accesibilidad de las enzimas exógenas, como ocurrió en una investigación en trigo y maíz tratados con recocado a 45 y 63 °C por 24 horas realizadas por Kiseleva *et al.* (2005) y Rocha *et al.* (2012), respectivamente.

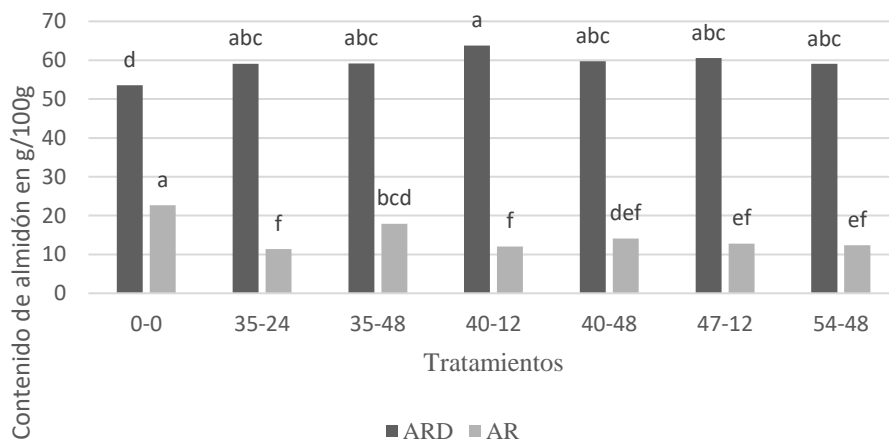


Figura 2. Aumento de la fracción ARD y disminución de la fracción AR, para los tratamientos que son estadísticamente diferente al control.

ARD: Almidón rápidamente digerible

AR: Almidón resistente

(a-b-c-d-e-f) Valores con letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ )

Tratamiento 0-0: control, no se le aplicó tiempo ni temperatura

En tratamientos: los dos primeros números indican la temperatura en °C y los últimos dos, el tiempo en horas.

Por otro lado, también es conocido que el proceso de recocado provoca una reorganización de las cadenas de amilopectina, contribuyendo a la formación de poros y estas a la posible exposición de las zonas amorfas, dando lugar a una alteración del perfil de digestibilidad, en este caso aumentando la velocidad en que el almidón es digerido, transformando la cantidad de AR en la

formación de ARD (Rocha *et al.* 2012). El descenso en el contenido de AR al aplicar recocado, también puede ser posiblemente a lo reportado por Rocha *et al.* (2011), ya que el almidón de zanahoria blanca se convierte en un almidón con gránulos quebradizos y frágiles, como resultado de los defectos en su estructura cristalina y no una estructura compacta para ser resistente a las enzimas (Villarreal 2018), como es el caso de otros tubérculos como el camote, según lo reportado por Cerdón (2019), la cantidad de AR en este tubérculo, aumentó de un 16 a 28% al ser sometido al proceso de modificación de recocado.

El único tratamiento que aumentó su contenido de ALD, fue el de 35 °C por 12 horas, esto puede ser debido a la baja temperatura al que se sometió y por poco tiempo, sí permitió una reorganización de las cadenas de amilopectina, provocando cambios. Sin embargo, solo al punto de disminuir la perfección de los cristales, ya que esto ocurre cuando es sometido a recocado según lo reportado por Rocha *et al.* (2011).

La perfección de los cristales es el resultado de la movilidad de las cadenas de amilopectina del almidón, que ocurre durante el proceso de recocado, esta movilidad molecular permite una reorganización de las cadenas, formando cristales más perfectos (Lan *et al.* 2008; Tester y Debon 2000). Esta reorganización de las moléculas, la perfección de los cristales y el aumento de la cristalinidad puede atribuirse a la cantidad de cadenas de amilopectina DP > 37 que contiene la zanahoria blanca, convirtiendo esta estructura molecular más susceptible a la reorganización. Lo anterior limita el grado y la velocidad en que las enzimas digieren el almidón provocando una digestión más lenta (Chung *et al.* 2006).

