

**EFFECTO DE LA COCCIÓN SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES
PRO-VITAMINA A EN EL PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) EN DIFERENTES
ESTADOS DE MADURACIÓN: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA.**

CAMILA ANDREA GRANADOS HERNÁNDEZ

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA
BOGOTÁ D. C.
NOVIEMBRE 30 DE 2020**

**EFFECTO DE LA COCCIÓN SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES
PRO-VITAMINA A EN EL PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) EN DIFERENTES
ESTADOS DE MADURACIÓN: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA.**

CAMILA ANDREA GRANADOS HERNÁNDEZ

TRABAJO DE GRADO

Presentado como requisito para optar al título de

Nutricionista Dietista

YURI MILENA CASTILLO QUIROGA

Directora

MAURICIO ESPINAL RUIZ

Codirector

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE NUTRICIÓN Y DIETÉTICA

BOGOTÁ D. C.

NOVIEMBRE 30 DE 2020

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

**EFFECTO DE LA COCCIÓN SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES
PRO-VITAMINA A EN EL PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) EN DIFERENTES
ESTADOS DE MADURACIÓN: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA.**

CAMILA ANDREA GRANADOS HERNÁNDEZ

APROBADO



Yuri Milena Castillo Quiroga
Nutricionista Dietista, MSc.
Directora

Mauricio Espinal Ruiz

Mauricio Espinal Ruiz
Químico. PhD.
Codirector



Darwin Ortiz
PhD. Ciencias de los alimentos.
B.Sc. Químico.
Jurado

**EFFECTO DE LA COCCIÓN SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES
PRO-VITAMINA A EN EL PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) EN DIFERENTES
ESTADOS DE MADURACIÓN: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA.**

CAMILA ANDREA GRANADOS HERNÁNDEZ

APROBADO

Concepción Judith Puerta Bula
Bacterióloga, PhD.
Decana

Luisa Fernanda Tobar Vargas
Nutricionista Dietista, MSc.
Directora de la Carrera de Nutrición y Dietética

DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza necesaria para llevar a cabo un logro más en mi vida de manera exitosa.

A mi mamá y mi abuelita Elvia.

Los dos ángeles que a pesar de que no estén a mi lado celebrando cada logro que alcanzo, desde el cielo me apoyan y me guían en cada paso que doy en mi vida, sabiendo que desde donde estén, se sentirán muy orgullosas de mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme fuerza para superar la adversidad, hacer lo correcto en beneficio del bien y superar la negatividad.

A mi hermana, mi apoyo incondicional que a pesar de las adversidades estuvo siempre para mí, confiando en todas mis capacidades para poder llevar a cabo todo lo que me propongo y a mi papá que estuvo pendiente de mis avances en todo momento como en cada paso que doy en mi vida.

A mi primo John, que en esta etapa nunca me abandono y me dio todo el apoyo necesario para poder culminar con éxito mi trabajo, al igual que mi madrina Dora y mi tío Roberto brindándome sus conocimientos y serenidad para cada día asumir los diferentes retos.

A mi tío Álvaro que se encarga de transmitirme día a día toda su fortaleza para seguir adelante en cada paso que doy enseñándome que las mejores cosas son las que requieren un gran esfuerzo y trabajo.

A mis pontiamigas y Giuliana Lara, que como siempre se encargaron de sacarme una sonrisa, supieron como animarme a pesar de todas las dificultades que se presentaron y nunca dejaron que me rindiera.

A Catalina Mosquera, que más que mi amiga es mi hermana y no me deja caer a pesar de las dificultades que se me presentan, dándome toda su energía para llenarme de fuerzas y no mirar hacia atrás.

