

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DETERMINACIÓN DEL VALOR ENERGÉTICO Y LAS FRACCIONES
DIGERIBLES DEL ALMIDÓN DE TRES VARIEDADES DE CHAYOTE (*Sechium
edule*) DE CULTIVO Y CONSUMO USUAL EN COSTA RICA CON DIFERENTES
GRADOS DE MADUREZ Y COCCIÓN

Tesis sometida a la consideración de la comisión del Programa de Estudios de
Posgrado en Ciencias de Alimentos para optar al grado y título de Maestría
Académica en Ciencia de Alimentos

MILENA MARÍA CERDAS NÚÑEZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2020

DEDICATORIA

A Scott

Por tu compañía y amor incondicional durante tantos años

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí.

A madre, por tu lucha de siempre para darnos lo mejor y por ser nuestro ejemplo de esfuerzo y perseverancia.

Mi especial agradecimiento a la profesora Elba Cubero, por la paciencia que supo tenerme durante todo este tiempo, por darme su confianza y permitirme culminar una etapa más en mi vida. Gracias por sus sabios consejos y por mantenerme de pie en los momentos más difíciles. Se hace difícil expresar el gran aprecio y admiración que siento por usted.

Mi infinito agradecimiento también a mi comité asesor, la profesora Ana Ruth Bonilla y la profesora Jacqueline Aiello, porque se mantuvieron en la lucha para que yo culminara este proceso. Gracias por todo el tiempo que dedicaron y el apoyo que siempre me mostraron.

Quiero agradecer a Giovanni y a Luis, por el tiempo que dedicaron a entrenarme, por facilitarme un espacio de trabajo ameno en el laboratorio y que a pesar de sus múltiples ocupaciones siempre tuvieron tiempo para ayudarme.

Y mi agradecimiento a Raquel, por su apoyo, sus consejos y por hacer de esta travesía un viaje más agradable.

“Esta tesis fue aceptada por la comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencia de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias de Alimentos”



Dra. María Lourdes Pineda Castro, M.Sc
Representante Decano del Sistema de Estudios de Posgrado



Ph.D. Elba Cubero
Directora de tesis



Ph.D. Ana Ruth Bonilla
Asesora



M.Sc. Jacqueline Aiello Ramirez
Asesora



M.Sc. Pedro Vargas Aguilar
Representante de la Directora del Programa de Posgrado en Ciencia de Alimentos



Milena María Cerdas Núñez
Candidata

TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Hoja de aprobación	iv
Tabla de contenido	v
Resumen	vii
Abstract	viii
Lista de cuadros	ix
Lista de figuras	x
I. Justificación	1
II. Objetivos	8
A. Objetivo general	8
B. Objetivos específicos.....	8
III. Marco teórico	9
A. Chayote (<i>Sechium edule</i>)	9
1. Taxonomía.....	9
2. Morfología.....	9
3. Origen y producción agrícola.....	10
4. Utilización	12
5. Composición nutricional y nutracéutica	13
B. Almidón	16
1. Estructura química.....	16
2. Cambios por el procesamiento	17
3. Fracciones digeribles del almidón	17
4. Almidón resistente	20
C. Fracciones digeribles de almidón como indicador del índice glicémico de los alimentos	21
IV. Materiales y métodos	24
A. Localización.....	24
B. Materias primas	24
C. Preparación de las muestras.....	25
D. Análisis fisicoquímicos	26

1. Determinación de humedad	27
2. Determinación de cenizas	27
3. Determinación de proteínas	28
4. Determinación de grasa cruda.....	29
5. Determinación de fibra dietética total	30
6. Determinación de carbohidratos.....	31
7. Determinación del contenido energético	31
E. Fracciones digeribles de almidón	32
F. Diseño experimental	33
V. Resultados y discusión.....	35
A. Análisis proximal.....	35
B. Fracciones digeribles de almidón en frutos de chayote.....	49
VI. Conclusiones	61
VII. Recomendaciones	63
VIII. Referencias	64
IX. Apéndices.....	73
Apéndice 1	74
Apéndice 2	76
Apéndice 3	78
Apéndice 4	80
Apéndice 5	82

RESUMEN

Se analizaron tres variedades de chayote (*Sechium edule*), (quelite, criollo y blanco) y en dos estadios de madurez (tierno y sazón); además se sometieron a tres tratamientos (crudo, cocinado y recalentado). A cada variedad, en sus dos estadios de madurez y tanto crudos como cocidos, se le determinó la composición proximal y el contenido calórico, así como parámetros que se relacionan con el índice glicémico, como son el almidón total (AT), la fracción de almidón rápidamente digerible (ARD), almidón lentamente digerible (ALD) y almidón resistente (AR).

Para la composición proximal se encontró que el chayote con madurez sazón presentó los mayores valores de proteína (0,83g/100g), fibra (1,31g/100g), cenizas (0,34g/100g), carbohidratos totales (6,18g/100g) y carbohidratos disponibles (4,89g/100g); por su parte el chayote con madurez tierno fue el que presentó mayor contenido de humedad (94,30g/100g). Para el contenido energético, el chayote sazón fue el que mostró el mayor aporte, con un promedio de 25,78kcal/100g. En relación con la variedad, el chayote blanco fue el que presentó un mayor contenido de fibra dietética (1,42g/100g) y proteína (0,86g/100g). Finalmente, según el tratamiento, el chayote crudo fue el que presentó los mayores valores de grasa (0,13g/100g), fibra dietética (1,28g/100g) y contenido energético (24,00kcal/100g). Para las cenizas se encontró que la variedad blanco con el tratamiento crudo es la que tiene mayor contenido de cenizas (0,47g/100g).

Para el contenido de almidón y sus fracciones se obtuvo un efecto combinado de la variedad y el tratamiento, donde las muestras de chayote quelite cocido y chayote criollo recocado fueron las que mostraron la mayor proporción de AT (3,461g/100g y 3,015g/100g, respectivamente). La combinación del grado de madurez y el tratamiento, mostró que las muestras de chayote sazón cocidas son las de una mayor proporción de la fracción ARD (2,304g/100g), y las crudas tiernas y sazón, fueron las que tenían menor fracción ARD.

Por otra parte, para la fracción ALD, aunque sí hay diferencias, estas no son estadísticamente significativas por la variabilidad en las mediciones. Sin embargo, se debe rescatar que el grado de madurez sazón y los procesos de cocción recocado o recalentado tiene un efecto en el aumento de la proporción de esta fracción de almidón. Para la fracción de AR, no se encontraron diferencias significativas debidas a la variedad, grado de madurez ni al grado de cocción, también se vio que su contenido es muy bajo.

Con estos resultados es posible concluir que el chayote con una madurez sazón es el que presenta un mayor aporte nutricional; además, el tratamiento térmico ocasiona cambios tanto en la composición proximal (pérdidas por lixiviación, principalmente) y en la proporción de las fracciones digeribles del almidón, donde la cocción genera una mayor proporción de la fracción ARD.

ABSTRACT

Three varieties of chayote (*Sechium edule*) were analyzed (quelite, green (*criollo*) and white), in two maturity stages (tender and ripe). Also three treatments were applied (raw, cooked and reheated). Proximal composition and caloric content were determined for each variety at the two stages of maturity and cooking (raw and cooked). Parameters that relate to the glycemic index, such as total starch (TS), fraction of rapidly available starch (RDS), slowly available starch (SDS) and resistant starch (RS), were also determined.

For the proximal composition it was found that the ripe chayote had the highest values of protein (0,83g/100g), fiber (1,31g/100g), ash (0,34g/100g), total carbohydrates (6,18g/100g) and available carbohydrates (4,89g/100g), meanwhile the tender chayote had the highest moisture content (94,30g/100g). The samples of ripe chayote were those that showed the greatest energy content contribution, with an average of 25,78kcal/100g.

In relation to the variety, it was the white chayote that presented the highest content of dietary fiber (1,42g/100g) and protein (0,86g/100g). Finally, according to the treatment, the raw chayote presented the highest values of fat (0,13g/100g), dietary fiber (1,28g / 100g) and energy content (24,00kcal/100g). For the ashes, the white variety with the raw treatment had the highest content (0,47g/100g).

For the starch content and its fractions, a combined effect of variety and treatment was obtained, where the samples of cooked quelite chayote and reheated green chayote showed the highest proportion of TS (3,461g/100g and 3,015g/100g respectively). The combination of maturity and the treatment showed that the samples of cooked ripe chayote had a greater proportion of the RDS fraction (2,304g/100g), and the green, ripe and raw, had the lowest ARD fraction. On the other hand, for the ALD fraction, although if there are differences these are not statistically significant due to the variability in the measurements. However, it must be rescued that the degree of ripe maturity and the reheated cooking process have an effect on increasing the proportion of this starch fraction.

For the RS fraction, no significant differences were found due to the variety, maturity level or cooking process.

With these results it is possible to conclude that ripe chayote presents a better nutritional content, in addition, the thermal process does cause changes both in the proximal composition (losses due to leaching mainly) and in the proportion of the digestible fractions of the starch, where cooking generates a greater proportion of the RDS fraction.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tipos de almidón resistente presente en los alimentos.....	20
Cuadro 2. Arreglo factorial utilizado para evaluar interacciones entre las variables dependientes.....	33
Cuadro 3. Composición proximal del chayote según la variedad, el grado de madurez y el nivel de cocción.....	48
Cuadro 4. Datos del análisis de varianza (ANDEVA) para la composición proximal en crudo y cocido de las tres variedades de chayote y los dos estadios de madurez.....	77
Cuadro 5. Datos del análisis de varianza (ANDEVA) para las fracciones digeribles del almidón de chayote.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fracciones digeribles del almidón y las respuestas metabólicas asociadas.....	19
Figura 2. A) Chayotes en su estadio de madurez tierno. La epidermis lisa, brillante y sin estrías, y no se observa ninguna señal de la semilla. B) Chayotes en su estadio de madurez sazón. La epidermis llena de estrías, ya no tiene brillo y es más gruesa, y se observa la semilla de afuera.....	25
Figura 3. Tratamientos y variables dependientes a evaluar en el diseño experimental.....	34
Figura 4. Contenido de humedad, cenizas, proteína, fibra dietética, carbohidratos totales, carbohidratos disponibles y valor energético para las muestras de chayote, afectados por el grado de madurez.....	37
Figura 5. Contenido de proteína y fibra dietética de las muestras de chayote afectadas por la variedad.....	41
Figura 6. Contenido de grasa, fibra dietética y valor energético de las muestras de chayote afectadas por el grado de cocción (crudo y cocido).....	43
Figura 7. Contenido de cenizas en las muestras de chayote afectado por la variedad y el grado de cocción.....	44
Figura 8. Efecto de la variedad y el grado de cocción en la cantidad de AT.....	50
Figura 9. Efecto del grado de madurez y el nivel de cocción sobre el contenido de las fracciones ARD y ALD.....	51
Figura 10. Efecto de la variedad y el grado de madurez en el contenido de AT y de la fracción ARD.....	55

Figura 11. Imágenes de microscopía electrónica de gránulos de almidón obtenidos de frutos de chayote quelite (A-C) y chayote verde (D-F). Las flechas marcan las fracturas y los poros debidos al proceso de degradación.....**58**

Figura 12. Efecto de la variedad, el grado de madurez y el nivel de cocción en el contenido de la fracción de AR.....**59**



Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Milena María Cerdas Nuñez, con cédula de identidad 1-10400080, en mi condición de autor del TFG titulado Determinación del valor energético y las fracciones digeribles del almidón de tres variedades de chayote (*Sesbum edule*) de cultivo y consumo usual en Costa Rica con diferentes grados de madurez y cocción.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Milena María Cerdas Nuñez

Número de Carné: 970880 Número de cédula: 1-10400080

Correo Electrónico: milena27@gmail.com / milena.cerdas@ucr.ac.cr

Fecha: 15 de junio de 2020 Número de teléfono: 8865-0901

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Ph.D Elba Cubero

Milena Cerdas

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

I. Justificación

Los estudios sobre la composición química del chayote son muy reducidos y principalmente se orientan a la descripción de aquellos componentes que tienen actividad antioxidante; entre éstos se puede citar a Siciliano et al., (2004), quienes realizaron un estudio sobre el contenido de flavonoides en distintas partes comestibles de la planta de chayote. Por otra parte, Moreno (2010) describe el contenido de fitoesteroles en el chayote y su posible uso terapéutico en el tratamiento de la hipertensión arterial. Otros autores rescatan su contenido de antioxidantes, vitaminas del complejo B, fibra y bajo aporte energético (Ramos, 2015).

La importancia alimenticia del chayote radica en que de la planta son comestibles el fruto, los tallos, las hojas, los zarcillos, la semilla y la parte tuberosa de la raíz, a partir de los cuales se preparan alimentos que forman parte de la dieta de muchos países de la región americana y otras partes del mundo. En Costa Rica su uso es más que todo casero y se consume principalmente hervido y formando parte de preparaciones como guisos, picadillos, dulces, pasteles y ensaladas; no obstante, la característica de suavidad que presenta la pulpa de la fruta la hace adecuada para dietas hospitalarias y para utilizarse como materia prima en la elaboración de comidas para bebé, salsas y jugos, ya que les da consistencia sin afectar el sabor ni el contenido calórico total (Siciliano et al., 2004; Gamboa, 2005).

Pero no todo es positivo, también hay una serie de atributos negativos que existen alrededor de este cultivo. Por ejemplo, su alto contenido de agua se asocia con un alimento de poca calidad nutricional y comercial, clasificándolo en países como Panamá dentro de los productos con poca rotación y de bajos estándares en el mercado. Por su parte, en República Dominicana existe una percepción que, al ser un producto de bajo costo, es un producto para *pobres* los cuales lo utilizan para aumentar el tamaño y el rendimiento de las porciones de alimentos que

consumen usualmente. En los segmentos de mayor ingreso económico se considera que su consumo es por salud desde un punto de vista puramente dietético por el bajo aporte de energía (Centro Internacional de Política Económica y Universidad de Costa Rica, 2010).

Estas ideas, enfundadas en percepciones subjetivas y la creencia popular, hacen necesario que se realicen estudios científicos, los cuales permitan ahondar en las características de composición química y nutricional que presenta este alimento, ofreciendo datos reales sobre sus aportes a la dieta usual y a la salud de la población. Adicionalmente, la caracterización por variedad permite seleccionar aquellas con mayores beneficios dietéticos y nutricionales para su consumo y elegir las de mayor calidad comercial (obtención de subproductos) para su explotación en la producción de materias primas para la elaboración de nuevos productos.

El chayote se consume por lo general en dos estadios de madurez que son *tierno* y *sazón*. El grado de tierno corresponde a la madurez comercial o madurez hortícola que se alcanza aproximadamente a los 18-20 días después de la fecundación de la flor y sazón corresponde a la madurez fisiológica que se alcanza aproximadamente a los 25-30 días de fecundada la flor (Gamboa, 2005; Avendaño et al., 2010). En el chayote tierno se aprecia un estado inmaduro de los frutos cuyas características son la firmeza y brillo de la epidermis; por el contrario, en el chayote sazón la epidermis es dura y se caracteriza por la aparición de estrías (Arévalo et al., 2011). Por esta razón, en el presente estudio se hace una caracterización según grado de madurez, la cual se espera brinde información importante sobre la existencia de diferencias en cuanto a composición química y nutricional en diferentes estadios del cultivo. Esto permite también que se pueda seleccionar en aquellos niveles de madurez donde se presente una mayor concentración de los componentes con propiedades beneficiosas para la salud y de aquellos con utilidad desde el punto de vista comercial, lo que puede ayudar a

posicionar al chayote como un producto de alta calidad y de gran aprovechamiento en distintos sectores de población y a nivel de mercado nacional e internacional.

Cabe resaltar su papel como ingrediente básico en planes de alimentación para reducir peso, ya que su bajo aporte calórico y su alto contenido de agua se asocian con una alta sensación de saciedad sin tener que consumir una alta cantidad de kilocalorías (Siciliano et al., 2004). Por esta razón, la medición del contenido calórico y las fracciones digeribles del almidón de diferentes variedades en diferentes estados de madurez es importante para fundamentar su utilización en dietas.

El almidón, por su parte es uno de los componentes más importantes de los carbohidratos digeribles. Este se define como un polímero de glucosa cuyas unidades estructurales pueden estar acomodadas en una cadena lineal llamada *amilosa* o en una cadena ramificada llamada *amilopectina* (Sungsoo y Samuel, 2009; Cho y Almeida, 2012). La tasa a la cual este almidón es digerido en el intestino delgado ocasiona una amplia gama de respuestas glicémicas. Basándose en esta respuesta glicémica y con propósitos nutricionales, el almidón se ha clasificado en almidón rápidamente digerible (ARD) y almidón lentamente digerible (ALD), que representan el almidón que es totalmente digerido en el intestino delgado a los 20 y 120 minutos después de la ingesta, respectivamente. El almidón remanente se define como almidón resistente (AR) y es la fracción que queda disponible para la fermentación en el intestino grueso (Englyst et al., 2000; Zhang y Hamaker, 2009; Shumoy y Raes, 2017).

También se puede determinar la glucosa rápidamente disponible (GRD) y la glucosa lentamente disponible (GLD), fracciones que representan la tasa a la cual la glucosa es absorbida en el intestino delgado; esta glucosa se obtiene a partir de la digestión del almidón. Cuando un alimento es muy rico en azúcares (mono y

disacáridos) se recomienda el uso de los términos GRD y GLD, y cuando, por el contrario, es rico en almidón se recomienda el uso de los términos ARD y ALD para divulgar los datos (Englyst et al., 1999; Englyst et al., 2000; Englyst et al., 2003).

El procesamiento al que son expuestos los alimentos –desde una cocción a nivel casero hasta un procesamiento más complejo a nivel industrial- puede modificar y controlar la digestibilidad de las distintas fracciones de almidón mencionadas anteriormente (ARD, ALD y AR). Con los procesos de cocción el almidón de los alimentos sufre un proceso que se llama gelatinización en el cual los gránulos absorben agua y se hinchan, generando una estructura suave y esponjosa; sin embargo, con el enfriamiento el gel formado empieza a perder agua dando como resultado una estructura más rígida, a lo que se le llama retrogradación. Este almidón retrogradado pasa a formar parte del AR, de manera que los procesos de cocción-enfriamiento pueden ocasionar que haya una mayor proporción de AR (Fabbri, Schacht & Crosby, 2016; Ogbo & Okafor, 2015).

Para la industria, este estudio puede ayudar a posicionar el chayote como una fuente de materia prima de alta calidad y gran versatilidad, similar al estudio de Martínez-Ortiz et al., (2017), donde modificaron las características del almidón de chayote mediante la aplicación de diferentes tratamientos, incluyendo altas temperaturas, con el fin de obtener cambios en el contenido de AR para poder utilizarlo en la elaboración de una cubierta para encapsular ácido ascórbico.

La tasa de digestión del almidón de los alimentos y, en este caso específico el del chayote, se puede utilizar para predecir el Índice glicémico (IG) de los alimentos, el cual se define como el área de incremento bajo la curva de respuesta de la glucosa sanguínea provocado por 50 g de una porción de carbohidratos disponible en una comida y se expresa como un porcentaje de la respuesta después de que la persona ha consumido 50 g de glucosa anhidra. Para comprender mejor dicho concepto se puede hacer referencia al significado que se

le otorgó inicialmente para explicarlo y el cual dice que es un índice del potencial de elevar la glucosa sanguínea de los carbohidratos disponibles en los alimentos (Wolever, 2006). Actualmente es reconocido como una clasificación válida y basada en aspectos fisiológicos del efecto glicémico postprandial que tiene un determinado alimento (Trinidad et al., 2010).