Por consiguiente, la temperatura más baja y el menor tiempo parece haber permitido una reorganización de las cadenas, haciéndolo menos compacto (Zhang *et al.* 2006), por que disminuyó el contenido de AR, pero no al punto de formar poros y tener una rápida digestibilidad, ya que este tratamiento para la fracción de ARD se mantuvo estadísticamente igual al no modificado, solo permitió una reorganización parcial de la estructura molecular, aumentando el contenido de ALD (Miao *et al.* 2015). En la Figura 3, se muestran cada una de las fracciones y su comportamiento para el tratamiento de 35 °C por 12 horas respecto al no modificado.

Si bien es cierto, el proceso de recocado provocó un aumento en la cantidad de la fracción de ARD en el almidón, presentando diferencia estadística respecto al control (no modificado) en todos los tratamientos, con excepción de los tratamientos de 40 °C por 24 h y 54 °C a 12 y 24 h que aumentaron su contenido, aún siguen siendo iguales estadísticamente al control (almidón no modificado) y a otros tratamientos. La manera en que las combinaciones de estas temperaturas y tiempos influyó fue diferente, pudiendo haber creado fisuras en el almidón (Wang *et al.* 1997), porque disminuyó el contenido de AR, pero no lo suficiente para hacer el contenido de ARD y ALD diferente al control, ya que, en ambos se mantuvo igual. El comportamiento de estos tratamientos se muestra en la Figura 4.

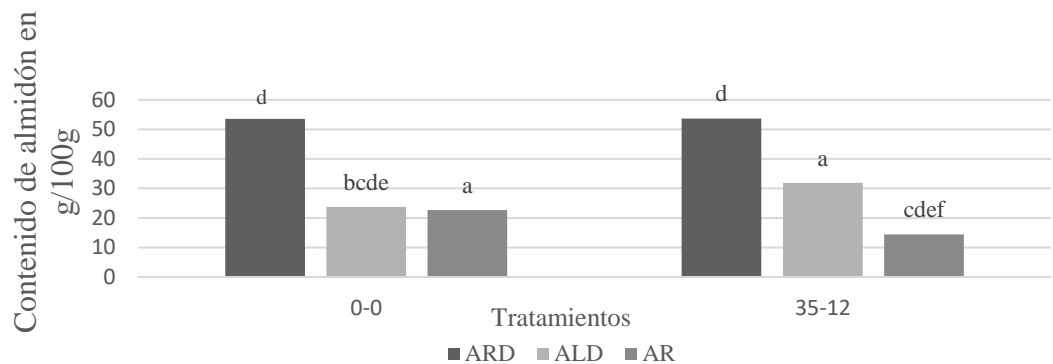


Figura 3. Comportamiento de las fracciones ARD, ALD y AR para el almidón de zanahoría blanca, en el tratamiento de 35 °C a 12 h respecto al no modificado.

ARD: Almidón rápidamente digerible

ALD: Almidón lentamente digerible

AR: Almidón resistente

(a-b-c-d-e-f) Valores con letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ )

Tratamiento 0-0: control, no se le aplicó tiempo ni temperatura

En tratamientos: los dos primeros números indican la temperatura en °C y los últimos dos, el tiempo en horas. a-f