A mis tutores Yuri Castillo y Mauricio Espinal por transmitirme todos sus conocimientos y tenerme toda la paciencia necesaria para llevar a cabo este trabajo de la mejor manera posible con rigurosidad y entereza.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	2
2.1. Carotenoides.....	2
2.2. Degradación de carotenoides pro-vitamina A.....	3
2.3. Retención de Nutrientes.....	4
2.4. Aspectos relevantes del plátano.....	5
2.5. Preparaciones y procesamiento del plátano.....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
4. OBJETIVOS.....	7
4.1. Objetivo general.....	7
4.2. Objetivos específicos.....	8
5. METODOLOGÍA.....	8
5.1. Diseño de la investigación.....	8
5.2. Población y muestra.....	8
5.3. Búsqueda y selección de la población.....	8
5.3.1. Estrategia de búsqueda.....	8
5.3.2. Criterios de inclusión.....	8
6. RESULTADOS.....	10
6.1. El proceso de maduración del plátano en el contenido de carotenoides pro-vitamina A....	10
6.1.1. Estudios en grupos genómicos del plátano provenientes África Central.....	13
6.1.2. Estudios en grupos genómicos del plátano provenientes de América Latina.....	15
6.2. Efecto de métodos de cocción en la retención de carotenoides en el plátano.....	16
6.2.1. Hervido y cocción al vapor.....	19
6.2.2. Fritura.....	21
6.2.3. Asado.....	22
6.2.4. Microondas.....	22
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	23
7.1. El proceso de maduración del plátano en el contenido de carotenoides pro-vitamina A....	23
7.2. Efecto de los métodos de cocción en la concentración de carotenoides en el plátano.....	24
8. CONCLUSIONES.....	25
9. RECOMENDACIONES.....	26
10. REFERENCIAS.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructuras químicas de los carotenoides pro-vitamina A: β -criptoxantina, α -caroteno y β -caroteno.	2
Figura 2. Diagrama de flujo de la selección de artículos para la revisión de literatura.	9
Figura 3. Ruta biosintética de los carotenoides en frutos climatéricos.	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala de maduración fisiológica del plátano	11
Tabla 2. Contenido de pVACs en cuatro variedad de la especie cultivadaes de plátano en tres estados de maduración.....	14
Tabla 3. Contenido promedio de pVACs en tres grupos genómicos de plátano reportados según su etapa de maduración.....	16
Tabla 4. Alteraciones de pVACs del plátano al pasar por un proceso de cocción.....	17
Tabla 5. Alteraciones de all-trans- β -caroteno del plátano al pasar por cocción.	18
Tabla 6. Contenido de all-trans- β -caroteno en el plátano después de ser sometido a diferentes condiciones de cocción	20
Tabla 7. Contenido de all-trans- β -caroteno en el plátano tras el método de asado	22

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ecuaciones de Búsqueda	31
Anexo 2. Palabras claves.....	32

RESUMEN

La deficiencia de vitamina A es problema salud pública global latente, que a pesar de la implementación de programas de suplementación y fortificación de alimentos, todavía afecta a millones de personas en países en desarrollo. No obstante, es claro para la comunidad científica que la mejor manera de derrotar la deficiencia de vitamina A es través de estrategias basadas en alimentos y en educación nutricional. Sin embargo, para una estrategia basada en alimentos sea viable en una comunidad para combatir la deficiencia de vitamina A, se requiere la identificación de alimentos de fácil acceso y que se encuentren en su dieta, además de estos alimentos deben presentar niveles altos de carotenoides provitamina A. El plátano (*Musa Paradisiaca*) es un alimento básico de amplio consumo que tiene el potencial proveer carotenoides provitamina A (pVACs) a los consumidores. Sin embargo, a pesar de que existen ciertas variedades de plátano que se destacan por sus altos contenido de pVACs, es indispensable identificar el impacto de los procesos de cocción tradicionales en la retención de los carotenoides en el plátano. En la presente revisión de literatura se documento el efecto de la maduración del fruto del plátano en la estabilidad y retención carotenoides provitamina A del plátano. Además, también se documento el efecto que tienen los principales métodos tradicionales del plátano usados por consumidores en países en desarrollo Para lograr estos objetivos, se establecieron criterios de búsqueda sistemática en las bases de datos Scopus, Science Direct, Google Scholar, Web of Science y SINAB, seleccionando 15 documentos entre artículos y libros. Se encontró que existen diferencias en el contenido de pVACs entre los grupos genómicos híbridos del plátano. También se reportan los niveles de pVAC en el fruto de plátano dependen de su etapa de maduración. La etapa de madurez fisiológica con mayores concentraciones de pVACs es la etapa en la que el pericarpio tiene color 70% amarillo y 30% verde en todos los grupos genómicos. Además, la retención de pVACs durante el asado y la cocción al vapor durante 15 minutos, varía entre un 57,3% a 79,6%. Además, encontramos que la retención de pVACs durante la fritura, cuando el el pericarpio del plátano se encuentra un 70% amarillo y 30% verde, varía entre un 73% a 96%, dependiendo principalmente de la temperatura y el tiempo de cocción. Como conclusión cabe destacar que la etapa de maduración donde hay una mayor concentración de pVACs es en la etapa en la que el pericarpio tiene color 70% amarillo y 30% verde y los métodos donde se mostró una mayor retención fue al vapor y asado.