La realización de estudios como éste -donde se hace referencia a las tasas de digestión *in vitro* que tienen los alimentos y, en este caso, el chayote- puede ayudar a determinar, en cierta medida, si la respuesta glicémica ocasionada después de la ingesta de los mismos es lenta o rápida. Esta tasa de digestión está determinada en parte por los carbohidratos presentes en el alimento (almidones, azúcares simples y otros oligosacáridos) y en parte por si estos son de digestión rápida o de digestión lenta. Es así como la tasa a la cual es digerido el almidón en el intestino delgado y las distintas fracciones que se obtienen a partir de dicha digestión se pueden utilizar como un indicador del IG, ya que cada una proporciona diferentes respuestas glicémicas que tendrán a su vez diversos efectos a nivel del metabolismo (Trinidad et al., 2010). A pesar de que el presente estudio no se centrará en el análisis del IG, los resultados que se obtengan permitirán entre otras cosas relacionar las fracciones de almidón con la posible carga glicémica que tenga el chayote (Wolever, 2006) y, tomando como base los antecedentes expuestos anteriormente, se podrá ofrecer un enfoque más científico sobre los usos y propiedades que tiene este alimento, fundamentando su uso en terapias nutricionales, así como en el mejoramiento e innovación de productos alimenticios y erradicando poco a poco la visión de alimento de baja calidad. Medir las fracciones digeribles del almidón en diferentes variedades con diferente grado de madurez permitirá determinar si hay alguna variedad que tenga un potencial de bajo índice glicémico y si es más recomendable consumir el chayote tierno o sazón. También, las prácticas comunes de preparación podrían influir en estas fracciones digeribles del almidón, como es su cocción en agua y su recalentamiento después de enfriado.

Otro término importante de explicar es el de *densidad energética o densidad calórica*, mismo que se refiere a la cantidad de energía (calorías o julios) en una determinada cantidad o peso dado de alimento y generalmente se expresa como la cantidad de calorías por gramo del alimento (kcal/g) (Campbell, 2017).

De los componentes que normalmente conforman el alimento, el agua es el que tiene el mayor impacto en la densidad energética porque adiciona peso sin adicionar energía; es así como la densidad energética de prácticamente cualquier preparación puede ser reducida por la incorporación de alimentos ricos en agua, como frutas y vegetales, y por la reducción en el contenido de grasa adicionada (Rolls, Drewnowsky y Ledikwe, 2005; Rolls, 2009). Esta es una de las principales razones para el uso de alimentos como el chayote y similares en los planes de dieta para reducción de peso, ya que ayudan a dar saciedad a la persona, pero con un menor aporte total de energía y, en el caso del alimento en estudio, los otros beneficios adicionados que se espera encontrar a partir de sus fracciones de almidón.

Sin embargo, es importante mencionar que la composición del alimento per se no va a determinar que una comida sea baja en densidad energética, sino que también se debe tomar en cuenta el tamaño de dicha preparación (tamaño de porción) y la combinación de los alimentos (Almiron-Roig, 2013).

El tema de la densidad calórica y la calidad de la dieta ha venido tomando relevancia, ya que, según datos de la Organización Mundial de la Salud, cerca de 1,5 billones de personas en el mundo presentan problemas de sobrepeso y obesidad, además de otros padecimientos que se asocian directamente con este problema como son la hipertensión, dislipidemias, síndrome metabólico y enfermedad cardiovascular (Layman, 2014).

En relación con los estudios que involucran análisis de la composición de alimentos, los autores McCance y Lawrence, citados por Elgyst et al., (2000), mencionan dos importantes principios en la medición de nutrientes aportados por la dieta. El primero es la necesidad de analizar los alimentos en la forma en que son consumidos por las personas y el segundo la necesidad de realizar mediciones químicas específicas a los componentes nutritivos de la dieta. En los últimos años se han dado grandes avances en el análisis de los alimentos; no obstante, al utilizar tablas de composición de alimentos (una de las fuentes de información más utilizadas para determinar valor nutritivo de alimentos y preparaciones) se encuentra que muchos de los alimentos fueron analizados en una forma que la población no los consume (crudos, por ejemplo), dando como resultado valores erróneos e incompletos, ya que, como es sabido, el procesamiento y los procesos digestivos alteran el contenido y la disponibilidad de nutrientes en los alimentos. De esta forma, a partir de estudios como éste, se puede obtener información como la tasa de digestión de las fracciones de almidón y la densidad energética de los alimentos y poder incluirla en las tablas de composición de alimentos, ofreciendo una herramienta de gran utilidad para los profesionales del área de la salud, ya que facilitaría la orientación de las personas en cuanto al tipo y cantidad de alimento que puede consumir. Asimismo, para el profesional que labora en el área de la industria es un insumo importante en la planificación y el desarrollo de productos alimenticios, pues, ayudaría a orientar de forma más clara las mejoras que deben realizarse y de esta manera ofrecer *alimentos funcionales* que respondan a las estadísticas de mortalidad y morbilidad, así como a las necesidades de salud actuales que tiene la población.

Todos estos datos podrán colaborar en gran medida a posicionar el chayote como un alimento de importancia en la dieta usual de la población costarricense y de otros países, recalcando muchas propiedades beneficiosas y aclarando muchos mitos y conocimientos erróneos alrededor de este producto; además, dándole un valor agregado como materia prima de calidad para ser utilizado en diversos procesos de la industria alimentaria o de otra índole.

II. Objetivos

A. Objetivo general

Determinar el valor energético y las fracciones digeribles del almidón de tres variedades de chayote (*Sechium edule*) de cultivo y consumo usual en Costa Rica, en dos estados de madurez y con y sin cocción.

B. Objetivos específicos

- Determinar el valor energético de tres variedades de chayotes crudos y cocinados y en dos estados de madurez para incluirlos en las bases de datos de composición de alimentos.
- Determinar el efecto de la variedad, grado de madurez y proceso térmico sobre la composición proximal del chayote.
- Comparar el contenido de almidón total y las diferentes fracciones digeribles del almidón (ARD y ALD) de tres variedades de chayote en dos estados de madurez y con y sin tratamiento térmico para la deducción del potencial de IG.
- Determinar el efecto del enfriamiento del producto hervido y vuelto a calentar sobre la formación de almidón resistente.

III. Marco teórico

A. Chayote (*Sechium edule*)

1. Taxonomía

El género *Sechium* pertenece al orden *Cucurbitales* y a la familia *Cucurbitaceae*. La primera descripción sobre esta especie fue realizada por P. Browne en 1756 basándose en plantas cultivadas en Jamaica, posteriormente en 1800 Swartz propone la combinación *S. edule* (Jacq.) Swartz, nombre científico con el que se le conoce hoy día (Gamboa, 2005; Vieira et al., 2019).

Actualmente se consideran sinónimos de *Sechium* los siguientes taxones: *Sicyos edulis* Jacq., *Chayota edulis* Jacq., *Sechium americanum* Poir., *Cucumis acutangulus* Descourt y *Sechium chayota* Hemsley. Así mismo, se acepta que en el género *Sechium* se encuentran diez especies, de las cuales ocho son silvestres y dos son domesticadas, las cuales son: *Sechium tacaco* y *Sechium edule* (Gamboa, 2005).

2. Morfología

El chayote (*Sechium edule*) es una planta trepadora, monoica (posee tanto flores masculinas como femeninas) y vivípara (posee semillas que germinan estando aún en la planta madre). El sistema radicular está compuesto por una gran cantidad de raíces fibrosas que posteriormente forman una raíz tuberosa. Los tallos son herbáceos, de color verde en las primeras fases del crecimiento y lignificados de color pardo cuando alcanzan la madurez, son tallos numerosos, voluminosos y que alcanzan longitudes de hasta 13 metros. Las hojas son grandes, con bordes aserrados o lisos y con diferente intensidad de color. La superficie foliar es pubescente y áspera; la venación es abierta, superficial, con

una tonalidad clara y presenta de cinco a siete venas mayores. Las flores son unisexuales, se producen en etapas sucesivas en el tallo y en cada nudo se encuentran las inflorescencias pistiladas y estaminadas. El fruto es una baya con un crecimiento sigmoide. El exocarpo es glabro, liso o con espinas, con presencia o ausencia de surcos y con colores que van del verde oscuro al blanco (Gamboa, 2005).

Los frutos pueden crecer individualmente o como máximo en pares, su textura es carnosa o carnosa-fibrosa y suelen tener crestas o surcos longitudinales. Vienen en diferentes formas (globosa, ovoide, subovoide, piriforme y piriforme elongado). Los tamaños también pueden variar de unos pocos hasta más de 20 centímetros y el color puede oscilar desde el blanco y el amarillo pálido hasta el verde claro u oscuro. La piel puede ser lisa y sin espinas o por el contrario estar completamente cubierta de estas (Lira Saade, 1996). El mesocarpo (pulpa) es carnoso, seco o suave, de color verdoso a blanco y está formado por un tejido (parénquima) de almacenamiento rico en nutrientes, cuyas fibras forman una pared alrededor del endocarpio (Gamboa, 2005).

3. Origen y producción agrícola

El término chayote deriva de una modificación de dos vocablos náhuatl, "*huitz*" y "*ayotl*", que significan "calabaza con espinas", y que al castellanizarlos derivó en "*chayotl*" y "*chayotli*", hasta el actual chayote (Juárez et al., 2014).

El chayote se ha cultivado en distintas partes de América desde tiempos precolombinos y su consumo en la actualidad se ha extendido a países de Asia y Europa (Ordoñez et al., 2006). Diversos registros históricos, lingüísticos y de distribución de especies silvestres relacionadas, apoyan la idea que este cultivo fue domesticado en México y América Central; sin embargo, se observa una amplia variación en algunas de las características de los cultivos según el área en

que se encuentren (Gamboa, 2005; Diaz de Cerio, 2019). La expansión inicial del chayote se limitó a la antigua cultura Tolteca, pero posteriormente fue muy difundido en América. En la parte norte de Centroamérica su cultivo se debe a la influencia de las culturas Azteca y Maya; por su parte, en Costa Rica el cultivo fue introducido por los españoles (Gamboa, 2005).

Costa Rica se considera un centro importante para esta diversidad de especies (Abdelnour y Rocha, 2008), permitiendo en cierta medida que los cultivos se adecúen a las distintas zonas geográficas y a los diferentes tipos de suelo y favoreciendo que en casi toda el área geográfica nacional se pueda disfrutar de este alimento.

La producción de chayote se ubica en el cantón de Paraíso, provincia de Cartago, específicamente en los distritos de Paraíso (valle de Ujarrás), Santiago y en menor medida Cachí, aunque también en el distrito de Cervantes. En el cantón de Alvarado se localiza otra zona de producción importante; lo anterior se debe a que dicha zona ofrece condiciones agroecológicas que permiten un mejor desarrollo y alcanzar un mayor rendimiento del producto. En otras zonas como Alajuela y el Cantón de Mora hay plantaciones de chayote criollo pero se utilizan principalmente para explotar su raíz (Ministerio de Agricultura y Ganadería, s.f.). Los principales tipos de chayote que se cultivan son el *criollo negro* (*Sechium edule* var. *nigrum xalapensis*), el *blanco* (*Sechium edule* var. *albus dulcis*) y el *tierno quelite* (*Sechium edule* var. *virens levis*), siendo este último el que se cultiva en mayor cantidad. El chayote *quelite* representa un 52% de área cultivada del total de hectáreas sembradas y es el que se utiliza principalmente para la exportación; mientras que las otras variedades se destinan al mercado nacional, siendo las ferias del agricultor y los mercados mayoristas sus principales puntos de destino (Universidad Nacional de Costa Rica y Centro Internacional de Política Económica, 2010; Avendaño et al., 2010).

Desde el punto de vista económico, en Costa Rica el chayote reporta ingresos por exportaciones desde el año 1972; sin embargo, es hasta los últimos años que se ha dado un auge hacia ciertos mercados meta internacionales, principalmente Europa y Estados Unidos. Además, en la actualidad Costa Rica es reconocida como el productor comercial y exportador líder de chayote fresco (Universidad Nacional de Costa Rica y Centro Internacional de Política Económica, 2010). Cabe mencionar que los requerimientos del mercado internacional en relación con la calidad de la fruta no han sido tan exigentes, aunque es probable que en el futuro los mercados mundiales exijan normas de calidad más rigurosas, tomando en cuenta las políticas de salud y seguridad alimentaria que actualmente velan por el adecuado abastecimiento, la calidad nutricional y la inocuidad de los alimentos que se ofrecen a la población (Gamboa, 2005).

4. Utilización

Actualmente, la parte de la planta que más se utiliza es el fruto, que es consumido en fresco como una hortaliza. Sin embargo, se debe recalcar que toda la planta es comestible, desde los tallos, hojas y zarcillos tiernos, que comúnmente se conocen como quelites, la semilla y también la parte tuberosa de la raíz. Por lo tanto, la identificación de las variedades más aptas para el consumo y, por ende, para la comercialización, se hace con base además del fenotipo, en ciertas características como sabor, color del fruto, presencia o ausencia de espinas y consistencia de la pulpa (Vieira et al., 2019; Hidalgo et al., 2016).

En general, se consumen hervidos con sal o azúcar, agregándose a diferentes guisos, caldos y sopas; también se comen en crudo adicionándose a ensaladas, fríos o asados a semejanza de las papas, en preparaciones como cacerolas, cremas, en escalopes, salteados y en escabeche. Hay países donde los tallos con los zarcillos se utilizan en platos calientes o en sopas como sustituto de los espárragos. El fruto también es utilizado por la industria para la elaboración de

alimentos infantiles, jugos, salsas y pastas. Los tallos duros y fibrosos son la única parte de la planta que no se consume (Vieira et al., 2019; Hidalgo et al., 2016; Shiga et al., 2015).

Además, desde la medicina tradicional, al chayote también se le atribuyen ciertas propiedades. Al respecto, los resultados de las investigaciones muestran que este alimento es útil como tratamiento complementario de la arteriosclerosis y la hipertensión (Ordoñez et al., 2006); asimismo, Morton (1981), citado por Gamboa (2005), Díaz de Cerio et al., (2019) e Hidalgo et al., 2016, mencionan que este producto es utilizado para el alivio de calcificaciones renales, inflamaciones intestinales y cutáneas y que los frutos son diuréticos.

También cabe resaltar su papel como ingrediente básico en planes de alimentación para reducir peso, ya que su bajo aporte calórico y su alto contenido de agua se asocian con una alta sensación de saciedad sin tener que consumir una alta cantidad de kilocalorías (Castro et al., 2015; Frías et al., 2016).

5. Composición nutricional y nutracéutica

En relación con el valor nutritivo, el chayote presenta un aporte calórico y de macronutrientes reducido, siendo los carbohidratos los más importantes de estos últimos. Se debe distinguir que dicha composición dependerá en gran medida del tipo de chayote, la zona de producción, el manejo del cultivo y el estado de crecimiento de la planta (Gamboa, 2005). Los autores Ordoñez et al., (2006) y Vieira et al., (2019) mencionan que las partes comestibles del chayote son relativamente bajas en fibra, proteína y vitaminas cuando es comparado con otros vegetales; sin embargo, tiene un importante aporte de carbohidratos y de energía principalmente en los tallos tiernos, raíces y semillas. Además, hacen referencia a estudios farmacológicos donde se han confirmado propiedades nutracéuticas como antiinflamatorio, protector cardiovascular y antihipertensivo en extractos

provenientes de las hojas, semillas y frutos (Ordoñez et al., 2006; Vieira et al., 2019).

El fruto del chayote contiene 0,40-3,60% de cenizas, en las cuales hay un rico contenido de minerales tales como K, Mg, P y Ca (Modgil, Modgil y Kumar, 2004), lo que concuerda con los hallazgos de Hidalgo et al., (2016), donde se encontró que los minerales más importantes son el K, Mg y Ca. Otros estudios también hacen referencia al contenido de aminoácidos, siendo los más importantes lisina, isoleucina, valina, serina, alanina, arginina y ácido aspártico; además, se muestra limitado en los aminoácidos azufrados (Gamboa, 2005; Hidalgo et al., 2016 y Siciliano et al., 2004). Dependiendo de la variedad de chayote, los frutos tiernos son también ricos en vitamina C y ácido fólico.

Cabe resaltar también la capacidad antioxidante de este vegetal, donde se han encontrado principalmente compuestos flavonoides tales como C-glucósidos y O-glucósidos principalmente en las hojas y los tallos tiernos, siendo la luteolina (luteolina 7-O-rutinósido y luteolina 7-O- β -D-glucopiranosido) el principal componente en las hojas y la apigenina (apigenina-6-C- β -D-glucopiranosil-8-C- β -D-apiofuranósido) en los tallos; por otra parte, en la raíz la vitexina es el compuesto que se encuentra en mayor proporción (Siciliano et al., 2004; Metral et al., 2018; Vieira et al., 2019).

La apigenina es un flavonoide que pertenece a la clase estructural de las flavonas y es un agente bioactivo que se asocia con la prevención de una gran cantidad de tipos de cáncer. Su estudio como agente quimioprotector contra el cáncer inició con Birt et al., (1986) y a partir de aquí diversos estudios han confirmado sus propiedades antioxidantes, antimutagénicas, anticarcinogénicas, antiinflamatorias, antiproliferativas y antiprogresión.

Sus efectos biológicos han sido estudiados tanto *in vitro* como *in vivo* y se relacionan principalmente con sus propiedades antioxidantes y su papel en la

eliminación de radicales libres (Shukla y Gupta, 2010; Patel, Shukla y Gupta, 2007).

Por su parte, la luteolina es un flavonoide que también pertenece a la clase estructural de las flavonas y exhibe múltiples efectos biológicos del tipo antiinflamatorio, antialérgico y anticancerígeno y puede funcionar como antioxidante bioquímicamente. Además, los efectos biológicos de la luteolina podrían estar funcionalmente relacionados entre sí; por ejemplo, la actividad antiinflamatoria puede estar vinculada con su propiedad anticancerígena (Imran et al., 2019). En la carcinogénesis, la luteolina dificulta la transformación celular, metástasis, invasión y angiogénesis a través de múltiples mecanismos; por ejemplo, induce la apoptosis y reduce los factores de transcripción. En numerosos tipos de cáncer humano, incluyendo el gástrico, el de próstata y el melanoma, la luteolina exhibe detención del ciclo celular durante la fase G1 (Imran et al., 2019; Wang et al., 2019). Varios estudios sobre la luteolina observaron que ésta no solo tiene un buen efecto antitumoral, sino que generalmente no es tóxica para las células normales, lo que indica su valor clínico potencial (Wang et al., 2019).

En relación con la composición química de las variedades cultivadas en Costa Rica, en específico, el chayote quelite es el que presenta mayor contenido de humedad y, en consecuencia, una pulpa más crujiente. El contenido de carbohidratos es mayor en el chayote blanco y el contenido de grasa y de proteína es muy limitado en todas las variedades. Cabe mencionar que las variedades con epidermis de color verde y verde oscuro son las que presentan mayor contenido de pigmentos y compuestos terpenoides (responsables del sabor amargo), pero menor contenido de sólidos solubles en comparación con las variedades blancas (Avendaño et al., 2010; Cadena et al., 2011).

B. Almidón

1. Estructura química

Después de la celulosa, el almidón es el polisacárido más abundante e importante desde el punto de vista comercial; además, ha sido parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria (Bustos et al., 2017; Badui, 2012).

Químicamente, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos, la amilosa y la amilopectina; el primero es producto de la condensación de glucosas por enlaces glucosídicos $\alpha(1,4)$, que establece largas cadenas lineales. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Englyst, 2000; Badui, 2012; Pedrosa & Schmiele, 2019).

Por su parte, la amilopectina contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central por enlaces α -D-(1,6) localizados cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización (Badui, 2012; Pedrosa & Schmiele, 2019).

El almidón sirve de reserva energética en las plantas y se almacena en pequeños corpúsculos discretos o gránulos, cuya estructura compacta permite almacenar mucha glucosa en una pequeña partícula. Debido a que su estructura está altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes, los gránulos de almidón son insolubles en agua (Pedrosa & Schmiele, 2019).

2. Cambios por el procesamiento

Cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de agua, se absorbe el líquido en las zonas intermicelares amorfas de amilopectina, que son las más accesibles. A medida que se aumenta la temperatura se retiene más agua y el gránulo comienza a hincharse y a aumentar de volumen. Al llegar a cierta temperatura (generalmente los 65 °C) el gránulo alcanza su volumen máximo y se rompe parcialmente, dejando que la amilosa y la amilopectina fuertemente hidratadas se dispersen en el seno de la disolución. A este proceso se le llama gelatinización y aumenta la susceptibilidad del alimento a la degradación enzimática (Matignon & Tecante, 2017).