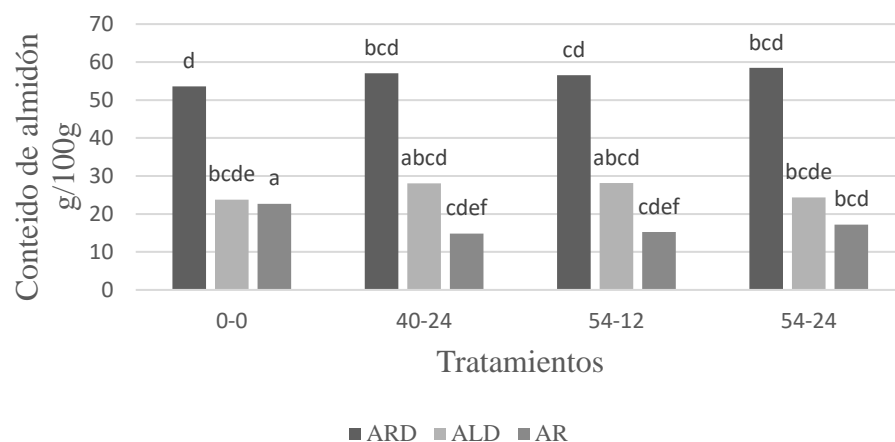


Figura 4. Comportamiento de las fracciones de ARD, ALD y AR, en zanahoria blanca para los tratamientos de 40 °C a 24 h y 54 °C a 24 y 48 h respecto al no modificado.

ARD: Almidón rápidamente digerible

ALD: Almidón lentamente digerible

AR: Almidón resistente

(a-b-c-d-e-f) Valores con letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ )

Tratamiento 0-0: control, no se le aplicó tiempo ni temperatura

En tratamientos: los dos primeros números indican la temperatura (°C) y los últimos dos, el tiempo en horas.

Los tratamientos de 47 °C por 24 y 48 h disminuyeron su fracción de ALD y AR, pero aun así se mantuvieron estadísticamente igual al control y, sin embargo, aumentaron el contenido de ARD. Estas combinaciones de temperaturas y tiempos mostraron, una digestión del almidón diferente, ya que probablemente sí se presentaron gránulos con poros por el efecto del recocido (Rocha *et al.* 2011), permitiendo que hubiera mayor digestibilidad del almidón. Para los demás tratamientos la digestión se daba mayormente entre el minuto 0 y 20, para clasificarse como ARD y una pequeña cantidad del almidón que dejó de ser resistente, era digerido durante el minuto 20 y 120, para convertirse en ALD, pero no lo suficiente para aumentar y ser diferente al control. En este caso una pequeña parte del almidón, pero no la suficiente para ser diferente al control, que se digería entre el minuto 20 y 120 para ser ALD, fue digerida en los primeros 20 minutos convirtiéndose en ARD. La reorganización de las cadenas de amilopeptina, con la posible formación de poros, ya que la digestión empieza por los poros (Miao *et al.* 2015), disminuyó el contenido de AR y el efecto de estos tratamientos pudo haber aumentado el tiempo de digestión, para dejar de ser AR y ALD para convertirse en ARD. El aumento del contenido de ARD también puede ser por la gran cantidad de cadenas cortas de amilopeptina que inducen puntos débiles y facilitan la accesibilidad de las enzimas (Jane *et al.* 1997). En la Figura 5, se muestra el comportamiento de estos tratamientos respecto al control.

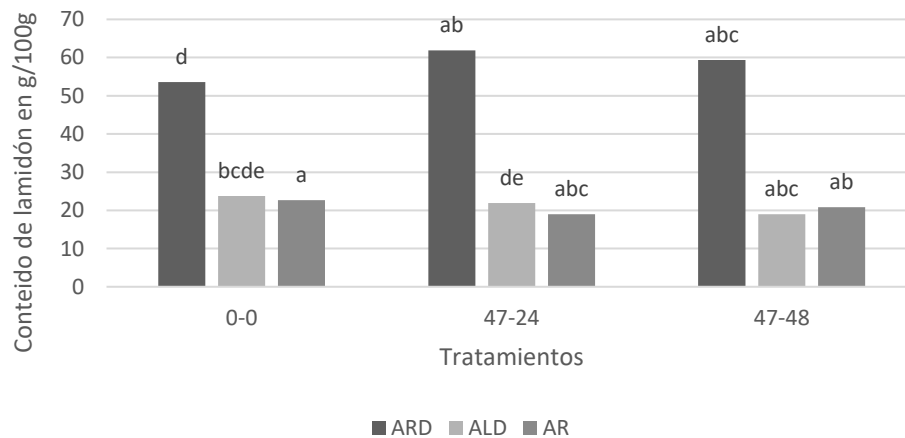


Figura 5. Comportamiento de las fracciones de ARD, ALD y AR, en zanahoria blanca para los tratamientos de 47 °C a 24 y 48 h respecto al no modificado.