ABSTRACT

Vitamin A deficiency is a global public health problem that can be mitigated by promoting the consumption of plant origin foods, since some of these, such as plantain (*Musa paradisiaca*), can provide pro-vitamin A carotenoids (pVACs) which can contribute to meet the daily requirements of this micronutrient. Although plantains can be a viable nutritional alternative due to their pVAC content, it is necessary to recognize that some factors intrinsic to human consumption, such as cooking, affect this content. In this regard, this literature review aimed to document the effect of cooking on the concentration of pro-vitamin A carotenoids in plantains in terms of the main physicochemical changes during different stages of ripening. For this purpose, a systematic search criterion was established with the initial selection of 24 scientific papers from Scopus, Science Direct, Google Scholar, Web of Science and SINAB, from which 15 articles and books were finally selected. It was found that there are differences in the content of pVACs between the hybrid genomic groups of the plantain and also, differences for each stage of maturity of the plantain. Therefore, it was evidenced that the stage of physiological maturity with higher concentrations of pVACs is the stage in which the pericarp has 70% yellow and 30% green color in all genomic groups. Regarding the impact of thermal degradation of pVACs in the plantain in stage where the pericarp is 70% yellow, 30% green through the cooking methods, it was determined that roasting and steaming for 15 minutes, showed a final retention of 57.3% to 79.6%, respectively. Meanwhile, frying can produce a final retention of pVACs in the plantain in stage where the pericarp is 70% yellow, 30% green from 73% to 96% impacting in greater measure, taking into account the temperature and cooking time as critical factors. As a conclusion, it is worth mentioning that the ripening stage where there is a higher concentration of pVACs is the stage where the pericarp is 70% yellow and 30% green and the methods where a higher retention was shown was steaming and roasting.

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha resaltado que la deficiencia de vitamina A es un problema de salud pública global. La deficiencia de vitamina A afecta a nivel mundial, en mayor parte, a la población infantil y mujeres gestantes, causando un déficit en el crecimiento tanto en el niño como en el feto, así como una mayor incidencia en enfermedades infecciosas y xeroftalmia (resequedad en los ojos). La deficiencia de vitamina A es prevalente en poblaciones de países en vías de desarrollo como consecuencia de un consumo inadecuado de vitamina A preformada o carotenoides provitamina A. Esta situación sucede en general en países no industrializados debido a una baja diversificación de la dieta, que se traduce en un bajo consumo de alimentos ricos en vitamina A preformada o carotenoides provitamina A.

Diversas estrategias de salud pública han sido implementadas para combatir la baja ingesta de vitamina A en poblaciones de países en desarrollo. La fortificación y la suplementación han sido generalmente las principales estrategias implementadas para combatir la deficiencia de vitamina A en poblaciones. Recientemente la biofortificación de cultivos, es decir el incremento natural de nutrientes a través del uso de técnicas de mejoramiento de plantas, ha sido propuesta como una estrategia viable, que busca incrementar el contenido de micronutrientes en cultivos básicos. Sin embargo, a pesar que estas estrategias han demostrado ser efectivas en la reducción de la incidencia de ciertas deficiencias de micronutrientes, la diversificación de la dieta es considerada una estrategia esencial, y es ampliamente aceptada en las guías alimentarias de diversos países para la promoción de una dieta saludable y nutricionalmente adecuada, que puede contribuir a la reducción de deficiencias nutricionales en general.