Por otra parte, se puede dar un fenómeno contrario que es la retrogradación, que se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno, formando zonas con una organización cristalina muy rígida. Las enzimas amilolíticas del sistema digestivo no atacan las zonas cristalinas que se producen y, en ese sentido, se reduce el valor calórico de los alimentos que las contienen (Matignon & Tecante, 2017).

3. Fracciones digeribles del almidón

El almidón como principal componente de la dieta humana y al igual que otros carbohidratos dietéticos, tiene un valor energético de 4 kcal/g. Sin embargo, ahora se sabe muy bien que existen diferentes fracciones de almidón y que, además, no se digieren a la misma velocidad. Estas fracciones se han clasificado como: almidón rápidamente digerible (ARD), que es aquella fracción que se digiere en los primeros 20 minutos, almidón lentamente digerible (ALD), que corresponde a la fracción que se digiere entre los 20 y 120 minutos, y finalmente el almidón resistente (AR), que es la fracción que con más de 120 minutos no ha sido

digerida (Englyst et al., 1999; Englyst et al., 2000; Ma et al., 2017; Toutounji et al., 2019).

En general, las investigaciones han demostrado que la fracción de ALD provoca una respuesta glicémica e insulinémica posprandial moderada, por lo tanto, esta fracción de almidón se considera beneficiosa para el manejo de la dieta de personas con afecciones crónicas y metabólicas, como diabetes tipo 2 y dislipidemia. La fracción de AR también se considera beneficiosa porque evade la digestión en el tracto gastrointestinal y, por lo tanto, los alimentos ricos en esta fracción de almidón tienen un aporte calórico menor; además, tiene una función fisiológica similar a la fibra dietética, porque provee un sustrato para la flora microbiana, donde mediante fermentación sintetizan ácidos grasos de cadena corta en el colon (Englyst et al., 2000; Raatz et al., 2016).

Se producen diferencias considerables en la extensión y la velocidad de la hidrólisis del almidón a través de la ingestión de diferentes productos a base de cereales que contienen cantidades idénticas de almidón. El hecho de que se encuentren tales diferencias evidencia una variación en el estado físico del almidón, la matriz alimentaria, la formulación, el procesamiento o incluso la presencia o ausencia de otros componentes como proteínas y grasas (Ogawa et al., 2018; Singh et al., 2010). De modo que, las características químicas y físicas de los alimentos influyen en el grado de digestión y los cambios que tienen lugar durante cada paso del proceso.

La velocidad a la que los carbohidratos están disponibles para el metabolismo está influenciada por diversos factores; entre estos se menciona la tasa de liberación de los carbohidratos de los alimentos. La importancia de este tema es el impacto que tiene la digestión y absorción de carbohidratos en la homeostasis postprandial de la glucosa en sangre y las respuestas metabólicas y endocrinas asociadas, lo cual dependerá entonces del IG que presenten los alimentos. Es así como las fracciones de almidón pueden utilizarse como indicador para predecir el

IG, ya que, un alimento que presente mayor proporción de ARD tenderá a presentar un IG mayor, puesto que tiene carbohidratos más rápidamente disponibles para ser metabolizados, contrario a un alimento con una mayor proporción de ALD y AR (Englyst et al., 2003; Yu et al., 2015; Toutounji, et al., 2019).

En la figura 1 se detalla más cada una de las fracciones digerible del almidón.



Figura 1. Fracciones digeribles del almidón y las respuestas metabólicas asociadas

Fuente: Englyst y Hudson. 1996.

4. Almidón resistente

Junto con el ALD, el AR ha tomado especial atención en la industria alimentaria al tener un rol importante en el combate de enfermedades metabólicas. El AR como no ha sido digerido, durante su tránsito por el intestino grueso fomenta el crecimiento de la microbiota del colon y promueve la producción de Butirato. La tendencia natural del AR es reducir la energía y el contenido de carbohidratos disponibles en los alimentos. Se considera, además, una promisorio fuente de prebióticos (Raatz et al., 2016; Toutounji, et al., 2019).

Se pueden distinguir cinco sub tipos de AR, dependiendo de factores como la estructura de los gránulos de almidón, operaciones de cocción y enfriamiento a las que se someta el alimento y la formación de complejos con otros componentes. En el cuadro 1 se describe cada uno.

Cuadro 1. Descripción de los tipos de almidón resistente presentes en los alimentos

Tipo de almidón resistente	Características
AR1	Es el almidón físicamente inaccesible que está atrapado dentro de granos o semillas enteras o parcialmente molidas
AR2	Es un almidón nativo granular que presenta polimorfismo y cuya cristalinidad lo hace poco susceptible a la hidrólisis
AR3	Consiste en almidón retrogradado formado durante las operaciones de cocción y enfriamiento de los alimentos
AR4	Incluye almidones modificados químicamente (conversión, sustitución o reticulación) que resisten la hidrólisis enzimática debido a la presencia de enlaces químicos típicos en ellos
AR5	Se origina por la formación de complejos entre la fracción de amilosa del almidón con lípidos y surfactantes presentes en el alimento

Fuente: Jeong et al., 2019 y Remya et al., 2018

5. Fracciones digeribles de almidón como indicador del índice glicémico de los alimentos

El índice glicémico (IG) es una medida de la calidad de los carbohidratos de la dieta, donde un IG bajo indica que los carbohidratos en los alimentos se digieren y absorben lentamente (Brand-Miller et al., 2009;). El IG de un alimento se define como la relación media entre el área bajo la curva de respuesta glicémica postprandial de una porción de ese alimento que proporciona 50 g de carbohidratos disponibles y la de un alimento de referencia, generalmente 50 g de glucosa, y, por lo tanto, es de naturaleza adimensional. Como la cantidad de carbohidratos consumidos también es un factor clave para determinar la respuesta glicémica posprandial, el IG fue criticado a menudo por no tomar en cuenta la cantidad de carbohidratos. Para abordar esto, se desarrolló el concepto de carga glicémica (CG), la cual refleja mejor el efecto de los alimentos en la glucosa sanguínea, ya que, se basa en porciones de consumo usual y la cantidad de carbohidratos que estas aportan. La CG se obtiene entonces, multiplicando los gramos de carbohidrato que aporta la porción del alimento, por el IG del alimento (como porcentaje) y la unidad en que se reporta es gramos (Zhang & Hamaker, 2009; Yu et al., 2015; Argyri et al., 2016).

Desde el punto de vista nutricional, se vuelve de gran importancia la tasa a la que el almidón es digerido en el intestino delgado, debido a que las diversas respuestas metabólicas que se generan se asocian con la glicemia postprandial, y estos datos se han utilizado para clasificar los alimentos según su índice glicémico; además, se ha asociado con una variedad de enfermedades relacionadas con la dieta (Shumoy & Raes, 2017; Toutounji et al., 2019).

Inicialmente, cuando se propuso el término IG la principal aplicación que se consideró fue para el manejo de la diabetes mellitus y es por esta razón que muchas de las investigaciones se centran en este tema. Algunos estudios han

encontrado una asociación estadísticamente significativa de la dieta con alto IG con un mayor riesgo de desarrollar diabetes mellitus tipo 2 y estos estudios sustentan sus resultados en otros estudios que han mostrado que dietas con alto IG se asocian con un incremento en el riesgo de padecer síndrome metabólico, desarrollar resistencia a la insulina o tener mayores concentraciones séricas de insulina en ayunas (Wolever, 2006; Toutounji et al., 2019). Además, también se han encontrado asociaciones positivas entre el IG de la dieta y la aparición de síntomas de enfermedad cardiovascular, padecimiento que se asocia muchas veces como una complicación de la diabetes mellitus y otros problemas como el sobrepeso/obesidad.

El consumo de comidas con IG bajo resulta en fluctuaciones más bajas en los niveles de glucosa en sangre posprandial en comparación con las comidas con IG alto con la misma cantidad de carbohidratos disponibles. Dado que la hiperglicemia posprandial crónica y la hiperinsulinemia asociada se han relacionado con un mayor riesgo de enfermedades crónicas, se supone que un patrón de alimentación con IG bajo es protector, asociándose con una reducción de los riesgos de diabetes tipo 2, enfermedad coronaria, enfermedad de la vesícula biliar, cáncer de mama y prevención de la obesidad (Tolfrey & Zakrzewski, 2012; Yu et al., 2015; Kaur et al., 2016; Lu et al., 2018).

La asignación precisa de los valores de IG a los alimentos es crucial para la validez de la relación observada entre el IG y/o CG de la dieta y los efectos en la salud, así como en los resultados de estudios observacionales y estudios de intervención, donde se deben utilizar diferentes métodos para asignar valores de IG a los alimentos, o adoptar métodos de otras investigaciones y realizarles ajustes, limitando la comparación de datos. Como una forma de solucionar este problema, es que se recomienda la asignación de valores de IG a los alimentos que se incluyen en bases de datos de composición de alimentos. Aunque se sabe que pueden haber diferencias en los métodos de análisis y valores utilizados entre

los países, al menos podría garantizarse la estandarización dentro de cada país, lo que se justifica, además, debido a la variabilidad en los patrones alimentarios propios que existen en cada uno (Yu et al., 2015).

IV. Materiales y métodos

A. Localización

Los análisis químicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) y los análisis de las fracciones digeribles del almidón se realizaron en el Laboratorio de Química de Alimentos de la Escuela de Tecnología de Alimentos, ambos ubicados en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica.

B. Materias primas

Se seleccionaron las variedades criollo, quelite y blanco para la presente investigación (ver Figura 2), debido a que son de las más comúnmente consumidas por la población costarricense y son las de mayor disponibilidad en las ferias del agricultor, supermercados o huertas familiares. Las muestras fueron obtenidas en la feria del agricultor de La Villa en Desamparados y de las fincas el Kogui y Cuatro Esquinas de Tierra Blanca de Cartago. El chayote tierno correspondió al que tiene la epidermis brillante y lisa, y la semilla dentro del fruto y que se puede penetrar o cortar con cuchillo fácilmente (aplicando poca presión), mientras que el chayote sazón (maduro) fue el que tenía una epidermis con estrías, la semilla fuera del fruto y que no se podía penetrar con un cuchillo fácilmente.

En la Figura 2, se pueden observar más detalladamente, las características de cada variedad según su estadio de madurez.

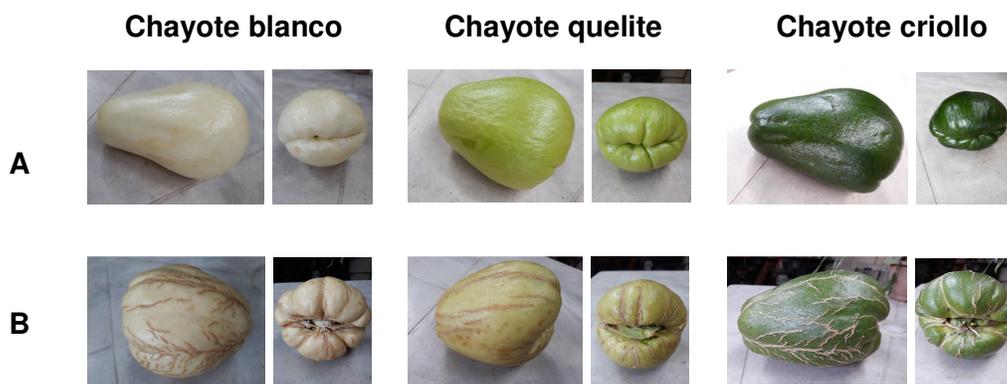


Figura 2. A) Chayotes en su estadio de madurez tierno. La epidermis lisa, brillante y sin estrías, y no se observa ninguna señal de la semilla. **B)** Chayotes en su estadio de madurez sazón. La epidermis, llena de estrías, ya no tiene brillo y es más gruesa, y se observa la semilla de afuera

C. Preparación de las muestras en el laboratorio para su análisis

El análisis proximal se hizo en las muestras crudas y cocidas, y el análisis de las fracciones digeribles del almidón se realizó en las muestras crudas, cocidas y recalentadas (cocción-enfriamiento-recalentamiento).

La preparación de las muestras cocidas se hizo utilizando ollas y cocina eléctrica. Las muestras cocidas se prepararon el mismo día de análisis, mientras que las muestras recocidas se prepararon un día antes, se enfriaron y se recalentaron el día del análisis. Las muestras crudas se prepararon inmediatamente previo a su análisis.

Para la cocción, se procedió a pelar los frutos, dividirlos en cubos grandes (4 cm) de tamaño homogéneo y colocarlos en agua a ebullición (93 °C en promedio) durante 25 minutos, aproximadamente, para los chayotes en estado tierno y 30 minutos, aproximadamente, para los chayotes en estado sazón, obteniendo una

textura suave pero que se mantuviera firme al tacto. La temperatura de cocción se controló con ayuda de un termómetro digital marca Taylor®.

Para el recocado, una parte de los chayotes cocidos se enfriaron en refrigeración y, veinticuatro horas después de la cocción inicial, se aplicó una segunda cocción que consistió en un calentamiento en horno microondas durante 3 minutos, tomando en cuenta que este alimento se puede mantener en refrigeración por tiempos cortos.

Para la determinación de las fracciones digeribles de almidón, las muestras debieron analizarse tal cual son consumidas, por esta razón se pelaron, se trocearon en pedazos muy pequeños y se maceraron utilizando una licuadora marca Oster®. Debido a que a las muestras no se les puede adicionar agua, el proceso de maceración fue lento y debió hacerse poco a poco utilizando la máxima velocidad, hasta obtener una mezcla homogénea donde no hubiera trozos grandes, ya que, esto podía afectar la acción de las enzimas.

Los reactivos utilizados se prepararon previamente, para no atrasar ni afectar la toma de las submuestras. Las enzimas si se alistaron en el momento, para no alterar su función.

D. Análisis físicoquímicos

Estos análisis fueron realizados por el Laboratorio de Química del CITA. Se determinaron la humedad, las cenizas y un análisis proximal donde se determinaron proteínas, grasa cruda y fibra total. El contenido de hidratos de carbono se calculó por diferencia a partir de los otros componentes (Balanzá, 2007). Finalmente se determinó el contenido calórico de cada una de las muestras. A continuación, se detalla cada uno de los métodos.

1. Determinación de Humedad: mediante el método P-SA-MQ-002 del Laboratorio de Química del CITA que se basa en medir la pérdida de masa debida a la evaporación de agua. Para esto se utilizan cápsulas que se secan en una estufa de convección natural a 98-100 °C durante una hora, luego se enfrían en un desecador y se les determina la masa. Posteriormente se determina la masa de la cantidad de muestra según P-SA-BQ-001 y se coloca en la cápsula, se lleva a la estufa de vacío y se calienta a 68-71 °C durante seis horas hasta alcanzar masa constante; el vacío es de 15-25 pulgadas de mercurio y se deja entrar una corriente de aire seco de 2 burbujas por segundo. Una vez transcurrido el tiempo de secado se deja entrar aire seco para alcanzar la presión atmosférica, se abre la estufa y se coloca una tapa a la cápsula y se lleva al desecador. Una vez fría se determina la masa y se calcula la humedad, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{MCM} - \text{MCMS}}{\text{MCM} - \text{MC}} \times 100$$

MC = Masa cápsula vacía

MCM= Masa cápsula + muestra

MCMS= Masa de cápsula + muestra seca

2. Determinación de cenizas: mediante el método P-SA-MQ-004 del Laboratorio de Química del CITA, que consiste en la medición de la masa del residuo inorgánico que queda después de quemar la muestra a 500-600 °C. El residuo consiste de óxidos y sales que contienen aniones como sulfatos y fosfatos y cationes como sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro y manganeso.

El procedimiento consiste en lo siguiente: medir la masa de una cantidad de muestra bien homogenizada (según P-SA-MQ-001) en un crisol previamente incinerado y enfriado en un desecador. Se calienta la muestra

en estufa a 100 °C hasta que seque; luego en una capilla se calienta despacio (utilizando un calentador) hasta que esté bien quemada, cuidando que el contenido del crisol no se encienda. Finalmente se incinera en la mufla a 525 °C, hasta obtener cenizas grises, blancas y masa constante. El crisol se lleva al desecador y una vez fría y alcanzada la temperatura ambiente se determina la masa utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{MCMS} - \text{MC}}{\text{MCM} - \text{MC}} \times 100$$

MC = Masa del crisol

MCM= Masa del crisol + muestra

MCMS= Masa del crisol + muestra incinerada

3. Determinación de proteínas: mediante el método P-SA-MQ-003 del Laboratorio de Química del CITA, que se basa en el método de Kjeldahl que es un método de cuantificación del nitrógeno presente en el alimento. Este método se desarrolla en tres etapas 1. Digestión, 2. Destilación y 3. Valoración.

Para la etapa de digestión la muestra se mezcla con 20 mL de ácido sulfúrico concentrado y se calienta a una temperatura de 350-380 °C, se adiciona sulfato de potasio y sulfato de cobre como catalizadores y se mantiene caliente la mezcla por unos 180 minutos. En este proceso de carboniza la materia orgánica y se forma una espuma negra, la cual se descompone y se convierte en un líquido claro, lo que indica que la reacción ha finalizado. Una vez terminada esta etapa, la muestra se diluye con 100 mL de agua y se trasvasa a la unidad de destilación.

Para la etapa de destilación, se adicionan 50 mL de hidróxido de sodio y el gas amoníaco que se libera se condensa y se captura en el vaso receptor utilizando 50 mL de una solución absorbente de ácido bórico (2%-4%) con

6-7 gotas de indicador de Tashiro. Cuando el amoníaco reacciona con el ácido bórico la solución vira de rojo a verde.

La etapa de valoración se hace con ácido clorhídrico (HCl) 0,25 mol/L hasta que la solución tenga un ligero color violeta.

Los cálculos se realizan con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{mL ácido bórico} - \text{mL ácido clorhídrico}) \times N \text{ ácido bórico} \times 1,4007}{\text{peso de la muestra (g)}}$$

N = normalidad

Para obtener la cantidad de proteína, se multiplica el nitrógeno por el factor 6,25.

4. Determinación de grasa cruda: mediante el método P-SA-MQ-005 del Laboratorio de Química del CITA, que se basa en la extracción de grasa del material seco con un disolvente como éter de petróleo o éter etílico en un equipo de extracción tipo Soxhlet, Goldfish, Soxtec Avanti 2050 o Buchi. La muestra debe secarse a 68-71 °C durante seis horas; una vez seca se coloca en el extractor utilizando cartuchos con papel Whatman N°4. El extracto etéreo se recoge en un balón o beaker que debe haberse secado en la estufa por lo menos durante una hora a 100 °C, enfriado en un desecador y medido en balanza analítica. El período de extracción es de 8-10 horas, posteriormente se evapora la mayor parte del éter y se seca el extracto dejándolo en la estufa por lo menos dos horas a 100 °C, se enfría y se mide la masa. Luego se repite el proceso de secado por períodos de una hora, se enfría y se mide la masa, hasta alcanzar masa constante. Para los cálculos se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{M_{\text{balón+grasa}} - M_{\text{balón}}}{\text{Masa de muestra}} \times 100$$

$M_{\text{balón + grasa}}$: es el menor valor medido cuando se lleva a masa constante, no necesariamente corresponde al último valor registrado.

5. Determinación de fibra dietética total: mediante el método P-SA-MQ-007 del Laboratorio de Química del CITA, que se basa en una hidrólisis enzimática de almidón y proteína (hidrólisis parcial), la cual se lleva a cabo en tres etapas.

Para la preparación de la muestra, ésta se homogeniza y se seca toda la noche a 70 °C en estufa de vacío o de convección. Se coloca en desecador hasta que enfríe y se procesa. Se registra la pérdida de masa producto del secado y se muele la muestra hasta obtener una partícula fina.