ARD: Almidón rápidamente digerible

ALD: Almidón lentamente digerible

AR: Almidón resistente

(a-b-c-d-e-f) Valores con letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ )

Tratamiento 0-0: control, no se le aplicó tiempo ni temperatura

En tratamientos: los dos primeros números indican la temperatura en °C y los últimos dos, el tiempo en horas.



## 4. CONCLUSIONES

- La modificación física con el tratamiento de recocido *in situ* en el almidón de zanahoria blanca, para los tiempos y temperaturas empleados, no presentó ninguna combinación que mejore la obtención de almidones lentamente digerible y resistente.
- La modificación por recocido *in situ* para disminuir la velocidad de digestión de este almidón no es viable, dada la fragilidad granular del almidón de zanahoria blanca.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Evaluar los cambios en la estructura molecular, en cada tratamiento para conocer cómo influye en la digestibilidad.
- Realizar análisis proximal al almidón para evaluar posibles interacciones en la digestibilidad de este.
- Realizar estudios de micrografía electrónica de barrido para conocer el comportamiento de los gránulos en cada tratamiento.

## 6. LITERATURA CITADA

- Castanha N, Villar J, Matta Junior MD, Anjos CBPD, Augusto PED. 2018. Structure and properties of starches from Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots. *Int J Biol Macromol.* 117:1029–1038. eng. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.06.015.
- Chung H, Lim H, Lim S. 2006. Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch. *J. Cereal Sci.* 43(3):353–359. doi:10.1016/j.jcs.2005.12.001.
- Cordón A. 2019. Desarrollo de una bebida láctea fermentada con adición de almidón de camote (*Ipomoea batatas*) modificado físicamente. [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 39 p.
- Econodata. 2019. Ranking das 100 Maiores Empresas de amido. [actualizado el 25 de feb. de 2020; consultado el 25 de feb. de 2020]. <https://www.econodata.com.br/guia-empresas/maiores-empresas-INDUSTRIA-ALIMENTOS>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. 2018. Produção brasileira de mandioca em 2018. Brasil. [consultado el 25 de feb. de 2020]. 5 p. [http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/mandioca/b1\\_mandioca.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/mandioca/b1_mandioca.pdf).
- Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr.* 46 Suppl 2:S33-50. eng. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1330528/>.
- Díaz N, Ruiz A, Reyes E, Cejudo A, Novo J, Peinado J, Meléndez F, Fiñana I. 2017. Espectrofotometria: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Campus Universitario de Rabanales. [https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biolmol/pdfs/08\\_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf](https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biolmol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf)
- Food Ingredients Brasil. 2015. Amidos: O amido é a fonte mais importante de carboidratos na alimentação humana e o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados; [consultado el 25 de feb. de 2020]. 41–66. [https://revista-fi.com.br/upload\\_arquivos/201606/2016060971570001466691578.pdf](https://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060971570001466691578.pdf).
- Kiseleva, V, Krivandin AV, Fornal, J, Blaszcak W, Jelinski T, Yuryev VP. 2005. Recocido de almidones de trigo normales y mutantes. *Estudios LM, SEM, DSC y SAXS. Investigación de carbohidratos*, 340, 75-83.