Sin embargo, para que la diversificación de la dieta sea una estrategia efectiva en la reducción de la incidencia de deficiencia de vitamina A, es necesario que los alimentos que se encuentran disponibles para las poblaciones contengan niveles considerables de carotenoides provitamina A. Uno de los alimentos del trópico que llama la atención en este sentido, es el plátano (*Musa paradisiaca*). El fruto del plátano presenta naturalmente un contenido variable de carotenoides pro-vitamina A debido su amplia diversidad biológica. Sin embargo, a pesar de que se han reportado grupos genómicos de plátano que con niveles considerables de carotenoides provitamina A entre 0 y 10500 $\mu\text{g}/100\text{ g pVACs}$. Se desconoce si las variedades de plátano que son de amplio acceso y consumo por las comunidades, contienen niveles considerables de carotenoides provitamina A que puedan contribuir de manera considerable a los requerimientos diarios de carotenoides de los consumidores.

Por otro lado, a pesar de que algunas variedades de plátano pueden contener niveles considerables de carotenoides provitamina A, la inestabilidad de los carotenoides provitamina A en el plátano podría dificultar el aprovechamiento de estos micronutrientes por los consumidores. Los carotenoides provitamina A son compuestos que contienen un alto número de insaturaciones y que son altamente susceptibles a la degradación por factores como la temperatura, el oxígeno y la luz, factores naturalmente presentes durante la cocción del alimento. Así que es importante determinar el efecto que tienen los métodos tradicionales de cocción del plátano en la retención de carotenoides provitamina A. La investigación en este trabajo de grado tiene como objetivo evaluar en la literatura la variación en los niveles de pVACs en el fruto de plátano, determinar el efecto del estado de maduración fisiológica, y el efecto del procesamiento tradicional sobre la retención de carotenoides provitamina A.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Carotenoides

Químicamente, los carotenoides son tetraterpenos, conformados por cuarenta átomos de carbono formando cadenas conjugadas, que al final pueden estar conformadas por anillos de carbono (Melendez et al., 2004). Su cadena básica puede llegar a sufrir varias modificaciones, ya que, aunque se caracterizan por ser estables en su ambiente natural, pueden ser inestables ante condiciones extremas de temperatura, pH o luz (Rodríguez, 1999). También se denominan como pigmentos naturales, responsables del color amarillo, rojo y naranja de frutas, raíces, vegetales y flores los cuales por la presencia de insaturaciones, son sensibles al oxígeno, metales, ácidos, peróxidos, calor y luz (Carranco et al., 2011). En particular, se destacan los carotenoides pro-vitamina A, como la β -criptoxantina, el α -caroteno y el β -caroteno (mostrados en la figura 1), que se encuentran en algunos alimentos de origen vegetal como tomate, zanahoria y plátano (Gentilini, 2012).

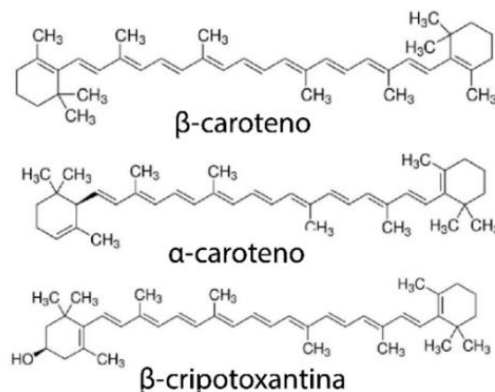


Figura 1. Estructuras químicas de los carotenoides pro-vitamina A: β -criptoxantina, α -caroteno y β -caroteno. Adaptado de (Melendez, Vicario, & Heredia, 2007).

De acuerdo con Cruz (2007), con respecto a su absorción al momento de consumir estos compuestos, los carotenoides pro-vitamina A que logran ingresar a la pared intestinal, dada su baja biodisponibilidad, pueden pasar intactos a la circulación linfática, ser escindidos y convertidos de esta manera en retinoides y pasar al hígado o, pueden ser almacenados en su forma intacta hasta que la célula se degrade. Finalmente, la vitamina A es un compuesto liposoluble que se encuentra predominantemente en forma de retinoides (retinol, retinal, ácido retinoico y ésteres de retinol) en los alimentos de origen animal, como la carne vacuna y de aves, así como en productos lácteos, en donde se encuentran almacenados principalmente como ésteres de retinol.

2.2. Degradación de carotenoides pro-vitamina A

La degradación de los carotenoides pro-vitamina A hace referencia a la pérdida de estos compuestos posterior a cocción o condiciones de almacenamiento, y es dada a través de diversas reacciones de descomposición térmica, entre las que se encuentran las reacciones de isomerización y las reacciones de oxidación, como consecuencia a la susceptibilidad química frente a factores como la exposición a la luz, ataques por radicales y altas temperaturas (Boon, McClements, Weiss, & Decker, 2010).