Para la primera etapa de la digestión enzimática, se mide por duplicado 1 mg de muestra y se coloca en beakers de 600 mL. Añadir 60 mL de buffer de fosfato pH 6, ajustar el pH a 5,8-6,2. Añadir 0,1 mL de solución de Thermoamyl (α -amilasa), tapar los beakers y llevar a baño maría en ebullición por 15 minutos, agitar cada 5 minutos y dejar que las muestras alcancen los 95-100 °C. Enfriar hasta temperatura ambiente, añadir 10 mL de NaOH 0,275 mol/L y seguir adicionando lentamente hasta alcanzar un pH de 7,3-7,7.

Para la segunda etapa, se añaden 5 mg de proteasa, se tapan los beakers e se incuban a 59-61 °C por 30 minutos con agitación. Se enfrían y se añaden 10 mL de disolución de HCl 0,333 mol/L y se sigue añadiendo hasta alcanzar un pH de 4,0-4,6.

Para la tercera etapa, se añaden 0,1 mL de amiloglucosidasa, se tapan los beakers y se incuban a 59-61 °C por 30 minutos.

Finalmente se hace una precipitación y filtración, para lo cual aún con la muestra caliente, se adicionan 280 mL de etanol al 95%. Se deja precipitar a temperatura ambiente por 60 minutos o toda la noche, de ser necesario.

Se realiza la filtración al vacío, colocando crisoles sobre kitsatos de 500 mL y transfiriendo cuantitativamente el precipitado. Se secan los crisoles con el precipitado toda la noche a 105 °C en estufa de convección natural, se pesan y se vuelven a colocar en estufa hasta alcanzar masa constante.

El resultado se obtiene mediante la fórmula:

$$\% \text{ FDT} = \frac{\text{g residuo} - \left(\frac{\% \text{proteína residuo} + \% \text{ cenizas residuo}}{100} \right) \times \text{g residuo}}{\text{g muestra}} \times 100$$

6. Determinación de carbohidratos: los carbohidratos totales se obtuvieron por diferencia mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{CHO totales} = 100 - (\% \text{humedad} + \% \text{cenizas} + \% \text{grasa} + \% \text{proteína})$$

Para obtener los carbohidratos disponibles se resta al porcentaje de carbohidratos totales el porcentaje de la fibra dietética.

7. Determinación del contenido energético: el contenido energético se obtiene mediante la sumatoria de los porcentajes de los macronutrientes (carbohidratos, proteínas y grasa) multiplicados por los respectivos factores que indican el aporte de kilocalorías por gramo que tiene cada uno. A continuación, se muestra la fórmula:

$$\text{Kcal}/100 \text{ g} = 4 \times \% \text{ CHO disponibles} + 4 \times \% \text{ proteína} + 9 \times \% \text{ grasa}$$

E. Fracciones digeribles de almidón

Se realizó con el método enzimático recomendado por Englyst et al., (2000), que consiste en una hidrólisis enzimática que simula la digestión del almidón y la medición de la glucosa liberada. Las muestras son tratadas con proteasas para romper cualquier interacción almidón-proteína. Seguidamente se da una incubación con enzimas amilolíticas bajo condiciones controladas de temperatura, pH, viscosidad y tasa de agitación. A partir de esta digestión se toman submuestras a los 20 minutos (GLD) y a los 120 minutos (GRD), valores que permiten determinar ARD (20 minutos) y ALD (120 minutos).

El almidón total (AT) se determina hidrolizando completamente el almidón presente en la muestra por medio del tratamiento enzimático y la adición de KOH. El almidón resistente (AR) es la diferencia entre el AT y A_{120} .

El factor 0.9 se usa para convertir la glucosa que se determina a almidón. Es el cociente de la masa molecular de la anhidroglucosa (162 g/mol) entre la masa molecular de la glucosa (180 g/mol).

Los valores para las diferentes fracciones se obtienen mediante las siguientes fórmulas:

$$ARD = 0.9 (G_{20} - G_{libre})$$

$$ALD = 0.9 (G_{120} - G_{20})$$

$$AT = 0.9 (G_{total} - G_{libre})$$

$$AR = 0.9 (G_{total} - G_{120})$$

La descripción detallada del método se muestra en el Apéndice 1.

F. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de Bloques completos al azar con un arreglo factorial de 3x2x2 para los tres factores (variedad, madurez y cocción), donde el factor bloque correspondió a los lotes que se utilizaron. En cada uno de los bloques se analizaron los 18 tratamientos (por triplicado) y el análisis se hizo al azar.

Para las fracciones digeribles de almidón, se analizaron dos lotes y se evaluaron 4 variables dependientes, las cuales se detallan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Tratamientos y variables dependientes a evaluar en el diseño experimental.

Tratamiento		Variables dependientes
V1M1C1	V2M2C1	
V1M1C2	V2M2C2	
V1M1C3	V2M2C3	Almidón lento y rápidamente digerible
V1M2C1	V3M1C1	Almidón resistente
V1M2C2	V3M1C2	Almidón total
V1M2C3	V3M1C3	
V2M1C1	V3M2C1	
V2M1C2	V3M2C2	
V2M1C3	V3M2C3	

V: variedad, M: grado de madurez, C; grado de cocción

El contenido calórico y la composición proximal, representan las otras dos variables dependientes analizadas. También se utilizó un arreglo factorial 3x2x2 para los tres factores (variedad, madurez y cocción) y se analizaron tres lotes.

El arreglo factorial permitió determinar posibles interacciones entre los factores, los mismos se detallan a continuación.



Figura 3. Arreglo factorial utilizado para evaluar interacciones entre las variables dependientes.

Se hizo un análisis de varianza para determinar si había diferencias significativas entre los tratamientos utilizando un valor α de 0,05. Adicionalmente se complementó el análisis con una prueba de comparación de medias (Tukey), la cual permitió ver diferencias en los niveles de cada factor, esto para saber cuáles tratamientos concretos tenían un mayor efecto o cuáles eran los tratamientos diferentes entre sí.

Para aquellos casos donde hubo interacciones múltiples, se procedió a realizar la prueba post hoc Test de Bonferroni (Boreau, 2015), utilizando un valor α de 0,05, para determinar más específicamente cómo se comportaba un factor sobre los niveles del otro factor, es decir si había un efecto recíproco o si por el contrario la acción de ese factor modificaba el efecto del otro factor.

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa estadístico XLSTAT versión 5.1.

V. Resultados y discusión

A. Análisis proximal

En esta sección se presentan los resultados del efecto que tienen los factores de variedad, grado de madurez y nivel de cocción sobre la composición proximal y el contenido calórico del chayote. Los datos fueron calculados en base húmeda y los valores que se presentan son promedios de los tres lotes analizados.

Contar con esta información es muy valioso, ya que los estudios relacionados con la composición nutricional del chayote son limitados y los datos que ofrecen no son específicos por variedad; además, no se toma en cuenta el procesamiento (a pesar de que la principal forma de consumo es cocido) ni tampoco el efecto del grado de madurez.

En el Apéndice 2 se presentan los resultados del ANDEVA para todas las variables analizadas. Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los factores individuales (variedad, grado de madurez y cocción), y para las cenizas se encontró además una interacción entre los factores variedad y cocción. Debido a esto se realizó la prueba post hoc Test de Bonferroni cuyos resultados se muestran en el Apéndice 3.

En relación con la madurez, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en todos los valores de la composición proximal (Figura 4), con excepción de la grasa, para la que se obtuvo un contenido promedio de 0,13g/100g. Para la humedad se encontró que el chayote tierno muestra un mayor contenido (94,30g/100g) en relación con el chayote sazón (92,51g/100g). En cuanto al contenido de cenizas, se encontró que el chayote sazón presenta un mayor contenido (0,34g/100g) con relación al chayote tierno (0,29g/100g). Para la proteína, el chayote sazón presentó el mayor contenido (0,83g/100g) en

comparación con el chayote tierno (0,64g/100g), de forma similar que para la fibra dietética, donde el mayor contenido se encontró en el chayote sazón (1,31g/100g) en relación con el chayote tierno (1,07g/100g). En el caso de los carbohidratos totales y los carbohidratos disponibles, nuevamente el chayote sazón fue el que mostró un mayor contenido (6,18g/100g y 4,89g/100g, respectivamente) comparándolo con el chayote tierno (4,67g/100g y 3,60g/100g). Finalmente, en relación al contenido energético, el chayote sazón fue el que mostró un mayor aporte (25,78kcal/100g) comparado con el chayote tierno (18,72kcal/100g).

Estos datos concuerdan con los obtenidos por Vieira et al., (2019) y Shiga et al., (2015), donde se describe que, en general, el chayote es bajo en calorías, con aproximadamente 19-31kcal/100g de materia seca y en relación con el contenido de proteínas estas rondan los 0,82-1,74g/100g, donde este bajo contenido de proteínas ha sido confirmado mediante hidrólisis de las muestras y el análisis de su perfil de aminoácidos. Los lípidos oscilan entre 0,10-0,30g/100g y esta fracción es principalmente representada por ácidos palmítico, linolénico, oleico y palmitoleico. El contenido de fibra en el fruto puede fluctuar entre 0,40-7,60 g/100g.

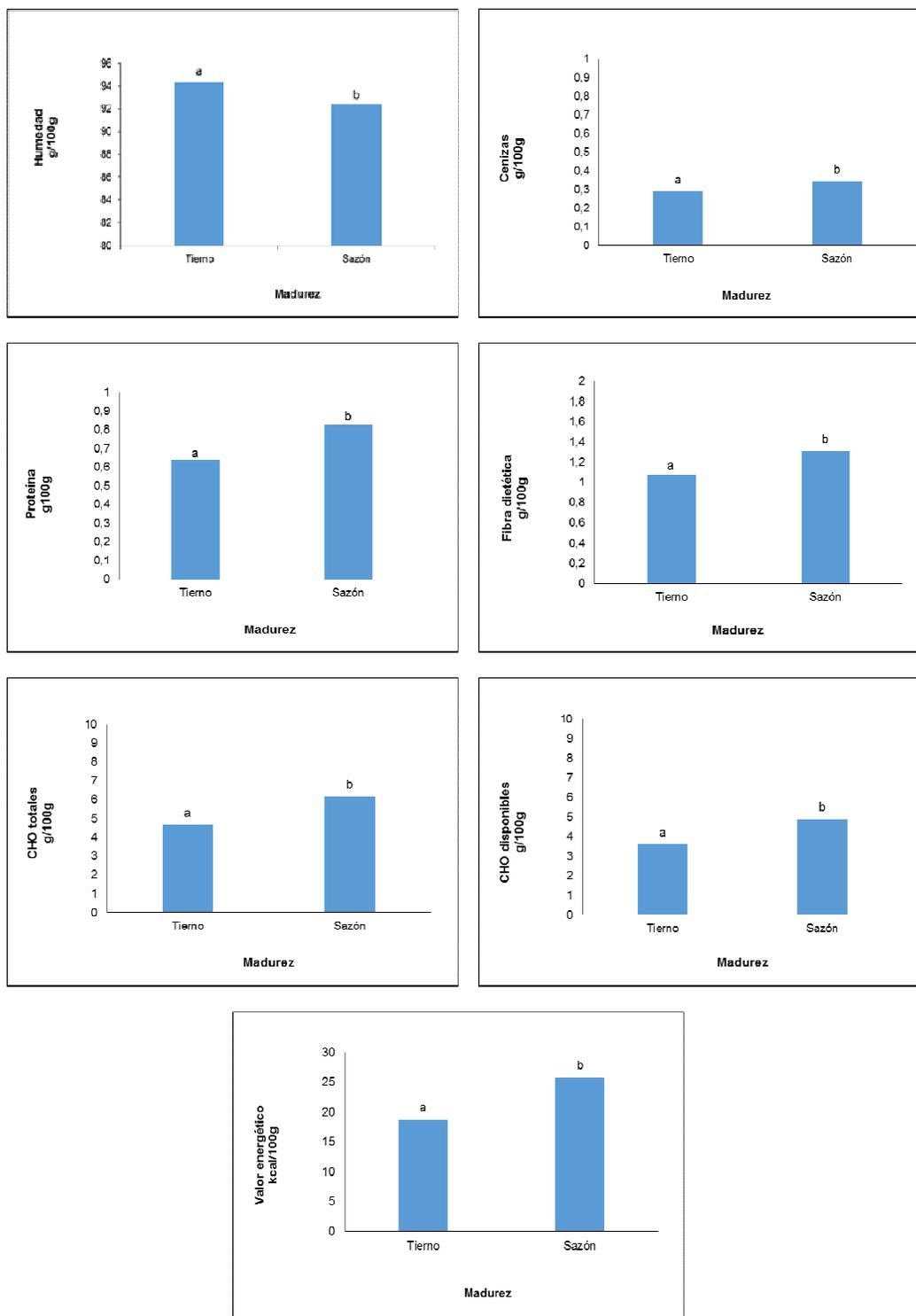


Figura 4. Contenido de humedad, cenizas, proteína, fibra dietética, carbohidratos totales, carbohidratos disponibles y valor energético para las muestras de chayote, afectados por el grado de madurez. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores.

Sobre el mayor aporte calórico de las muestras con madurez sazón, hay que tomar en cuenta que este dato se relaciona con el contenido de macronutrientes, ya que el contenido calórico de un alimento proviene de los macronutrientes que lo conforman, es decir proteínas, carbohidratos y grasas (Siebeling et al., 2015). Como se observa en los resultados, el contenido de macronutrientes es mayoritariamente carbohidratos, siendo significativamente ($p \leq 0.05$) más alto su contenido cuando el fruto de chayote se encuentra en estado de madurez sazón, pero también el contenido de proteínas es significativamente mayor ($p \leq 0.05$) con la madurez sazón (0,828g/100g). Al respecto, Villanueva et al., (2004) mencionan que, durante la madurez de los frutos y por la acción enzimática, puede ocurrir ruptura de diferentes oligosacáridos presentes en las paredes celulares del fruto u otras partes de la planta, incrementando los valores de los carbohidratos totales en el fruto maduro.

Además, el aporte calórico del chayote, de cualquier variedad y grado de madurez, es bajo. Pero esta es una característica común de las cucurbitáceas, donde, por ejemplo, el melón tiene un aporte calórico promedio de 32kcal/100g y las calabazas tienen un aporte calórico promedio de 36kcal/100; en comparación con frutos como el banano maduro con un aporte calórico de 89kcal/100g y vegetales como la yuca con un aporte calórico de 169kcal/100g (Schaffer y Paris, 2016; U.S Department of Agriculture, 2019).

En relación con los cambios en el contenido de proteína con el grado de madurez, Shattir & Abu-Goukh, (2012) mencionan que, durante la maduración de los frutos, hay una disminución del nivel de aminoácidos libres, lo que indica síntesis proteica y esto respalda la idea de que estas proteínas son principalmente enzimas necesarias para el proceso de maduración. En frutas y vegetales, las proteínas son principalmente funcionales (enzimas), contrario a los cereales y leguminosas, donde sirven de almacenamiento de energía. Esto sustenta que en frutas y vegetales los cambios en su contenido indican variaciones de la actividad

metabólica durante el proceso de maduración; por esta razón los frutos en madurez sazón presentaron mayor contenido de proteína que los frutos tiernos.

Por otra parte, está el contenido de humedad, que también presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) según el grado de madurez, donde las muestras en estado de madurez sazón tuvieron un menor contenido, generado probablemente por los procesos fisiológicos que sufren los frutos durante la maduración, como es la pérdida de humedad por la transpiración. Este fenómeno puede generar una mayor concentración de los macronutrientes, debido a cambios en la proporción de los distintos componentes del fruto de chayote. Estos datos concuerdan con los observados por Villanueva et al., (2004), donde se vio que en frutos de melón maduros se aumentaba el contenido de proteína, cenizas y carbohidratos y se reducía el contenido de humedad.

Para analizar los cambios ocurridos en relación con el contenido de fibra dietética, es necesario explicar que los frutos de chayote presentan una fracción de polisacáridos compuesta por pectinas (ramnogalacturonano I y ramnogalacturonano II) y una fracción compuesta por hemicelulosas (arabinosa, galactosa y xiloglucano) principalmente. Las sustancias pécticas se encuentran altamente ramificadas generando una alta interacción de enlaces de hidrógeno con los componentes no solubles de la pared celular. Esto ocasiona una alta firmeza del tejido del fruto del chayote; además, contribuye la presencia de los polisacáridos hemicelulósicos como el glucurono(arabino)xilano, manano, galactoglucomanano y fucoxiloglucano (Shiga et al., 2015). Este patrón de estructura de la pared celular en los frutos de chayote puede explicar por qué estos frutos no se degradan fácilmente cuando se someten a golpes o procedimientos de cocción.

Como lo mencionan Ratnayake, Melton y Hurst, (2003), las cantidades de polisacáridos de la pared celular, así como el tipo, longitud y patrón de

ramificación de las cadenas laterales de los polisacáridos, tienen un importante efecto en la estructura de las paredes celulares y, por lo tanto, en la textura de las frutas y verduras. Cuando ocurre el proceso de maduración, en la mayoría de frutos, se da una degradación de las hemicelulosas (aumentan las formas no ramificadas y disminuyen las ramificadas) dando como resultado un ablandamiento de los tejidos, pero, en algunos vegetales, como es el caso del chayote y el espárrago, con la maduración más bien se desarrolla una textura firme y leñosa, debido a la formación de enlaces cruzados en la pared celular (Vicens et al., 2009; Raffo et al., 2009; Schaffer et al., 2016). En el chayote, con el proceso de maduración más bien aumentan las formas altamente ramificadas de los polisacáridos y es por esta razón que la fruta se vuelve más dura y fibrosa (Shiga et al., 2015).

Estos datos explican por qué el chayote con una madurez sazón presenta un mayor contenido de fibra dietética (Figura 4), ya que, en lugar de ocurrir la degradación de los polisacáridos de la pared celular por acción de la maduración, más bien se sintetizan formas más ramificadas y se crean más enlaces, haciendo la estructura menos susceptible a la acción enzimática y generando que se aumente la fracción de fibra, principalmente de la fracción insoluble (Schaffer et al., 2016).

Para el factor variedad, en promedio de los estados de madurez, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los valores de cenizas, proteína y fibra dietética (Figura 5), sin embargo, para las cenizas se dio una interacción, de manera que los resultados se analizaron posteriormente.

En el caso de las proteínas, el mayor contenido se presentó en el chayote blanco (0,86g/100g) mientras que para los chayotes quelite y criollo los valores fueron 0,70g/100g y 0,62g/100g respectivamente. Con relación a la fibra dietética el chayote blanco fue el que presentó el mayor contenido (1,42g/100g) en

comparación con los chayotes quelite y criollo (1,07g/100g y 1,07g/100g respectivamente).

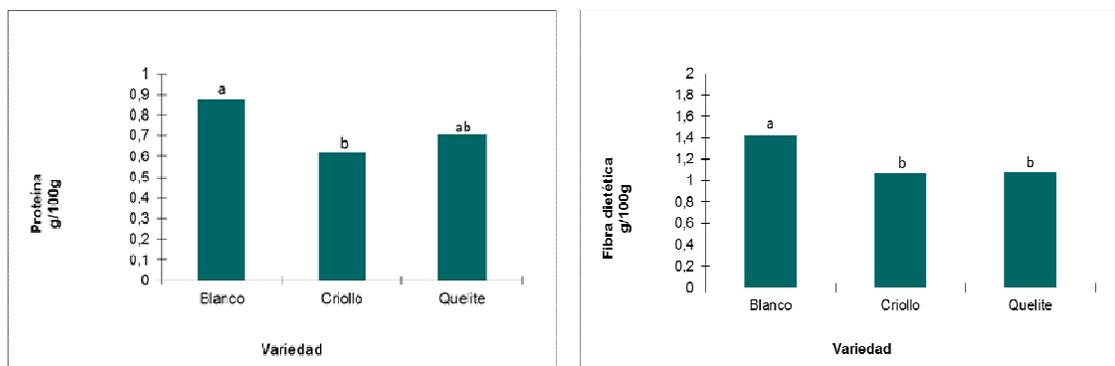


Figura 5. Contenido de proteína y fibra dietética de las muestras de chayote afectadas por la variedad. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores.