- Lan H, Hoover R., Jayakody, L, Liu Q, Baga M, Asare EK. 2008. Impacto de recocido sobre la estructura molecular y las propiedades fisicoquímicas de almidones de trigo en perlas normales, cerosos y con alto contenido de amilosa. *Química de los alimentos*, 111, 663-675. doi:10.1016/j.foodchem.2008.04.055
- Macedo A. 2019. Pesquisa desenvolve primeira cultivar de mandioquinha-salsa para indústria. EMBRAPA; [consultado el 13 de jun. de 2020]. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42281199/pesquisa-desenvolve-primeira-cultivar-de-mandioquinha-salsa-para-industria>.
- Mazón N, Castillo TR, Hermann M, Espinosa AP. 1996. La arracacha o zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en Ecuador. Ecuador: Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnología. [actualizado el 27 de mar. de 2018.000Z; consultado el 13 de jun. de 2020]. Publicación Miscelánea no. 60. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2696>.
- Miao M, Jiang B, Cui S, Tao Zhang T, Jin Z. 2015. Slowly digestible starch—a review. *Food Sci Nutr* 55: 1642– 57.
- Parra M, Quintero Munévar P, Hernández. 2015. Selección de marcadores microsatélites (SSR's) para el análisis de variabilidad genética en siete cultivares de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*); [consultado el 25 de feb. de 2020]. 5 (2):39–45. [http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/mandioca/b1\\_mandioca.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/mandioca/b1_mandioca.pdf).
- Ribeiro RA, Finger FL, Puiatti M, Casali V. 2007. Vida útil e metabolismo de carbohidratos em raízes de mandioquinha-salsa sob refrigeração e filme de PVC. *Pesq. agropec. bras.* 42(4):453–458. doi:10.1590/S0100-204X2007000400001.
- Rocha T. 2007. Estudo da hidrólise enzimática do amido de mandioquinha-salsa (*arracacia xanthorrhiza*): efeito do tamanho dos grânulos. São José do Rio Preto-SP: Universidade Estadual Paulista. 108 p; [consultado el 25 de feb. de 2020]. [http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brp/33004153070P3/2007/rocha\\_ts\\_me\\_sjrp.pdf](http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brp/33004153070P3/2007/rocha_ts_me_sjrp.pdf).
- Rocha TS, Cunha VA, Jane JL, Franco CM. 2011. Structural characterization of Peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) starch and the effect of annealing on its semicrystalline structure. *J Agric Food Chem.* 59(8):4208–4216. eng. doi:10.1021/jf104923m.
- Rocha TS, Suelen GF, Jane J, Franco C. 2012. Effect of annealing on the semicrystalline structure of normal and waxy corn starch. *Food hydrocolloides.* 29 (2012) 93-99.
- Rodrigues P, Alencar G. 2018. Sul de Minas é destaque na produção de mandioquinha-salsa Produção vegetal. [consultado 6/13/2020]. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/33936378/sul-de-minas-e-destaque-na-producao-de-mandioquinha-salsa>.
- Song HY, Lee SY, Choi SJ, Kim KM, Kim JS, Han GJ, Moon TW. 2014. Digestibility and physicochemical properties of granular sweet potato starch as affected by annealing. *Food Sci Biotechnol.* 23(1):23–31. doi:10.1007/s10068-014-0004-9.
- Sujka M, Jamroz J. 2007. Starch granule porosity and its changes by means of amylolysis. In *International Agrophysics* 21, pp. 107–113. Available online at [www.ipan.lublin.pl/int-](http://www.ipan.lublin.pl/int-)

agrophysics, checked on 9/2/2020.

- Tester R, Debon S. 2000. Annealing of starch. In International journal of biological macromolecules 27, pp. 1–12. DOI: 10.1016/S0141-8130(99)00121-X.
- Veyna J, Castadeña A, Chavez C. 2016. Análisis fisicoquímico de harinas de leguminosas modificadas hidrotérmicamente; [consultado el 25 de feb. de 2020]. 1:13–19. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/3.pdf>.
- Villarroel P, Gómez C, Vera C, Torres J. 2018. Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. Rev. chil. nutr. 45(3):271–278. doi:10.4067/s0717-75182018000400271.
- Wang W, Powell AD, Oates CG. 1997. Effect of annealing on the hydrolysis of sago starch granules. Carbohydrate Polymers, 33, 195–202.
- Zhang G, Ao Z, Hamaker BR. 2006. Slow digestion property of native cereal starches. Biomacromolecules 7: 3252– 8.