En primer lugar, la reacción de isomerización hace referencia a la reacción química que conduce a la formación de isómeros y puede ser causada por actividad térmica o fotoquímica en presencia de catalizadores como ácidos y enzimas (Schieber & Weber, 2016). De manera específica, mientras que bajo el control cinético, el perfil de los isómeros está determinado por la tasa de formación, en presencia de equilibrio termodinámico, la composición dependerá de la estabilidad relativa del isómero (Britton, Liaaen, & Pfander, 2008). En este contexto, esta reacción tiene una estrecha relación con respecto a la estructura de los carotenoides pues, según Nguyen, Francis, & Schwartz (2001) tiene un gran impacto en la susceptibilidad a las localizaciones y estado físico de los carotenoides, al ocasionar un cambio en la configuración de trans (E) a cis (Z) (Nguyen, Francis, & Schwartz, 2001).

En segundo lugar, la reacción de oxidación es una reacción de carácter irreversible que es catalizada por radicales libres, los cuales dan lugar a productos de degradación al favorecer el intercambio de electrones entre sustancias químicas (Colle, Lemmens, Knockaert, Van Loey, & Hendrickx, 2016). De acuerdo con Schieber & Weber (2016), esta reacción en los carotenoides puede ocurrir de modos diferentes dependiendo del ambiente que los rodea, ya que diversos factores como el calor, la exposición a la luz, la acción enzimática y la presencia

de iones metálicos pueden facilitar esta reacción. En detalle, debido a su estructura insaturada, los carotenoides presentan una baja estabilidad química que los hace susceptibles a reacciones de oxidación favorecidas por las condiciones térmicas de procesamiento de cada alimento (Melendez et al., 2004). Los mecanismos de degradación dichos anteriormente, llevan a pérdidas en la calidad organoléptica del alimento, como lo es el sabor y el color, y adicionalmente, conducen a reducciones en la actividad biológica de los pVACs (Boon et al., 2010), entendiendo la bioactividad como el efecto que tiene el compuesto en el ser humano (López et al., 2020) (López et al., 2020).

2.3. Retención de Nutrientes

La retención puede entenderse como la cantidad del nutriente disponible en el alimento después de cualquier proceso de transformación (incluyendo la cocción) y que es dependiente de factores intrínsecos como su estabilidad térmica (identidad y estructura del nutriente) y extrínsecos, como la matriz del alimento y el perfil de distribución de temperatura en la misma, durante la cocción (tiempo y temperatura de cocción, determinados según el método empleado y las operaciones de pre-alistamiento del alimento; (Bergström, 1993); (McClements, Zeeb, Hossein, & Weiss, 2015).

Adicionalmente, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, 2007) define la retención verdadera como la medición de la proporción de nutrientes remanentes en el alimento cocido en relación a los nutrientes originales presentes en el alimento crudo. De hecho, los factores de retención se calculan a partir del método de verdadera retención (%TR) definido como:

$$\%TR = \frac{N_c * G_c}{N_r * G_r} * 100$$

Tal que,

N_c = contenido nutricional por gramo de alimento cocido

G_c = g de alimento cocido

N_r = Contenido nutricional por g de alimento crudo

G_r = g de comida antes de la cocción.

2.4. Aspectos relevantes del plátano

Al referirse a la nomenclatura taxonómica para el plátano, en el caso de África y América, se establecen dos grandes grupos dentro de las monocotiledóneas: el plátano (*Musa paradisiaca*), que durante el proceso de maduración hace la conversión de almidón a azúcares solubles, quedando en el fruto entre un 10% a un 15% de almidón al final de la maduración, y el banano, el cual al finalizar la maduración el almidón casi en su totalidad se convierte en azúcares solubles (Soares et al., 2011). Así mismo, aunque el plátano puede llegar a ser un fruto genéticamente puro, como es el caso de las especies *Musa balbisiana* o *Musa acuminata*, según Vázquez et al. (2005), a partir de su hibridación se originaron los diferentes plátanos cultivados (variedad de la especie cultivada). Las diferentes variedades cultivadas de la especie se clasifican de acuerdo con la contribución genotípica y el grado en el que se encuentra constituido del clon o variedad de la especie cultivada. Por lo anterior, al denominar a una variedad de la especie cultivada con la letra "A" se hace referencia a características similares a la especie *Musa acuminata* y con la letra "B" a la especie *Musa balbisiana*. A su vez, la poliploidía en los genomas se representa con letras, siendo diploides "AA", "AB" y triploides, que es el grupo más comercial, "AAA", "AAB", "ABB" (Vázquez et al., 2005). De los últimos mencionados, es importante recalcar que hay una gran variedad de plátanos cultivados (variedad de la especie cultivada) de acuerdo también a la zona geográfica donde se lleve a cabo el cultivo (Vázquez et al., 2005).