Sobre los cambios en relación con la variedad, las investigaciones mencionan que, desde un punto de vista agronómico, la calidad de los vegetales al momento de la cosecha va a estar determinada por las interacciones de tres variables: el genotipo, el ambiente y el manejo vinculado con el cultivo (Ntatsi et al., 2018). Relacionado con esto, los lotes de chayote utilizados en la presente investigación fueron obtenidos de fincas ubicadas en el área de El Guarco, Ujarrás y Tierra Blanca, donde es común tener terrenos dedicados al monocultivo del chayote, desgastando el suelo e impactando en la calidad y productividad del cultivo (Gamboa, 2005), generando así variaciones en cuanto al contenido de nutrientes de un fruto a otro, incluso de la misma variedad.

Asimismo, se debe tener en cuenta que la composición nutricional del chayote va a estar influenciada por diversos factores ambientales como el clima, la región, condiciones de cultivo, edad de la planta y métodos de procesamiento (Vieira et al., 2019; Cadena-Iñiguez et al., 2007). Para la presente investigación, aunque el lote se utilizó como bloque para controlar la variabilidad entre las muestras, no se pudo controlar por completo la procedencia de las mismas, de manera que venían

de fincas ubicadas en distintas localidades de la provincia de Cartago. De manera que las muestras de chayote pudieron estar expuestas a diversos factores relacionados con el cultivo que influyeron de una u otra manera en su composición química y nutricional, ya que los lotes se recolectaron en diferentes fechas y de diferentes fincas. Además, según mencionan los mismos productores, las plantaciones de chayote dependen de las lluvias para cosechar y, de acuerdo a como esté el clima, debe hacerse riego manual pero esto afecta las características de la cosecha y de los frutos, reduciendo la calidad de las mismas. Esto ha sido observado en otros cultivos, por ejemplo, el frijol, donde Ntatsi et al., (2018) y Ovando-Martínez et al., (2011) encontraron que la presencia de suficiente agua y temperaturas cálidas durante el crecimiento de frijoles resulta en modificaciones químicas, reduciendo la cantidad de proteína y aumentando la cantidad de almidón.

Otro aspecto por considerar es la ubicación del fruto en la planta, ya que se ha visto que los frutos que crecen en la parte más proximal de la planta, acumulan más materia seca (macronutrientes y almidón) más rápidamente durante el inicio de su desarrollo (Ho, Sjut & Hoad, 1983). Asimismo, la intensidad de la luz, la temperatura y la humedad del aire son de los principales factores que influyen en la composición de los frutos, porque impactan el desarrollo de la planta, la expansión de las hojas, la asimilación de nutrientes y la transpiración (Bertin & Génard, 2018).

En el caso del factor cocción, en promedio de las variedades, se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los valores de cenizas, grasa, fibra dietética y contenido calórico (Figura 6); sin embargo, para las cenizas se dio una interacción, de manera que los resultados se analizaron posteriormente. En el caso de la grasa, el chayote crudo mostró un mayor contenido (0,13g/100g) en relación con el chayote cocido (0,01g/100g). En cuanto a la fibra dietética el mayor contenido lo presentó el chayote crudo (1,28g/100g) comparado con el

chayote cocido (1,09g/100g). Para el contenido calórico se obtuvo que el chayote crudo tuvo un mayor aporte (24,00kcal/100g) en comparación con el chayote cocido (20,50kcal/100g).

Los valores de humedad (93,42g/100g), proteína (0,73g/100g), carbohidratos totales (5,46g/100g) y carbohidratos disponibles (4,35g/100g) no sufrieron cambios significativos debido al proceso de cocción.

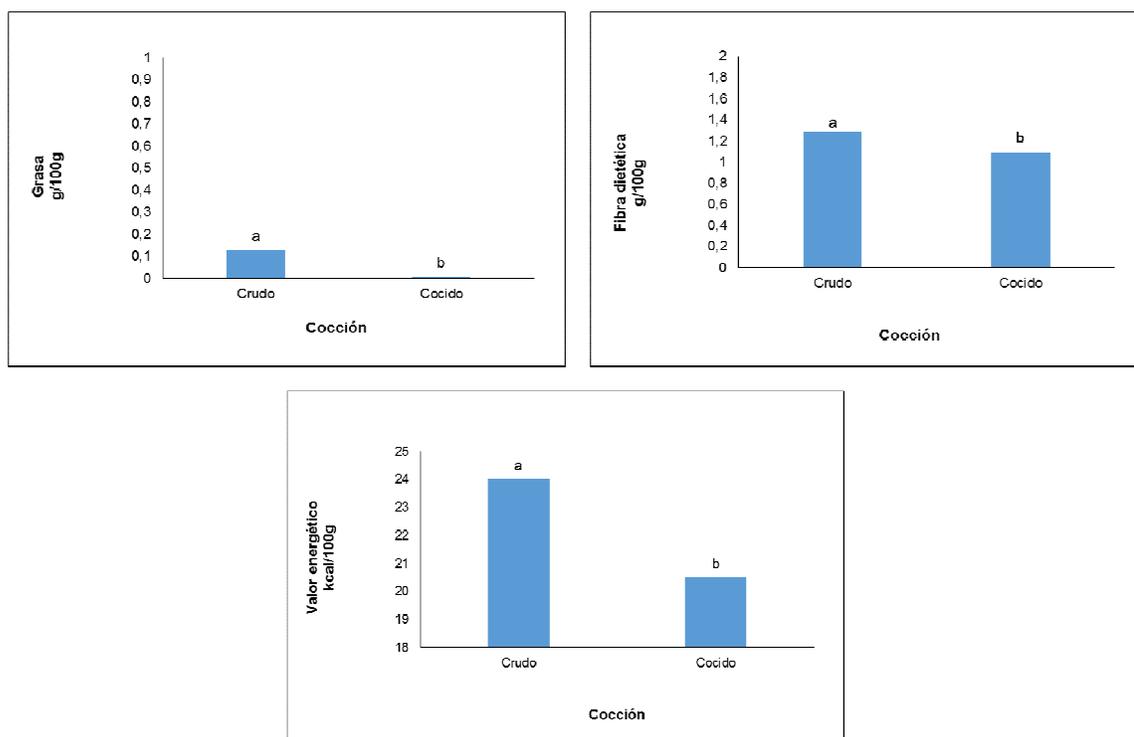


Figura 6. Contenido de grasa, fibra dietética y valor energético de las muestras de chayote afectadas por el grado de cocción (crudo y cocido). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores.

Para las cenizas se encontró una interacción entre los factores variedad y grado de cocción, lo que indica que hay efectos de las diferentes variedades con la cocción que son diferentes del efecto general que tiene cada factor en promedio (Boreau, 2015). Para explicar estas interacciones es necesario entonces analizar el cambio de la concentración de las cenizas para cada una de las variedades de

chayote y cómo se modifican debido a los distintos procesos de cocción (Figura 7). Es así como se tiene que para la variedad de chayote blanco el consumo en crudo va a ser mucho mejor que su consumo en cocido, debido a que es la muestra que presenta un mayor contenido de cenizas (0,47g/100g), pero para las demás variedades no importa cómo se consuma el chayote pues no hay diferencia en el contenido de cenizas cuando está crudo o se aplica cocción.

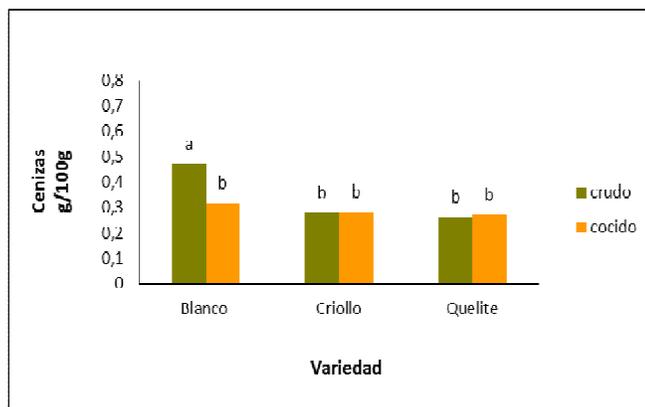


Figura 7. Contenido de cenizas en las muestras de chayote afectado por la variedad y el grado de cocción. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores.

En el caso del chayote blanco, las pérdidas se deben principalmente a la lixiviación por el agua, donde este proceso genera que diferentes componentes solubles sean arrastrados al líquido de cocción. Por ejemplo, en el estudio de Bureau et al. (2015), se observaron pérdidas de hasta un 94% en el contenido de folatos en espinacas hervidas, datos similares a los encontrados por Liu et al., (2019), donde se observó una reducción importante de minerales (Mg, Ca, Mn y Fe) en el arroz con únicamente lavarlos.

En relación con los cambios ocasionados por la cocción, Vieira et al., (2019) y Loizzo et al., (2016) mencionan que los procesos de cocción promueven cambios menores en la composición de polisacáridos de la pulpa de chayote, pero afectan

fuertemente la composición fitoquímica; asimismo, el contenido de proteína y de fibra en el fruto de chayote disminuye por acción de la cocción.

Por su parte, Shiga et al., (2015) mencionan que la composición de los polisacáridos de la pared celular son muy similares antes y después de la cocción, lo que indica que la pared celular es lo suficientemente fuerte para soportar los procesos de cocción, resultados que concuerdan con los obtenidos por Costa y Oliveira, (2016), quienes observaron que la mayoría de los polisacáridos de la pared celular del chayote permanecieron en la fruta después de la cocción y solo una pequeña porción soluble quedó en el extracto de agua caliente.

La cocción también generó cambios significativos ($p \leq 0.05$) en el contenido de fibra, donde se observó una reducción después del proceso térmico. Una posible causa pudo ser la modificación de la estructura de la pared celular, donde se da una ruptura de la misma debido al efecto de la cocción, generando nuevamente pérdidas por lixiviación de la porción de fibra soluble. Este proceso de lixiviación, a su vez, pudo ser lo que afectó el contenido de carbohidratos tanto totales como los disponibles, ya que hubo un aumento significativo ($p \leq 0.05$) en el contenido de ambos, posiblemente por una mayor concentración, al darse la pérdida de otros componentes solubles (Wang et al., 2010). Otros autores reportan más bien un aumento en el contenido de fibra con la cocción, debido a la formación de complejos entre los polisacáridos y otros componentes del alimento como las proteínas; sin embargo, el contenido de proteínas en el chayote es muy limitado.

Además, sobresale de nuevo el tema de la solubilidad, ya que, por ejemplo, Tian et al., (2016) observaron un aumento del contenido de fibra en papas sometidas a cocción, pero este aumento se dio en las papas asadas y fritas (2,5g/100g y 2,66g/100g respectivamente) en comparación con la papa cruda que reportó un contenido de 2,00g/100g, porque al someterla a una cocción húmeda (hervido) el

contenido más bien se redujo (1,87g/100g), esto debido al proceso de lixiviación de la porción de fibra soluble, similar a lo observado por Wang et al., (2010).

En el cuadro 3 se muestran los resultados para la composición proximal de las tres variedades de chayote, en dos estadios de madurez y crudo y cocido. Estos datos son los valores promedio de un análisis por triplicado y para los tres lotes. Las tablas de composición de alimentos (versión impresa) o bases de datos de composición de alimentos (versión digital), tienen como objetivo proporcionar información exhaustiva y representativa sobre la composición nutricional de los alimentos en términos de nutrientes y energía, así como de sustancias no nutritivas como fitoquímicos, compuestos bioactivos y componentes tóxicos (Khalis et al., 2020).

Se convierten en una herramienta importante para la investigación, la salud pública y la educación, puesto que ayudan en el desarrollo de políticas relacionadas con la seguridad alimentaria, la agricultura, el etiquetado de alimentos y la industria alimentaria. Lo anterior, gracias a que generan información para el desarrollo de pautas dietéticas para diferentes grupos de población, así como para las regulaciones alimentarias y recomendaciones de seguridad (Khalis et al., 2020; Lupiáñez-Barbero, González y de Leiva, 2018; Probst y Mamet, 2016).

Sin embargo, hay ciertas limitaciones con relación a los datos; por ejemplo, la inclusión de valores de tablas extranjeras, en muchos casos no existe una documentación clara y detallada de los métodos analíticos correspondientes a los diferentes componentes o la fuente de los datos, el alimento se presenta en una forma que no es como se consume usualmente (crudo, por ejemplo) e información limitada sobre los distintos componentes (Lupiáñez-Barbero, González y de Leiva, 2018).

Como parte de los resultados de esta investigación, se logró caracterizar las tres variedades de chayote mayormente consumidas por la población costarricense y, aunque el análisis sólo incluye la composición proximal, son datos muy valiosos, ya que, también toma en cuenta la cocción del alimento y el estadio de madurez. En las tablas y bases de datos de composición de alimentos pocas veces se hace diferenciación por variedades, madurez y cocción, pues, los análisis tienen un alto costo económico, de manera que obtener esta información a partir de investigaciones es una de las mejores formas para actualizar y enriquecer estas herramientas de consulta.

Finalmente, disponer de datos actualizados y más completos, permitirá que se puedan promover alimentos vegetales que tengan un mejor perfil nutricional y funcional, así como informar y educar a los consumidores sobre opciones y formas más adecuadas de consumir los alimentos.

En el presente caso, el componente más importante del chayote es la fibra dietética, además tiene pocas calorías, lo que lo hace apto para cierto tipo de dietas. Si se recomienda el chayote para aumentar el consumo de fibra, se debe sugerir el chayote blanco sazón.

Cuadro 3. Composición proximal del chayote según la variedad, el grado de madurez y el nivel de cocción. ^A

	Humedad (g/100 g)	Cenizas (g/100 g)	Proteína (g/100 g)	Grasa (g/100 g)	Fibra dietética (g/100 g)	CHO ^B totales (g/100 g)	CHO ^{BC} disponibles (g/100 g)	Energía (kcal/100 g)
<i>Chayote crudo tierno</i>								
<i>Variedad</i>								
Quelite	94,63 ± 0,06	0,26 ± 0,01	0,57 ± 0,06	0,07 ± 0,11	0,97 ± 0,12	4,40 ± 0,20	3,43 ± 0,12	21,33 ± 0,58
Blanco	95,00 ± 0,26	0,44 ± 0,04	0,83 ± 0,06	0,07 ± 0,12	1,37 ± 0,15	3,63 ± 0,25	2,30 ± 0,20	12,00 ± 2,65
Criollo	93,50 ± 0,40	0,27 ± 0,02	0,67 ± 0,29	0,10 ± 0,10	1,07 ± 0,06	5,43 ± 0,21	4,37 ± 0,25	25,33 ± 1,15
<i>Chayote crudo sazón</i>								
<i>Variedad</i>								
Quelite	92,20 ± 0,46	0,27 ± 0,02	0,87 ± 0,29	0,10 ± 0,10	1,40 ± 0,20	6,77 ± 0,42	5,37 ± 0,50	30,67 ± 1,53
Blanco	91,67 ± 0,58	0,51 ± 0,14	0,83 ± 0,31	0,07 ± 0,12	1,83 ± 0,15	6,70 ± 0,40	4,87 ± 0,51	29,33 ± 2,08
Criollo	93,37 ± 1,14	0,29 ± 0,03	0,67 ± 0,29	0,37 ± 0,55	1,07 ± 0,12	5,40 ± 0,72	4,47 ± 0,83	25,33 ± 4,16
<i>Chayote cocido tierno</i>								
<i>Variedad</i>								
Quelite	94,64 ± 0,45	0,25 ± 0,06	0,62 ± 0,07	0,01 ± 0,01	0,94 ± 0,06	4,57 ± 0,40	3,60 ± 0,34	17,00 ± 1,73
Blanco	93,53 ± 0,61	0,28 ± 0,03	0,69 ± 0,18	0,02 ± 0,03	1,17 ± 0,15	5,16 ± 1,30	4,03 ± 1,16	19,00 ± 4,36
Criollo	94,50 ± 1,23	0,24 ± 0,06	0,45 ± 0,13	0,01 ± 0,01	0,92 ± 0,17	4,81 ± 1,08	3,86 ± 0,91	17,67 ± 4,04
<i>Chayote cocido sazón</i>								
<i>Variedad</i>								
Quelite	93,49 ± 3,90	0,30 ± 0,10	0,76 ± 0,29	0,01 ± 0,02	0,99 ± 0,60	5,41 ± 3,66	4,42 ± 3,08	28,00 ± 5,66
Blanco	91,95 ± 0,70	0,36 ± 0,01	1,14 ± 0,14	0,01 ± 0,02	1,33 ± 0,25	6,54 ± 0,65	5,18 ± 0,64	25,33 ± 2,52
Criollo	92,39 ± 0,45	0,33 ± 0,07	0,70 ± 0,10	0,00 ± 0,01	1,22 ± 0,11	6,24 ± 0,41	5,02 ± 0,33	23,00 ± 1,00

^A Los valores son promedios ± DE, n = 3

^B CHO = carbohidratos

^C CHO disponibles = CHO totales – fibra dietética

B. Almidón total y fracciones digeribles de almidón en frutos de chayote

De acuerdo con los resultados de los ANDEVAS mostrados en el Apéndice 4, se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las variables ARD, ALD y AT. Las diferencias se dan en los factores individuales (variedad, grado de madurez y cocción); sin embargo, también se encontraron interacciones entre los factores, de manera que, para todas las variables, se analizaron los resultados de las interacciones. A estas se les aplicó la prueba post hoc Test de Bonferroni cuyos resultados se muestran en el Apéndice 5. Para este apartado, además, las muestras se trabajaron en tres niveles de cocción que son: crudo, cocido y recocado (recalentado).

Para el almidón total (AT) se encontró una interacción entre los factores variedad y grado de cocción, indicando que cada variedad se comportó distinto ante los diferentes grados de cocción (Boreau, 2015). Para explicar dicha interacción es necesario evaluar la concentración del AT para cada una de las variedades de chayote durante los distintos procesos de cocción (Figura 8). Se encontró entonces que las muestras de chayote quelite cocido y chayote criollo recocado fueron las que mostraron la mayor cantidad de AT (3,461g/100g y 3,015g/100g respectivamente), encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con las muestras de chayote blanco crudo. Entre las demás muestras (sin importar variedad ni grado de cocción) no existieron diferencias significativas en la cantidad de AT.

Estos datos concuerdan con los de Chinedum et al., (2018), donde se compara el contenido de AT en fruta de pan cruda y hervida y se nota un incremento con la cocción, lo que se explica puede deberse a la pérdida de componentes solubles como oligosacáridos, fibra soluble y otros similares, por un proceso de lixiviación en el agua de cocción. Como se observa en la Figura 8, el comportamiento general del contenido de AT fue de ir aumentando conforme aumentaba la cocción.

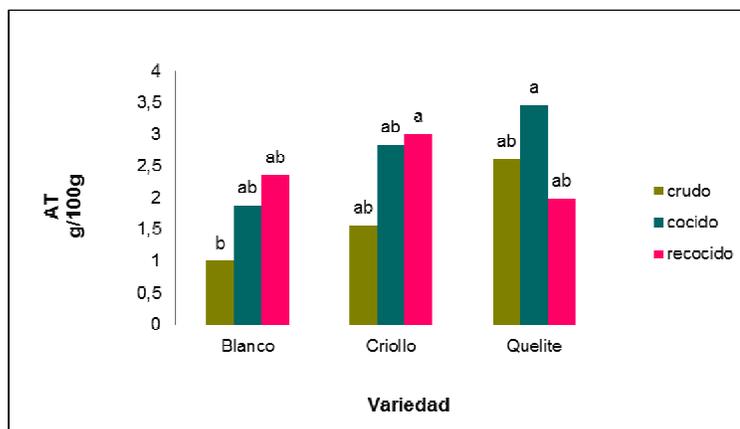


Figura 8. Efecto de la variedad y el grado de cocción en la cantidad de AT. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores.

Para las fracciones de ARD y ALD se encontró una interacción entre los factores madurez y grado de cocción, lo que indica que cada grado de madurez fue afectado por el grado de cocción en cuanto a que son diferentes del efecto general que tiene cada factor (Figura 9) (Boreau, 2015). De esta manera se tiene que las muestras de chayote sazón cocidas son las que presentan una mayor proporción de la fracción ARD (2,304g/100g) encontrándose una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con las muestras de chayote sazón crudas (ARD=0,960g/100g), chayote tierno crudo (ARD=0,565g/100g) y chayote tierno cocido (ARD=0,922g/100g). Se encontró, además, que el proceso de recalentamiento permitió disminuir el ARD del chayote cocido a niveles similares al chayote crudo, lo que pudo deberse en parte, a la formación de AR debido al proceso de enfriamiento, previo, a que se aplicara el recalentamiento (Wang et al., 2019; Chen, Singh y Archer, 2018).

Por otra parte, para la fracción ALD, cuando se hace el análisis post hoc con el Test de Bonferroni se encuentra que, aunque si hay diferencias estas no son significativas, lo que indica que el análisis aumentó el error y no permitió ver las diferencias que se encontraron en el ANDEVA. Por esta razón se utilizó el resultado del ANDEVA sin el análisis del Bonferroni.

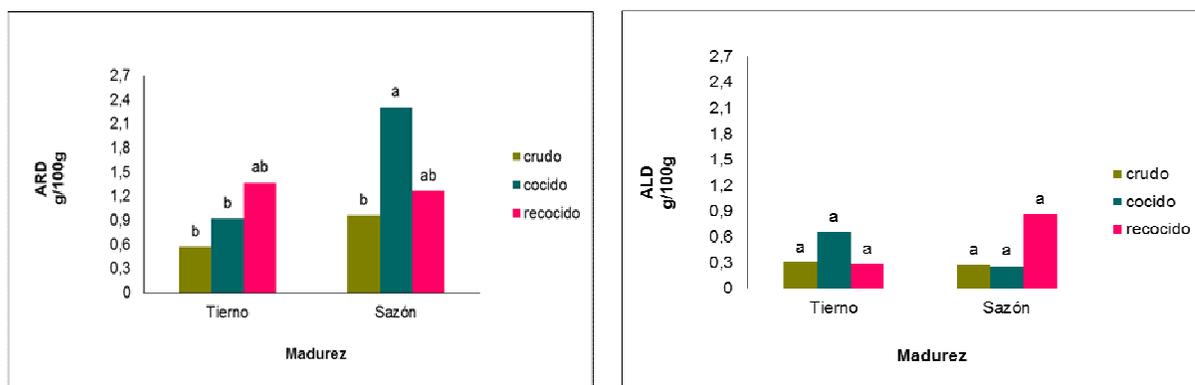


Figura 9. Efecto del grado de madurez y el nivel de cocción sobre el contenido de las fracciones ARD y ALD.

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores.

La madurez también se ha visto que afecta las fracciones digeribles de almidón, Bi et al., (2019) observaron que en almidón de plátano las fracciones de ARD y ALD aumentaron conforme la maduración, indicando que el almidón sufre cambios durante este proceso. Al respecto, se ha visto que las reservas de almidón aumentan conforme avanza la madurez (Luengwilai y Beckles, 2009) y, en los frutos que no degradan el almidón para generar sabores dulces, las reservas de almidón se mantienen a lo largo de las etapas de maduración (Gao et al., 2016), ocasionando que haya un mayor contenido de AT en frutos maduros o sazones. Al observar los resultados de la presente investigación, donde, en el estadio de madurez sazón las fracciones de ARD y ALD aumentaron (al analizar los factores simples), encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la fracción ARD; éstos datos indican que, en el estadio de madurez sazón, es adonde el chayote presenta un mayor contenido de AT, y ya que, las fracciones ARD y ALD se obtienen de la digestión de éste, al haber mayor contenido, aumenta también, la proporción de las fracciones.

Sin embargo, para la presente investigación se encontró que el efecto de la madurez va a estar influido a su vez por la cocción, donde en las muestras en estadio de madurez sazón y cocidas es adonde aumenta la fracción ARD y en las muestras con madurez sazón y recocidas es adonde aumenta la fracción ALD. Esto significa que el proceso de cocción-enfriamiento-recalentamiento tiene un efecto positivo, ya que, permite aumentar la fracción ALD, mientras reduce la fracción ARD. Es importante rescatar que este grado de madurez con su respectiva cocción, se recomendarían para aumentar la fracción ALD, que contribuye con un IG más bajo, para este alimento.

El AT y sus fracciones ARD, ALD y AR, son importantes desde el punto de vista de la salud, ya que contribuyen al IG de los alimentos y, por lo tanto, al efecto que estos puedan tener en el control de factores de riesgo de enfermedades crónicas o, más bien, en el desencadenamiento de complicaciones. Las investigaciones han demostrado que el ALD puede causar una digestión más lenta de los alimentos y tener un impacto en la reducción del índice glicémico. Por su parte, el ARD es el mayor contribuyente de cambios súbitos y adversos en los niveles de glucosa en sangre, siendo más bien un factor negativo (Pinhero et al., 2016; Ye y Sui, 2016).

Los resultados obtenidos en la presente investigación, donde se observa que hay una mayor proporción de la fracción ARD, en comparación con la fracción ALD, concuerdan con los resultados obtenidos en otras investigaciones. Pinhero et al., (2016) analizaron el perfil nutricional del almidón de papa y encontraron que después de la cocción la fracción ARD es la que predomina con más de un 50%, mientras que la fracción ALD apenas sobrepasa el 10%. Resultados similares obtuvieron Colussi et al., (2017) al analizar la digestión *in vitro* de almidón de papa, obteniendo que después de la cocción la fracción ARD llegó a un 83%.

En relación con la variación en el contenido de ARD según el método de cocción, se obtuvo que las muestras de chayote cocidas mostraron un aumento en el

contenido de ARD, aunque solo en el chayote sazón fueron significativas; además, hubo una disminución de la fracción ARD en las muestras recalentadas de chayote sazón, no así en las muestras de chayote tierno. Pinhero et al., (2016) encontraron datos similares, donde el contenido de ARD fue significativamente menor en papas crudas y aumentó después de la cocción; sin embargo, muestras de papa retrogradadas demostraron un ARD más bajo que la papa cocida, debido a la disminución en la acción enzimática que ocasiona el proceso de retrogradación y a la formación de AR (Jeong et al., 2019 y Remya et al., 2018). Por su parte, Tian et al., (2016) observaron que en papas cocidas la velocidad de digestión del almidón se incrementa obteniendo valores más altos de ARD; además el recalentamiento con microondas mejora la velocidad de digestión del almidón, dando valores más altos de ARD al comparar con papas crudas y papas cocidas pero enfriadas (sin recalentar).

Para analizar estos resultados, es importante tener claro que los patrones de digestibilidad del almidón cambian después del procesamiento, ya que éste ocasiona cambios a nivel de la microestructura del alimento. En los alimentos crudos, las moléculas de almidón se organizan estrechamente en gránulos de almidón, haciéndolo poco susceptible a la acción enzimática, pero, después de la cocción, las cadenas de almidón se hidratan y se desorganizan, facilitando la acción de las enzimas. Sin embargo, durante la retrogradación (alimento cocinado y enfriado), las cadenas de almidón se reagrupan, lo que favorece que la hidrólisis del almidón sea más regulada, evitando que se generen altas proporciones de la fracción ARD (Pinhero et al., 2016; Colussi et al., 2017; Tian et al., 2016).

Lamentablemente, en el almidón de frutos de chayote, ciertas características propias de la estructura del gránulo y el bajo contenido de AT ocasionan que la hidrólisis del almidón sea muy rápida y que la formación de almidón retrogradado sea limitada. De manera que no se podría recomendar su consumo como fuente de AR después de enfriado y recalentado en microondas, como sí se pudo hacer

para la papa en el estudio de Tian et al., (2016), pero sí hay que reconocer una disminución del ARD y un aumento del ALD, en el chayote sazón recocado.

Otros estudios han reportado el impacto de los métodos de procesamiento en las fracciones nutricionales del almidón (ARD, ALD y AR) en leguminosas y arroz. Cuando los alimentos ricos en almidón (cereales, leguminosas, verduras harinosas y similares) son cocinados convencionalmente (hervido), los gránulos de almidón presentes, absorben agua y se rompe su estructura molecular original; entonces son gelatinizados y dispersados, haciendo que sean más fácilmente disponibles para el ataque enzimático, por lo que la cocción de las leguminosas resulta en una disminución del contenido de AR y aumento del contenido de ARD (Ovando-Martínez et al., 2011; Wang et al., 2017; He et al., 2018 y Chinedum et al., 2018). Si se observan los resultados de la Figura 9 estos datos concuerdan, ya que la tendencia es un aumento de los valores de la fracción de ARD en las muestras de chayote tierno cocidas y recocidas, y en las muestras de chayote sazón cocidas; para el caso del AR en el presente estudio no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, se puede rescatar que para chayote sazón recocado podría haber una disminución de ARD y un aumento del ALD que pueden reducir el IG.

Además, la presencia de otros componentes como proteínas y fibra en la superficie del gránulo de almidón pueden limitar la tasa de acción de las enzimas y reducir su accesibilidad a la superficie; sin embargo, como se observa en los resultados de composición proximal, el contenido de estos fue reducido en el fruto del chayote (Ovando-Martínez et al., 2011 y Chinedum et al., 2018).

Retomando los resultados obtenidos, el ALD fue mayor en el chayote sazón recalentado seguido por el chayote tierno cocido, por lo que la cocción no afectó de la misma forma los diferentes grados de madurez. Asimismo, el chayote crudo, tanto tierno como sazón, no tienen mucho ALD, tampoco aumenta con la cocción cuando está sazón y se pierde en el chayote tierno después de recalentado.

Para el AT y la fracción ARD se encontró una interacción entre los factores variedad y grado de madurez, indicando que hay efectos distintos en cada variedad debido a los diferentes grados de madurez sobre el almidón total y las fracciones digeribles de almidón, que van a ser diferentes del efecto general que tiene cada factor por separado (Boreau, 2015). Para explicar dicha interacción es necesario evaluar la concentración de AT y de las fracciones de almidón para cada una de las muestras de chayote durante los distintos estadios de madurez (Figura 10). Se encontró, entonces, que las muestras de chayote quelite sazón fueron las que mostraron la mayor cantidad de AT (3,586g/100g) y de la fracción ARD (2,422g/100g), hallándose diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con las muestras de chayote blanco tierno (AT=2,050g/100g y ARD=1,037g/100g), chayote blanco sazón (AT=1,443g/100g y ARD=0,580g/100g), chayote criollo tierno (AT=2,155g/100g y ARD=0,821g/100g) y chayote quelite tierno (AT=1,777g/100g y ARD=0,992g/100g). Se encontró, además, que la variedad criollo con una madurez sazón no es significativamente diferente en el contenido de AT ni la proporción de la fracción ARD, en comparación con las otras dos variedades, ya sea con madurez sazón o tierna.

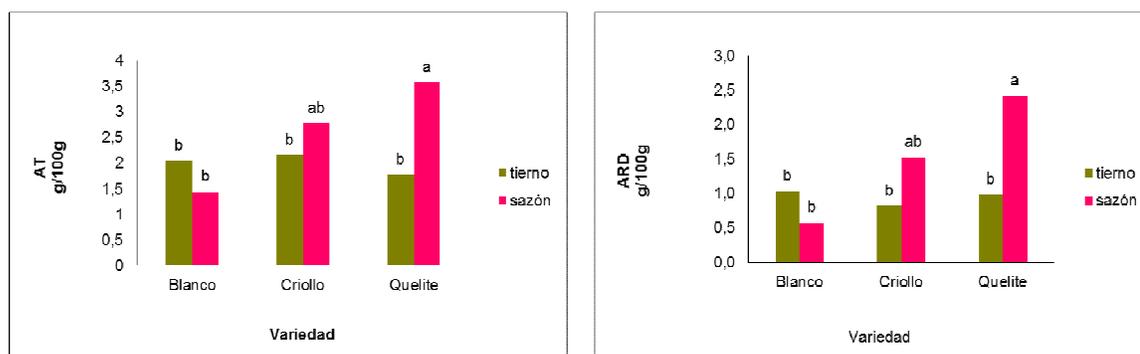


Figura 10. Efecto de la variedad y el grado de madurez en el contenido de AT y de la fracción ARD.

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores.

Con relación al mayor contenido de AT en los frutos sazones, hay que tener presente que los frutos de chayote se cosechan con una madurez comercial, es decir, cuando los frutos aún no alcanzan su total desarrollo fisiológico, pero sí cumplen con las características óptimas de consumo (Cadena-Iñiguez et al., 2007). Esto ocasiona que la síntesis de almidón continúe conforme los frutos van madurando; por ejemplo, en tomate con diferentes grados de madurez, se encontró que los gránulos de almidón cambiaron de tamaño conforme el fruto se iba desarrollando, pasando de gránulos pequeños en los frutos inmaduros a gránulos más grandes en los frutos maduros (Luengwilai y Beckles, 2009).

La síntesis de almidón depende del metabolismo de los carbohidratos en el fruto (Luengwilai y Beckles, 2009); este se sintetiza como fuente de energía pero además como fuente de monosacáridos en aquellos frutos que generan sabor dulce cuando se maduran (Gao et al., 2016). Sin embargo, en los frutos que no generan sabores dulces, las reservas de almidón se mantienen a lo largo del proceso de maduración, lo cual coincide con los resultados del presente estudio (Gao et al., 2016).

Estos datos podrían explicar, también, por qué en los frutos sazones se produjo una mayor proporción de la fracción ARD, puesto que había más almidón disponible para la acción enzimática y, debido a las características que muestra el gránulo de almidón del fruto de chayote, es altamente susceptible a la degradación por las enzimas (Shiga et al., 2015).

Las investigaciones mencionan que las diferencias en la digestión in vitro del almidón y, por lo tanto, en la proporción de las fracciones de ARD, ALD y AR, pueden estar influenciadas por factores como diferencias en la estructura y proporción de amilosa/amilopectina, captura de los gránulos de almidón dentro de las paredes celulares, presencia de inhibidores de α -amilasa u otros anti nutrientes y una organización cristalina del gránulo (Asare et al., 2011; Patel et al., 2017 y Jeong et al., 2019). Asimismo, la digestión de los gránulos de almidón crudo está

influenciada por características propias del gránulo, incluyendo su morfología (forma, tamaño), características de la superficie (presencia de poros y canales) y estructuras supramoleculares (cristalinidad, empaquetamiento) (Wang et al., 2017; Bi et al., 2017 y Toutounji et al., 2019).

A pesar de que se han estudiado muchas de las propiedades del chayote, es poco lo que se sabe de los gránulos de almidón que provienen del fruto, ya que los estudios en esta área han sido limitados. Shiga et al., (2015) describen que los gránulos de almidón obtenidos de frutos de chayote presentan un tamaño pequeño con una forma oval o truncada y el diámetro de los mismos ronda el intervalo de los 2 a 7 μm . Cuando se observan con mayor aumento se puede ver un patrón de degradación y de formación de hoyos (poros) en los diferentes lados de un mismo gránulo; sin embargo, es en el lado plano de la superficie donde se concentran más poros y fracturas (Figura 11). Este fenómeno es contrario a lo que se observa en otras cucurbitáceas cuyos gránulos de almidón no muestran la presencia de poros en su superficie (Singh et al., 2007).

Los gránulos, además, exhiben un bien definido patrón de birrefringencia, indicando una alineación radial de la estructura cristalina dentro del gránulo (Shiga et al., 2015)

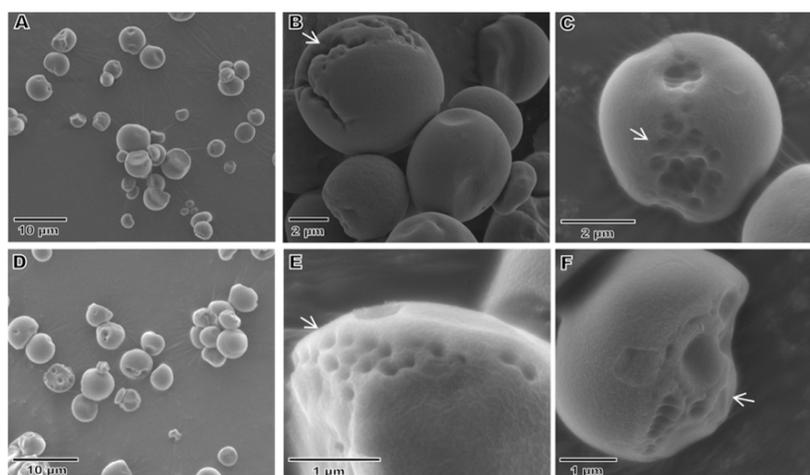


Figura 11. Imágenes de microscopía electrónica de gránulos de almidón obtenidos de frutos de chayote quelite (A-C) y chayote verde (D-F). Las flechas marcan las fracturas y los poros debidos al proceso de degradación.
Fuente: Shiga et al. (2015).

La digestión de los gránulos del almidón crudo ha sido descrita en tres fases: la difusión de las enzimas hacia la superficie del sustrato, la adsorción de la enzima en el sustrato y el evento hidrolítico. Generalmente, la hidrólisis enzimática en los gránulos de almidón inicia en la superficie de estos se le llama corrosión externa porque la hidrólisis ocurre de afuera hacia adentro; esto se da debido a que son superficies suaves, pero que no presentan poros en ella. Sin embargo, hay alimentos en que los almidones se caracterizan por tener poros periféricos y canales (como lo que ocurre en el almidón de los frutos de chayote); esto lo que permite es una mayor y más fácil penetración de las enzimas al interior de los gránulos, entonces la hidrólisis ocurre de adentro hacia afuera, aumentando la superficie y la velocidad de acción de las enzimas, generando, por lo tanto, una mayor proporción de ARD (Toutounji et al., 2019). También tiene que ver el tamaño de los gránulos; por ejemplo, en el arroz, cuyo tamaño oscila entre 3-9 μm (muy similar al tamaño de los gránulos de almidón del fruto de chayote), se ha visto que se incrementa la relación superficie-volumen, aumentando el contacto entre el sustrato y la enzima y, por lo tanto, aumentando la digestibilidad (Toutounji et al., 2019).

Para la fracción de AR, como se observa en la Figura 12 no se encontraron diferencias significativas debidas a la variedad, grado de madurez ni al grado de cocción.

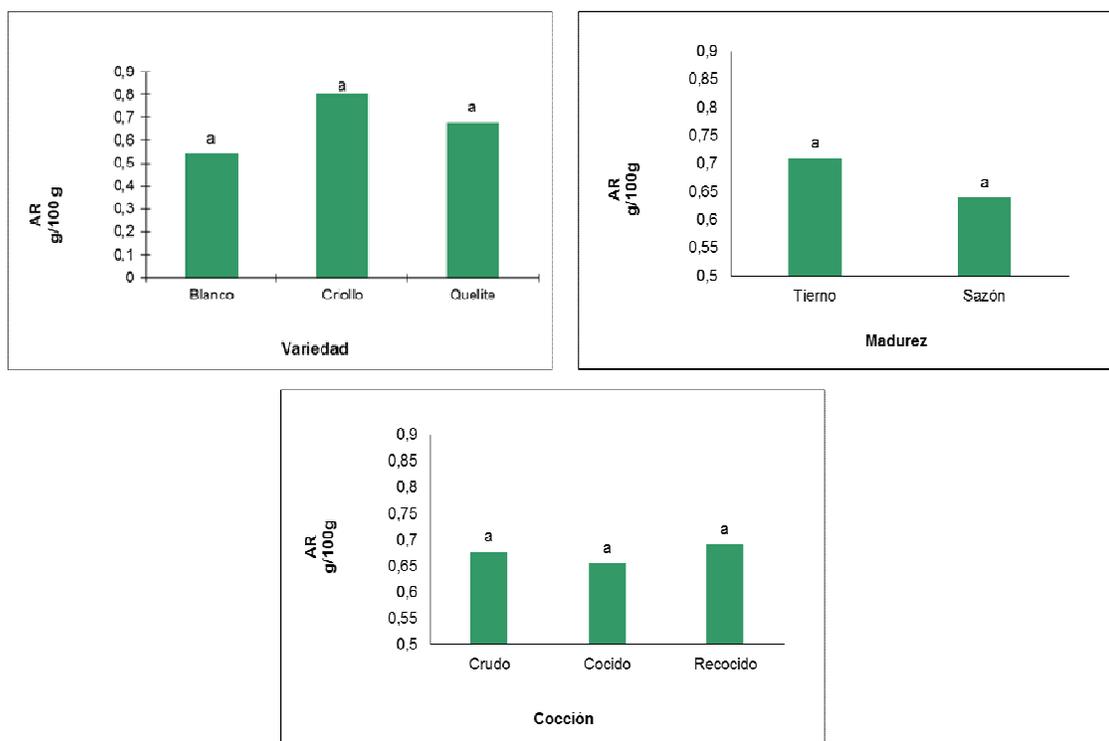


Figura 12. Efecto de la variedad, el grado de madurez y el nivel de cocción en el contenido de la fracción de AR. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores.