2.5. Preparaciones y procesamiento del plátano

El plátano alrededor del mundo es un alimento que tiene una gran diversidad de métodos de preparación y procesamiento, se consume en cualquier estado de madurez dependiendo de la preparación que se vaya a realizar (Vargas, 2012). El método de fritura, donde el aceite debe estar a una temperatura entre 150°C a 180°C y por inmersión en un medio graso se realiza este proceso térmico, obteniendo preparaciones tales como chips, tajadas y patacones (Vargas, 2012). El hervido es otro método usualmente utilizado en el plátano, por el que al sumergir el plátano en agua en ebullición durante un tiempo determinado se logra obtener un alimento que usualmente se acompaña de salsas, en sopas o como guarnición de algún plato tradicional (Vargas, 2012). Se encuentra también la cocción al vapor, donde se hace necesario el utensilio adecuado para que por medio del vapor se logre realizar una cocción que la mayoría de las veces tiene como objetivo servir de guarnición en diversos plátanos (Nieto, 2014). Por último, está el método de asado, que se basa en exponer el plátano a una fuente

de calor como el fuego, la plancha, el horno o parrilla con un mínimo de grasa (Nieto, 2014), que suele consumirse como guarnición.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, distintas instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Latinoamericano y del Caribe de Información en Ciencias de la Salud (BIREME), han llamado la atención en torno a la deficiencia de vitamina A (OMS et al., 2020). Dentro de este marco, la OMS (2019) ha identificado que este problema de salud pública afecta alrededor de 190 millones de niños entre cinco y doce años. Adicionalmente, aproximadamente 19 millones de mujeres gestantes han sido diagnosticadas con esta deficiencia (OMS, 2011). En Colombia, por ejemplo, la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional (ENSIN) realizada por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) (2015), indicó que la prevalencia de deficiencia subclínica de vitamina A fue del 27,3% en niños de uno a cuatro años a nivel nacional. La vitamina A es un grupo de compuestos liposolubles que incluyen el retinol, retinal, ácido retinoico y ésteres de retinol. Se encuentra en alimentos de origen animal como la carne, huevos y productos lácteos, principalmente como ésteres de retinol (Dávila, 2019). Entre tanto, dentro del grupo de los carotenoides, tres de ellos son actualmente aceptados como pro-vitamina A (β -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina) y se encuentran en algunos alimentos de origen vegetal, como la zanahoria, el plátano, el tomate y los cítricos (Dávila, 2019).

Para hacer frente a la deficiencia de vitamina A, entidades como la UNICEF (2015) y el Ministerio de salud (2015) han propuesto la diversificación dietética como una de las estrategias a promover a nivel internacional y nacional, respectivamente. Así, se busca identificar alimentos que sean parte de la dieta diaria de las poblaciones afectadas y profundizar en su aporte de vitamina A activa y preformada, así como en las formas más usuales de preparación, cocción y consumo en general. Para esto, se debe tener en cuenta la importancia nutricional de algunos alimentos de origen vegetal, ya que tienen una mayor facilidad para el acceso tanto económico como de disponibilidad en las poblaciones que presentan mayor deficiencia de vitamina A (UNICEF, 2015). Considerando la diversificación dietética y el impacto de la deficiencia de vitamina A en países en vías de desarrollo, sería adecuado la selección de un alimento que sea consumido masivamente y producido a nivel mundial, que pueda ser de ayuda para mitigar la deficiencia de vitamina A debido a su contenido de carotenoides pro-vitamina A.