Aunque no se encontraron diferencias significativas, es importante rescatar que estos resultados concuerdan con los de Raatz et al., (2016), quienes encontraron que el contenido de AR en papa era afectado principalmente por el método de cocción y no así por otros factores como la variedad. En la Figura 12, se puede observar que la cocción ocasionó un comportamiento donde el contenido de AR en el fruto cocido se redujo en comparación con el fruto crudo, lo cual se debe a la mayor acción enzimática por la gelatinización del almidón, debida a la cocción (Ovando-Martínez et al., 2011; Wang et al., 2017; He et al., 2018 y Chinedum et

al., 2018). Pero, en el fruto recocido (cocción-enfriamiento-recalentamiento), el contenido de AR vuelve a aumentar, debido al proceso de retrogradación del almidón, que es una de las formas como se obtiene AR en los alimentos (Jeong et al., 2019 y Remya et al., 2018).

En el estudio de Raatz et al., (2016) se encontró, que el recalentamiento más bien reducía el contenido de AR, ya que éste aumentaba en las papas que habían sido sometidas a enfriamiento (por la retrogradación), pero cuando se recalentaban el contenido se volvía a reducir. Esta reducción se da porque la estructura del almidón retrogradado es inestable y debido a esto es que el recalentamiento (en este caso con microondas), genera una reorganización de las regiones cristalinas, facilitando de nuevo la acción enzimática (Wang et al, 2019, Chen, Singh y Archer, 2018). No obstante, en este estudio, se observó que el recalentamiento tenía un efecto positivo, pues favoreció que el contenido de AR aumentara.

Por otra parte, el poco contenido de AR en los frutos de chayote, podría deberse al poco contenido de AT y a la alta tasa de digestión que tienen los gránulos de almidón de este fruto; pero, también puede relacionarse con una baja proporción de la fracción de amilosa, ya que esta fracción, es la que más influye en los procesos de retrogradación del almidón (Matignon y Tecante, 2017).

VI. Conclusiones

Según los resultados del análisis proximal, el chayote con una madurez sazón es el que presenta un mayor aporte nutricional, sin embargo, a nivel de mercado y de preferencias de consumo es uno de los menos apetecidos debido a la dificultad para pelarlo y a que no cumple con los estándares de calidad relacionados con la apariencia.

Basándose en la composición nutricional por variedad, el chayote blanco es el que presenta un mayor aporte de proteína y de fibra dietética, sin embargo hay que tomar en cuenta que la cantidad de proteína es reducida y que además es limitada en aminoácidos azufrados. Lo que sí es importante de rescatar es el aporte de fibra dietética, como una fuente natural y de bajo costo.

La cocción casera es uno de los principales procesamientos a los que se someten los alimentos, generalmente para mejorar su digestibilidad y uno de los métodos más utilizados es el hervido debido a su facilidad. No obstante, este procesamiento genera pérdidas de nutrientes debido a la lixiviación, lo que reduce en cierta medida el valor nutricional de los alimentos. En este caso se afectó el contenido de fibra total, la grasa y el contenido energético.

Al ver el efecto que tuvieron los factores de madurez y cocción sobre las fracciones digeribles del almidón, se encontró que la fracción de ARD aumenta únicamente para las muestras con madurez sazón y cocinadas, mientras que en las muestras tiernas no hay un efecto de la cocción ni la recocción.

La fracción de ALD aumenta en el chayote sazón recocinado contrariamente a lo que ocurre en el tierno. Debido a esto es que para consumir el chayote sazón, se recomienda cocinarlo, enfriarlo y recalentarlo.

Con respecto al efecto que tuvo la variedad y el grado de madurez sobre la proporción de las distintas fracciones de almidón, se encontró que el chayote quelite con madurez sazón fue el que presentó una mayor proporción de AT y de la fracción ARD. Con esto se rescata que el grado de madurez sazón es el que tiene un mayor impacto tanto en la proporción del almidón como en la tasa de digestibilidad del mismo.

En relación con la variedad y el grado de cocción, se encontró que las variedades de chayote quelite cocinado y el chayote criollo recalentado fueron las que tuvieron una mayor cantidad de AT. Estos datos se pueden relacionar con el punto anterior, donde si se hace alusión al grado de madurez, se tendría que el chayote quelite con una madurez sazón y además cocinado, es el que va a tener mayor proporción de AT. Además, para la variedad criollo, un aspecto importante para su contenido de AT es la aplicación de un proceso de cocción-enfriamiento-recalentamiento, lo que probablemente en esta variedad específica provoca una mayor pérdida de componentes solubles y concentra más la proporción de almidón.

No se encontraron diferencias en el contenido de AR entre variedades, pero hay que tomar en cuenta que las cantidades presentes en las distintas variedades son muy pequeñas.

VII. Recomendaciones

Para futuras investigaciones donde se vaya a utilizar el chayote es importante controlar variables relacionadas con el proceso de siembra-cosecha, por ejemplo, el lugar de donde provienen las muestras, la fecha de cosecha y las condiciones de cultivo. Esto podría generar menor variabilidad en las características químicas.

Debido a la gran variabilidad que presenta este alimento en cuanto a sus características químico-nutricionales, para otras investigaciones se podrían aumentar el número de lotes y el número de muestras para reducir el error y dar mayor validez a los datos estadísticos.

Estudiar el almidón de chayote en cuanto a su composición de amilosa y amilopectina, para ver cómo se comporta durante los procesos de gelatinización y retrogradación.

Sería importante realizar un análisis químico-nutricional más completo, que permita tener más claridad en cuanto al contenido de ciertos minerales y vitaminas y, de acuerdo con esto, establecer tamaños de porción recomendados para aprovechar esos nutrientes.

VIII. Referencias bibliográficas

- Abdelnour, A. y Rocha O. 2008. "Genetic Characterization of a Collection of Chayote, *Sechium Edule* (Jacq.) Swartz, in Costa Rica by Using Isozyme Markers." **Genetic Resources and Crop Evolution** 55 (1): 163–70. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9225-6>.
- Ali, M. y Abu-Goukh, A. 2005. Changes in pectic substances and cell wall degrading enzymes during tomato fruit ripening. *University of Khartoum Journal of Agricultural Sciences* 13(2):202-223.
- Almiron-Roig, E.; Solis-Trapala, I.; Dodd, J. y Jebb, S. 2013. Estimating food portions. Influence of unit number, meal type and energy density. **Appetite** 71(2013): 95-103.
- Arévalo, M.; Cadena, J.; Romero, S. y Tlapal, B. 2011. GI SeM: Rescatando y Aprovechando los Recursos Fitogenéticos de Mesoamérica Volumen 3: Chayote: Manejo Postcosecha. Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México, A.C. (GI SeM). Recuperado de: [www.gob.mx>El chayote volumen 3](http://www.gob.mx/El_chayote_volumen_3)
- Argyri, K.; Athanasatou, A.; Bouga, M. y Kapsokefalou, M. 2016. The Potential of an in Vitro Digestion Method for Predicting Glycemic Response of Foods and Meals. **Nutrients** 8(4):1-12.
- Asare, E.; Jaiswal S.; Maley, J.; Baga, M.; Sammynaiken, R.; Rossnagel; B. y Chibbar, R. 2011. Barley Grain Constituents, Starch Composition, and Structure Affect Starch in Vitro Enzymatic Hydrolysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 59:4743-4754.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 2002. Official Methods of Analysis of AOAC International: Methods 985.29. 17 ed.
- Avendaño, C.; Cadena, J.; Arévalo, M.; Campos, E.; Cisneros, V. y Aguirre, J. 2010. Las variedades del chayote mexicano, recurso ancestral con potencial de comercialización. Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México, A.C. (GI SeM). Recuperado de: [https://www.gob.mx>attachment>file](https://www.gob.mx/attachment/file)
- Badui, S. 2012. **Química de los alimentos**. 5ta Edición. Pearson Educación. México.
- Balanzá, R. 2007. Efectos metabólico-terapéuticos a corto y largo plazo de la suplementación con fibra dietética. Recuperado de: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8661/2Introduccion.pdf;jsessionid=5C31A5C73EE136621B24B23505693429.tdx2?sequence=6>

- Bertin, N. y Génard, M. 2018. Tomato quality as influenced by preharvest factors. **Scientia Horticulturae** 233(2018):264-276.
- Bi, Y.; Zhang, Y.; Jiang, H.; Hong, Y.; Gu, Z.; Cheng, L.; Li, Z. y Li, C. 2017. Molecular structure and digestibility of banana flour and starch. **Food Hydrocolloids** 72(2017):219-227.
- Bi, Y.; Zhang, Y.; Gu, Z.; Cheng, L.; Li, Z.; Li, C. y Hong, Y. 2019. Effect of ripening on in vitro digestibility and structural characteristics of plantain (*Musa ABB*) starch. **Food Hydrocolloids** 93(2019):235-241.
- Brand-Miller, J., McMillan-Price, J., Steinbeck, K., Caterson, I. 2009. Dietary glycemic index: health implications. **Journal of the American College of Nutrition** 28(4), 446S-449S.
- Bureau, S.; Mouhoubi, S.; Touloumet, L.; Garcia, C.; Moreau, F.; Bédouet, V. y Renard, C. 2015. Are folates, carotenoids and vitamin C affected by cooking? Four domestic procedures are compared on a large diversity of frozen vegetables. **LWT-Food Science and Technology** 64(2015):735-741.
- Bustos, M.; Vignola, M.; Pérez, G. y León, A. 2017. *In vitro* digestion kinetics and bioaccessibility of starch in cereal food products. **Journal of Cereal Science** 77(2017):243-250.
- Cadena-Iñiguez, J.; Arévalo-Galarza, L.; Avendaño-Arrazate C.; Soto-Hernández, M.; Ruiz-Posadas L.; Santiago-Osorio, E.; Acosta-Ramos, M.; Cisneros-Solano, V.; Aguirre-Medina, J. y Ochoa-Martínez, D. 2007. Production, Genetics, Postharvest Management and Pharmacological Characteristics of *Sechium edule* (Jacq.) Sw. **Fresh Produce** 1(1):41-53.
- Cadena-Iñiguez, J.; Avendaño-Arrazate C.; Soto-Hernández, M.; Ruiz-Posadas L.; Aguirre-Medina J. y Arévalo-Galarza, L. 2008. Intraspecific Variation of *Sechium Edule* (Jacq.) Sw. in the State of Veracruz, Mexico. **Genetic Resources and Crop Evolution** 55 (6): 835-47.
- Cadena, J.; Soto, M.; Arévalo, M.; Avendaño, C.; Aguirre, J. y Ruiz, L. 2011. Caracterización bioquímica de variedades domesticadas de chayote *Sechium edule* (Jacq) Sw. Comparadas con parientes silvestres. **Revista Chapingo Serie Horticultura** XVII(2):45-55.
- Campbell, I. 2017. Macronutrients, minerals, vitamins and energy. **ANAESTHESIA AND INTENSIVE CARE MEDICINE** 18(3):141-46.
- Castro, J.; Toledo, A.; Rodríguez, B.; Perdomo, A.; Rodríguez-Rodríguez, E. y Díaz, C. 2015. Caracterización morfológica y composición química de chayotas

(*Sechium edule*) cultivadas en las Islas Canarias (España). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición** 65(4):243-253.

Centro Internacional de Política Económica y Universidad de Costa Rica. 2010. Estudio de Potencial Agroindustrial y de Exportación de Chayote. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00182.pdf>

Chinedum, E.; Sanni, S.; Theresa, N. y Ebere, A. 2018. Effect of domestic cooking on the starch digestibility, predicted glycemic indices, polyphenol contents and alpha amylase inhibitory properties of beans (*Phaseolis vulgaris*) and breadfruit (*Treculia africana*). **International Journal of Biological Macromolecules** 106(2018):200-206.

Chen, Y.; Singh, J. y Archer, R. 2018. Potato starch retrogradation in tuber: Structural changes and gastro-small intestinal digestion in vitro. **Food Hydrocolloids**, 84:552-560.

Cho, S, y Almeida, N. 2012. Dietary Fiber and Health. CRC Press. Pp:453-454.

Colussi, R.; Singh, J.; Kaur, L.; da Rosa, E.; Guerra, A.; Stewart, R. y Singh, H. 2017. Microstructural characteristics and gastro-small intestinal digestion in vitro of potato starch: Effects of refrigerated storage and reheating in microwave. **Food Chemistry**, 226:171-178.

Costa, V. y Oliveira, J. 2016. Polysaccharides from raw and cooked chayote modulate macrophage function. **Food Research International**, 81:171-179.

Díaz-de Cerio, E.; Verardo, V.; Fernández-Gutiérrez, A. y Gómez-Caravaca, A. 2019. New insight into phenolic composition of chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) **Food Chemistry** 295(2019):514-19.

Englyst, K.; Englyst, H.; Hudson, G.; Cole, T. y Cummings, J. 1999. Rapidly available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. **American Journal of Clinical Nutrition**, 69:448-454.

Englyst, H, y Hudson, G. 1996. The classification and measurement of dietary carbohydrates. **Food Chemistry**, 57(1):15-21.

Englyst, K.; Hudson, G. y Englyst, H. 2000. Starch Analysis in Food. **Encyclopedia of Analytical Chemistry**. Pp:4246-4262.

Englyst, K.; Vinoy, S.; Englyst, H. y Lang, V. 2003. Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. **British Journal of Nutrition**, 89:329-339.

- Fabbri, A.; Schacht R. y Crosby G. 2016. Evaluation of Resistant Starch Content of Cooked Black Beans, Pinto Beans, and Chickpeas. **NFS Journal** 3: 8–12.
- Frías, J.; Ramírez, G.; Herrero, C. y Acosta, Y. 2016. *Sechium edule* (jacq) sw: Potencia fitoterapéutica como agente antibacteriano. **Medisur** 14(6):664-670.
- Gamboa, W. 2005. *Producción Agroecológica: Una Opción Para El Desarrollo Del Cultivo Del Chayote*. 1 edición. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Gao, H.; Huang, S.; Dong, T.; Yang, Q. y Yi, G. 2016. Analysis of resistant starch degradation in postharvest ripening of two banana cultivars: Focus on starch structure and amylases. **Postharvest Biology and Technology**, 119:1-8.
- He, M.; Qiu, C.; Liao, Z.; Sui, Z. y Corke, H. 2018. Impact of cooking conditions on the properties of rice: Combined temperature and cooking time. **International Journal of Biological Macromolecules** 117(2018):87-94.
- Hidalgo, M.; Fechner, D.; Marchevsky, E. y Pellerano, R. 2016. Determining the geographical origin of *Sechium edule* fruits by multielement analysis and advanced chemometric techniques. **Food Chemistry** 210(2016):228-34.
- Ho, L.; Sjut, V. y Hoad, G. 1983. The effect of assimilate supply on fruit growth and hormone levels in tomato plants. **Plant Growth Regulation** 1:155-171.
- Imran, M.; Rauf, A.; Abu-Izneid, T.; Nadeem, M.; Shariati, M.; Khan, I.; Imran, A.; Orhan, I.; Rizwan, M.; Atif, M.; Gondal, T. y Mubarak, M. 2019. Luteolin, a flavonoid, as an anticancer agent: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 112:108612.
- Jeong, D.; Han, J.; Liu, Q. y Chung, H. 2019. Effect of processing, storage, and modification on in vitro starch digestion characteristics of food legumes: A review. **Food Hydrocolloids** 90(2019):367-376.
- Juárez, L.; Campos, G.; Avendaño, C.; Enríquez, J. y Villegas, Y. 2014. Conocimiento y comercialización de chayote (*Sechium edule* (jacq.)sw.) en los mercados de Valles Centrales de Oaxaca, México. **Revista Brasileira de Agroecología** 9(3):90-103.
- Kaur, B.; Yu, R.; Camps, S. y Henry C. 2016. The impact of a low glycaemic index (GI) diet on simultaneous measurements of blood glucose and fat oxidation: A whole body calorimetric study. **Journal of Clinical & Translational Endocrinology** 4(2016):45-52.
- Khalis, M.; Garcia-Larsen, V.; Charaka, H.; Deoula, M.; Kinany, K.; Benslimane, A.; Charbotel, B.; Soliman, A.; Huybrechts, I.; Soliman, G.; Slimani, N. y Rhazi, K.

2020. Update of the Moroccan food composition tables: Towards a more reliable tool for nutrition research. **Journal of Food Composition and Analysis**, 87:103397.
- Layman, D.K. 2014. Eating patterns, diet quality and energy balance: A perspective about applications and future directions for the food industry. **Physiology & Behavior**, 134:126-130.
- Lira Saade, R. 1996. *Chayote. Sechium Edule (Jacq.) Sw. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops*. Plant Rese. Rome, Italy.
- Liu, K.; Zheng, J.; Wang, X. y Chen, F. 2019. Effects of household cooking processes on mineral, vitamin B, and phytic acid contents and mineral bioaccessibility in rice. **Food Chemistry** 280(2019):59-64.
- Loizzo, M.; Bonesi, M.; Menichini, F.; Tenuta, M.; Leporini, M. y Tundis, R. 2016. Antioxidant and Carbohydrate-Hydrolysing enzymes potencial of Sechium edule (Jacq.) Swartz (Cucurbitaceae) peel, leaves and pulp fresh and processed. **Plant Foods for Human Nutrition**, 71:381-387.
- Lu, X.; Brennan, M.; Serventi, L.; Liu, J.; Guan, W. y Brennan, C. Addition of mushroom powder to pasta enhances the antioxidant content and modulates the predictive glycaemic response of pasta. **Food Chemistry** 264(2018):199-209.
- Luengwilai , K. y Beckles, D. 2009. Structural Investigations and Morphology of Tomato Fruit Starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 57:282-291.
- Lupiañez-Barbero, A.; González, C. y de Leiva, A. 2018. Spanish food composition tables and databases: Need for a gold standard for healthcare professionals (review). **Endocrinología, Diabetes y Nutrición**, 65(6):361-373.
- Ma, M.; Wang, Y.; Wang, M.; Jane, J. y Du, S. 2017. Physicochemical properties and in vitro digestibility of legume starches. **Food Hydrocolloids** 63(2017):249-255.
- Martínez-Ortiz, M.; Vargas-Torres, A.; Román-Gutiérrez, A.; Chavarría-Hernández, N.; Zamudio-Flores, P.; Meza-Nieto, M. y Palma-Rodríguez, H. 2017. Partial characterization of chayotextle starch-based films added with ascorbic acid encapsulated in resistant starch. **International Journal of Biological Macromolecules**. 98:341-347.

- Matignon, A. y Tecante, A. 2017. Starch retrogradation: From starch components to cereal products. **Food Hydrocolloids** 68(2017):43-52.
- Metral, E.; Rachidi, W.; Damour, O.; Demarne, F. y Bechetoille, N. 2018. Long-term Genoprotection Effect of *Sechium edule* Fruit Extract Against UVA Irradiation in Keratinocytes. **Photochemistry and Photobiology** 94:343-350.
- Modgil, M.; Modgil, R. y Kumar, R. 2004. Carbohydrate and mineral content of Chayote (*Sechium edule*) and Bottle gourd (*Lagenaria Siceraria*). **J. Hum. Eco.** 15(2): 157-159.
- Moreno, A. 2010. *Sechium edule* (jacq.) Swartz y los fitoesteroles como agentes antihiperlipidémicos y antihipertensivos. **Waxapa** 3: 15-26.
- Naozuka, J. y Oliveira, P. 2012. Cooking Effects on Iron and Proteins Content of Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) by GF AAS and MALDI-TOF MS. **Journal of the Brazilian Chemical Society** 23(1):156-162.
- Ntatsi, G.; Gutiérrez-Cortines, M.; Karapanos, I.; Barros, A.; Weiss, J.; Balliu, A.; dos Santos, E.; Savvas, D. 2018. The quality of leguminous vegetables as influenced by preharvest factors. **Scientia Horticulturae** 232(2018):191-205.
- Ogbo, F.C. y Okafor E.N. 2015. The Resistant Starch Content of Some Cassava Based Nigerian Foods. **Nigerian Food Journal** 33 (1): 29–34.
- Ordoñez, A.; Gomez J.; Vattuone M. y Isla M. 2006. Antioxidant Activities of *Sechium Edule* (Jacq.) Swartz Extracts. **Food Chemistry** 97 (3): 452–58.
- Ogawa, Y.; Donlao, N.; Thuengtung, S.; Tian, J.; Cai, Y.; Reginio, F.; Ketnawa, S.; Yamamoto, N. y Tamura, M. 2018. Impact of food structure and cell matrix on digestibility of plant-based food. **Current Opinion in Food Science** 19:3641.
- Ovando-Martínez, M.; Osorio-Díaz, P.; Whitney, K.; Bello-Pérez, L. y Simsek, S. 2011. Effect of the cooking on physicochemical and starch digestibility properties of two varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different water regimes. **Food Chemistry** 129(2011):358-365.
- Patel, D.; Shukla, S. y Gupta, S. 2007. Apigenin and cancer chemoprevention: Progress, potencial and promise (Review). **International Journal of Oncology**, 30:233-245.
- Patel, H.; Royall, P.; Gaisford, S.; Williams, G.; Edwards, C.; Warren, F.; Flanagan, B.; Ellis, P. y Butterworth, P. 2017. Structural and enzyme kinetic studies of retrograded starch: Inhibition of α -amylase and consequences for intestinal digestion of starch. **Carbohydrate Polymers** 164(2017):154-161.

- Pinhero, R.; Waduge, R.; Liu, Q.; Sullivan, J.; Tsao, R.; Bizimungu, B. y Yada, R. 2016. Evaluation of nutritional profiles of starch and dry matter from early potato varieties and its estimated glycemic impact. **Food Chemistry**, 203:356-366.
- Probst, Y. y Mamet, C. 2016. The evolution of food composition databases in Australia: Applying data from 1944 to 2007 to current day dietary records. **Journal of Food Composition and Analysis**, 51:24-29.
- Raatz, S.; Idso, L.; Johnson, L.; Jackson, M. y Combs, G. 2016. Resistant starch analysis of commonly consumed potatoes: Content varies by cooking method and service temperature but not by variety. **Food Chemistry** 208(2016):297-300.
- Raffo, M.; Ponce, N.; Sozzi, G.; Vicente, A. y Stortz, C. 2009. Compositional changes in "Bartlett" Pear (*Pyrus communis* L.) cell wall polysaccharides as affected by sunlight conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 20:33-59.
- Ramos, L. 2015. La papa del aire (*Sechium edule*) un aporte saludable en la alimentación. Recuperado de: <https://inta.gob.ar/sites/default/files>
- Ratnayake, S.; Melton, L. y Hurst, P. 2003. Influence of cultivar, cooking and storage on cell-wall polysaccharide composition of winter squash (*Cucurbita maxima*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 51:1904-1913.
- Remya, R.; Jyothi, A. y Sreekumar, J. 2018. Effect of chemical modification with citric acid on the physicochemical properties and resistant starch formation in different starches. **Carbohydrate Polymers** 202(2018):29-38.
- Rolls, B.J. 2009. The relationship between dietary energy density and energy intake. **Physiology & Behavior** 97:607-615.
- Rolls, B.; Drewnowski, A. y Ledikwe, J. 2005. Changing the Energy Density of the Diet as a Strategy for Weight Management. **Journal America of Dietetic Association** 105:98-103.
- Schafer, J.; Brett, A.; Trierweiler, B. y Bunzel, M. Characterization of cell wall composition of radish (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) and maturation related changes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 64:8625-8632.
- Schaffer, A. y Paris, H. 2016. Melons, squashes and gourds. *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03426-0>
- Shattir, A. y Abu-Goukh, A. 2012. Compositional changes during papaya fruit

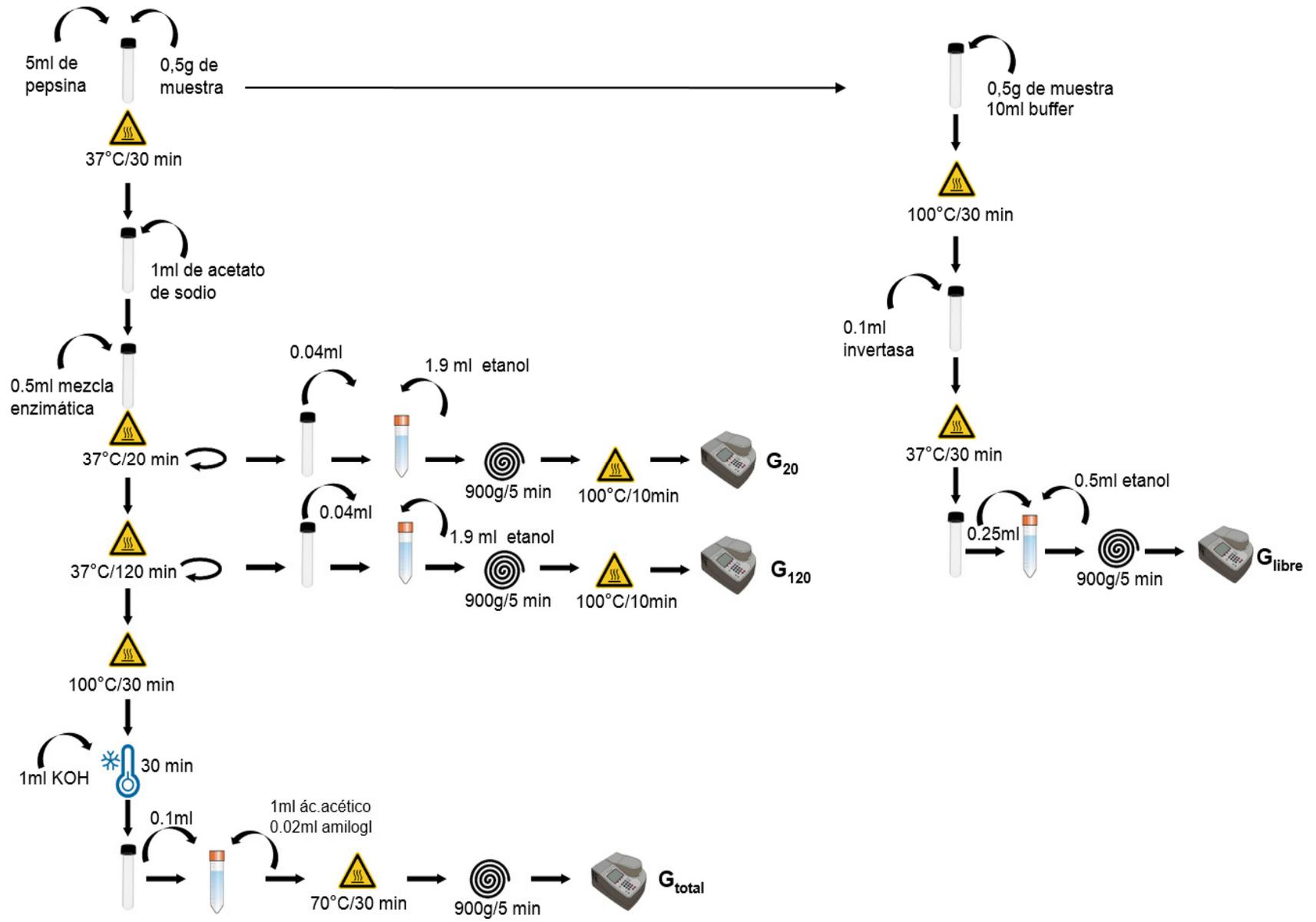
- ripening. **U. of K. J. Agric. Sci.** 20(1):44-61.
- Shiga, T.; Gonçalves, F.; Carpita, N.; Lajolo, F. y Cordenunsi, B. 2015. Polysaccharide Composition of Raw and Cooked Chayote (*Sechium Edule Sw.*) Fruits and Tuberos Roots. **Carbohydrate Polymers** 130: 155–65.
- Shukla, S. y Gupta, S. 2010. Apigenin: A promising molecule for cancer prevention. **Pharmaceutical Research**, 27:962-968.
- Shumoy, H. y Raes, K. 2017. In vitro starch hydrolysis and estimated glycemic index of tef porridge and injera. **Food Chemistry** 229:381-387.
- Siebeling, E.; Vries, J.; Trijsburg, L. y Hulshof, P. 2015. Evaluation of calculated energy and macronutrient contents of diets provided in controlled dietary intervention trials by chemical analysis of duplicate portions. **Journal of Food Composition and Analysis** 43(2015):68-74.
- Singh, J.; McCarthy, O.; Singh, H.; Moughan, P. y Kaur, L. 2007. Morphological, thermal and rheological characterization of starch isolated from New Zealand Kamo Kamo (*Cucurbita pepo*) fruit – A novel source. **Carbohydrate Polymers** 67(2007):233-244.
- Singh, J.; Dartois, A. y Kaur, L. 2010. Starch digestibility in food matrix: A review. **Trends in Food Science & Technology**, 21(4):168-180.
- Sungsoo, S. y Samuel, P. Fiber ingredients: food applications and health benefits. 2009. CRC Press. Pp:206-208.
- Tian, J.; Chen, S.; Wu, C.; Chen, J.; Du, X.; Chen, J.; Liu, D. y Ye, X. 2016. Effects of preparation methods on potato microstructure and digestibility: An in vitro study. **Food Chemistry** 211(2016):564-69.
- Tolfrey, K. y Zakrzewski, J. 2012. Breakfast, glycaemic index and health in young people. **Journal of Sport and Health Science** 1(2012):149-159.
- Toutounji, M.; Farahnaky, A.; Santhakumar, A.; Oli, P.; Butardo, V. y Blanchard, C. 2019. Intrinsic and extrinsic factors affecting rice starch digestibility. **Trends in Food Science & Technology** 88(2019):10-22.
- Trinidad, T.P.; Mallillin, A.C.; Sagum, R.S. y Encabo, R.R. 2010. Glycemic index of commonly consumed carbohydrate foods in the Philippines. **Journal of Functional Foods** 2:271-274.
- Universidad Nacional de Costa Rica y Centro Internacional de Política Económica, 2010. Estudio para el Mejoramiento de la Competitividad y Sostenibilidad de la

- Agrocadena de Chayote. Recuperado de:
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00199.pdf>
- U.S Department of Agriculture. 2019. Food Data Central. Recuperado de:
<https://fdc.nal.usda.gov/>
- Vieira, E.; Pinho O.; Ferreira I. y Delerue-Matos C. 2019. Chayote (Sechium Edule): A Review of Nutritional Composition, Bioactivities and Potential Applications. **Food Chemistry** 275(2018):557–68.
- Villanueva, M.; Tenorio, M.; Esteban, M. y Mendoza, M. 2004. Compositional changes during ripening of two cultivars of muskmelon fruits. **Food Chemistry** 87(2004):179-185.
- Wang, N.; Hatcher, D.; Tyler, R.; Toews, R. y Gawalko, E. 2010. Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). **Food Research International** 43(2010):589-594.
- Wang, S.; Li, P.; Zhang, T.; Yu, J.; Wang, S. y Copeland, L. 2017. In vitro starch digestibility of rice flour is not affected by method of cooking. **LWT-Food Science and Technology** 84(2017):536-543.
- Wang, S.; Fu, L.; Wu, Y.; Xiao, H.; Wang, J. y Sun, G. 2019. Influence of luteolin on the apoptosis of esophageal cancer Eca109 cells and its mechanism of action. **Food Science and Human Wellness**, 8:189-194.
- Wang, M.; Sun, M.; Zhang, Y.; Chen, Y.; Wu, y. Y Ouyang, J. (2019). Effect of microwave irradiation-retrogradation treatment on the digestive and physicochemical properties of starches with different crystallinity. **Food Chemistry**, 298:1-7.
- Wolever, T.M. 2006. The Glycaemic Index: a physiological classification of dietary carbohydrate. CABI Publishing, United Kingdom.
- Ye, X. y Sui, Z. 2016. Physicochemical properties and starch digestibility of Chinese noodles in relation to optimal cooking time. **International Journal of Biological Macromolecules**, 84:428-433.
- Yu, J.; Flood, V.; Atkinson, F.; Barclay, A. y Brand-Miller, J. 2015. Methodology for assigning appropriate glycaemic index values to an Australian food composition database. **Journal of Food Composition and Analysis** 38(2015):1-6.
- Zhang, G, y Hamaker, B. 2011. Slowly Digestible Starch: Concept, Mechanism, and Proposed Extended Glycemic Index. **Critical reviews in food science and nutrition**. 49(10):852-67.

IX. Apéndices

Apéndice 1

Secuencia del análisis para la obtención de las fracciones digerible del almidón,
utilizando el método descrito por Englyst et al. 2003



Apéndice 2
Datos obtenidos del análisis de varianza ANDEVA para el análisis proximal

Cuadro 4. Datos del análisis de varianza (ANDEVA) para la composición proximal en crudo y cocido de las tres variedades de chayote y los dos estadios de madurez.

	Humedad	Cenizas	Proteína	Grasa	Fibra dietética	CHO totales	CHO disponibles	Valor energético (kcal)
R ²	0,602	0,750	0,599	0,363	0,675	0,535	0,549	0,687
F	2,557	5,069	2,527	0,965	3,512	1,949	2,063	3,706
Pr > F	0,025	0,000	0,027	0,511	0,005	0,081	0,065	0,003
Variedad	0,993	16,187	5,378	0,737	9,656	0,120	0,328	0,322
	0,386	<0,0001	0,013	0,490	0,001	0,888	0,724	0,728
Madurez	19,103	7,319	8,671	0,683	9,701	14,182	14,024	21,944
	0,000	0,013	0,007	0,418	0,005	0,001	0,001	0,000
Cocción	0,003	5,620	0,027	4,169	6,179	0,027	0,395	5,400
	0,958	0,027	0,871	0,053	0,021	0,870	0,536	0,030
Variedad*Cocción	0,767	7,552	0,2617	0,879	1,865	0,856	1,480	2,902
	0,477	0,003	0,548	0,429	0,179	0,438	0,250	0,076

Apéndice 3

Datos obtenidos del análisis post hoc con el test de Bonferroni para las interacciones encontradas en el ANDEVA para composición proximal

Categoría	Media	Pr > Dif	Grupos
Variedad-Blanco*Cocción-Crudo	0,473		A
Variedad-Blanco*Cocción-Cocido	0,317	< 0.0001	B
Variedad-Criollo*Cocción-Cocido	0,285	< 0.0001	B
Variedad-Criollo*Cocción-Crudo	0,280	< 0.0001	B
Variedad-Quelite*Cocción-Cocido	0,273	< 0.0001	B
Variedad-Quelite*Cocción-Crudo	0,263	< 0.0001	B

Variedad*Cocción / Bonferroni / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95%, para las cenizas.

Apéndice 4
Datos obtenidos del análisis de varianza ANDEVA para las fracciones digeribles del
almidón

Cuadro 5. Datos del análisis de varianza (ANDEVA) para las fracciones digeribles del almidón de chayote.

	GRD	GLD	ARD	ALD	AT	AR
R ²	0,855	0,606	0,840	0,606	0,774	0,562
F	5,582	1,453	4,976	1,453	3,229	1,210
Pr > F	0,000	0,223	0,001	0,223	0,010	0,349
Variedad	12,113 0,001	0,211 0,812	8,190 0,003	0,211 0,812	4,896 0,021	1,597 0,232
Grado madurez	12,994 0,002	0,183 0,674	9,426 0,007	0,183 0,674	5,679 0,029	0,355 0,559
Cocción	6,181 0,010	1,876 0,184	7,469 0,005	1,876 0,184	5,430 0,015	0,031 0,970
Variedad*Grado madurez	9,863 0,001	1,661 0,219	9,086 0,002	1,661 0,219	7,442 0,005	3,107 0,096
Variedad*Cocción	2,042 0,134	0,955 0,457	1,918 0,154	0,955 0,457	2,874 0,055	1,482 0,255
Grado madurez*Cocción	5,882 0,011	5,470 0,015	5,704 0,013	5,470 0,015	0,707 0,507	1,008 0,386
Variedad*Grado madurez*Cocción	2,739 0,063	0,685 0,612	2,794 0,060	0,685 0,612	0,711 0,596	1,786 0,178

Apéndice 5

Datos obtenidos del análisis post hoc con el test de Bonferroni para las interacciones encontradas en el ANDEVA para fracciones digeribles del almidón

Categoría	Media	Pr > Dif	Grupos
Variedad-Quelite*Cocción-Cocido	3,461		A
Variedad-Criollo*Cocción-Recocido	3,015		A
Variedad-Criollo*Cocción-Cocido	2,828		A B
Variedad-Quelite*Cocción-Crudo	2,603		A B
Variedad-Blanco*Cocción-Recocido	2,352		A B
Variedad-Quelite*Cocción-Recocido	1,980		A B
Variedad-Blanco*Cocción-Cocido	1,879		A B
Variedad-Criollo*Cocción-Crudo	1,561		A B
Variedad-Blanco*Cocción-Crudo	1,009	0,001	B

Variedad*Cocción / Bonferroni / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95%, para la fracción AT.

Categoría	Media	Pr > Dif	Grupos
Variedad-Quelite*Grado madurez-Sazón	2,422		A
Variedad-Quelite*Grado madurez-Tierno	0,992	0,000	B
Variedad-Blanco*Grado madurez-Sazón	0,580	0,000	B
Variedad-Criollo*Grado madurez-Sazón	1,526	0,218	A B
Variedad-Blanco*Grado madurez-Tierno	1,037	0,000	B
Variedad-Criollo*Grado madurez-Tierno	0,821	0,001	B

Variedad*Grado madurez / Bonferroni / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95%, para la fracción ARD.

Categoría	Media	Pr > Dif	Grupos
Variedad-Quelite*Grado madurez-Sazón	3,586		A
Variedad-Criollo*Grado madurez-Sazón	2,780	0,076	A B
Variedad-Criollo*Grado madurez-Tierno	2,155	0,003	B
Variedad-Blanco*Grado madurez-Tierno	2,050	0,002	B
Variedad-Quelite*Grado madurez-Tierno	1,777	0,000	B
Variedad-Blanco*Grado madurez-Sazón	1,443	<0,001	B

Variedad*Grado madurez / Bonferroni / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95%, para la fracción AT.

Categoría	Media	Pr > Dif	Grupos
Grado madurez-Sazón*Cocción-Cocido	2,304		A
Grado madurez-Tierno*Cocción-Recocado	1,363	0,016	A B
Grado madurez-Sazón*Cocción-Recocado	1,264	0,008	A B
Grado madurez-Sazón*Cocción-Crudo	0,960	0,001	B
Grado madurez-Tierno*Cocción-Cocido	0,922	0,001	B
Grado madurez-Tierno*Cocción-Crudo	0,565	<0,001	B

Grado de madurez*Cocción/ Bonferroni / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95%, para la fracción ARD.

Categoría	Media	Pr > Dif	Grupos
Grado madurez-Sazón*Cocción-Recocido	0,862	0,007	A
Grado madurez-Tierno*Cocción-Cocido	0,653	0,008	A
Grado madurez-Tierno*Cocción-Crudo	0,300	0,010	A
Grado madurez-Tierno*Cocción-Recocido	0,283	0,012	A
Grado madurez-Sazón*Cocción-Crudo	0,272	0,318	A
Grado madurez-Sazón*Cocción-Cocido	0,258		A

Grado de madurez*Cocción/ Bonferroni / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95%, para la fracción ALD.