Entre estos alimentos, se destacan los bananos (*Musa spp.*), grupo en donde están incluidos los plátanos (*Musa paradisiaca*). Dado que son un alimento de consumo habitual y el cuarto cultivo alimentario más importante a nivel mundial, después del arroz, el trigo y el maíz, que se cultiva en zonas tropicales, constituye un alimento de gran relevancia para la economía de muchos países que se encuentran en vías de desarrollo (FAO, 2002). Si bien este análisis sugiere que el plátano puede llegar a ser una alternativa para mitigar la deficiencia de vitamina A, esta estimación puede verse afectada por el método de cocción que preceda su consumo ya que, según Nieto (2014), los procesos térmicos inducen cambios fisicoquímicos en los alimentos que, mediados por la transferencia de calor, mejoran su palatabilidad y reducen un posible recuento inicial de microorganismos como bacterias, hongos y levaduras y por supuesto, afectan el contenido de nutrientes termosensibles como los carotenoides pro-vitamina A. Así pues, como consecuencia de estos procesos térmicos, ocurrirán cambios a nivel estructural en la matriz del alimento que involucran la liberación de carotenoides pro-vitamina A al igual que procesos de oxidación e isomerización que se dan como consecuencia de las reacciones involucradas en los procesos térmicos (Díaz et al., 2017).

Las afirmaciones anteriores sugieren, entonces, la importancia de realizar una revisión de literatura acerca de los cambios que pueden ocurrir en el plátano con relación a su contenido de carotenoides pro-vitamina A, una vez este alimento pasa por un proceso de cocción. Para esto, se debe tener en cuenta el desarrollo fisiológico que tiene el plátano y los procesos fisicoquímicos involucrados durante el proceso de maduración como la carotenogénesis (biosíntesis de los carotenoides). De este modo, la realización de esta revisión no sólo permitirá tener un acercamiento a los hallazgos reportados en la literatura científica sobre dichos cambios fisicoquímicos durante la maduración, relacionados con el contenido de carotenoides pro-vitamina A, sino que también se discutirán distintos factores a considerar en busca de un aprovechamiento óptimo que contribuya a mitigar la deficiencia de la vitamina A. Se plantea entonces la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es efecto de la cocción sobre la concentración de carotenoides pro-vitamina A del plátano en diferentes estados de maduración?

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Documentar el efecto de la cocción sobre la concentración de carotenoides pro-vitamina A del plátano (*Musa paradisiaca*) en diferentes estados de maduración.

4.2. Objetivos específicos

- ❖ Establecer la relación entre los cambios fisicoquímicos asociados a las diferentes etapas de la maduración del plátano y su contenido de carotenoides pro-vitamina A.
- ❖ Describir la retención de los carotenoides pro-vitamina A del plátano luego de ser sometido a métodos de cocción en medio húmedo y seco.

5. METODOLOGÍA

5.1. Diseño de la investigación

Este trabajo de grado corresponde a una revisión de la literatura de carácter descriptivo.

5.2. Población y muestra

Artículos científicos, tesis y libros con una ventana de tiempo de publicación de veinte años (2000-2020) en los que se describan los cambios en el contenido de carotenoides pro-vitamina A a causa de la maduración y la cocción del plátano.

5.3. Búsqueda y selección de la población

La búsqueda bibliográfica se realizó por medio de las bases de datos Scopus, SINAB, ScienceDirect, Google Scholar y Web of Science.

5.3.1. Estrategia de búsqueda

Los términos claves que se utilizaron en el proceso de búsqueda fueron agrupados según la temática, idioma y sinónimos presentados en el Anexo 2 y, posteriormente, se hizo un cruce de palabras para buscar la cadena de búsqueda como se presenta en el Anexo 1.

5.3.2. Criterios de inclusión

Los siguientes criterios se tuvieron en cuenta para la elección de los artículos:

- Publicaciones en inglés o español.
- Estudios con fecha de publicación entre los años 2000 y 2020.
- Artículos donde el alimento investigado haya sido el plátano y se reporte el contenido de carotenoides pro-vitamina A en distintas etapas de la maduración.

- Publicaciones en donde se aplique cualquier tipo de cocción sobre el platano.
- Artículos que en su título o resumen tengan alguna(s) de la(s) palabra(s) clave.

Como desarrollo de la metodología propuesta, se identificaron 24 artículos, tesis y libros en las bases de datos, así: ocho documentos en Scopus, ocho documentos en Science Direct, tres documentos en SINAB, dos documentos en Web of Science y tres documentos en buscador Google Scholar. Posteriormente, se eliminaron 9 de los trabajos debido a que no cumplían con los criterios de inclusión y se seleccionaron 15 artículos para la revisión de literatura.

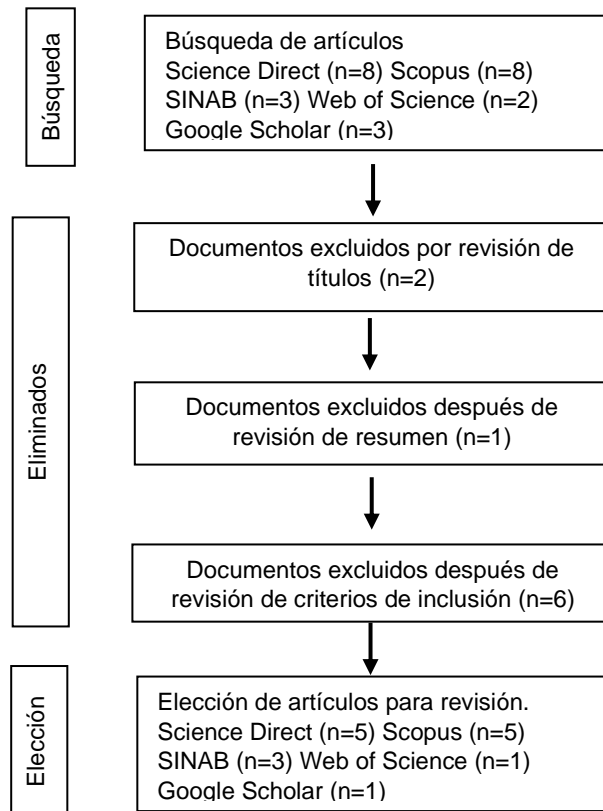


Figura 2. Diagrama de flujo de la selección de artículos para la revisión de literatura.








6. RESULTADOS

6.1. El proceso de maduración del plátano en el contenido de carotenoides pro-vitamina A.

La maduración del plátano es la fase final de su desarrollo fisiológico, donde se llevan a cabo diversos procesos fisicoquímicos que ocurren en el fruto y llevan a determinar su calidad y aceptabilidad para el consumo. Entre los cambios fisicoquímicos más importantes están los cambios de respiración que va de acuerdo a la producción de la fitohormona del etileno, la cual se encarga de controlar el proceso de maduración del fruto y la activación de los genes para la activación del proceso de carotenogénesis, determinando de esta manera cambios en el color, aumentos de los grados Brix por la degradación de carbohidratos y aumento del pH a medida que avanza el proceso de maduración. Al ser el plátano (*Musa spp.*) un fruto climatérico, es decir, un fruto con la capacidad de madurar después de la cosecha, su desarrollo fisiológico está mediado por tres etapas de maduración: La etapa pre-climatérica es el estado anterior a la generación auto catalítica, donde el etileno controla e induce la reacción sobre sí mismo y durante esta etapa, el pericarpio del fruto es de color verde debido a la acumulación de clorofilas (Adi et al., 2019). La etapa climatérica se caracteriza, según Arias Velázquez et al. (2007), porque el ritmo respiratorio aumenta rápidamente. La etapa de la senescencia se caracteriza por el deterioro de la membrana celular y la muerte celular (Martínez et al., 2017).

El cambio de color del plátano se da por la degradación de la clorofila y el incremento de la síntesis de pigmentos como los carotenoides (carotenogénesis) (Barrera et al, 2010). En tabla 1, se hace referencia a la relación del color del pericarpio con el estado de maduración. Para esto, se adoptó la escala extendida BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie), la cual se basa en la codificación homogénea de plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas para poder caracterizar los diferentes estadios de maduración de los principales cultivos del plátano, de acuerdo con el color del pericarpio (Medina Sánchez-Valladares, 2005).

Tabla 1. Escala de maduración fisiológica del plátano

Imagen	Estado de maduración	Color característico del pericarpio	Maduración fisiológica
	1	Verde oscuro	Pre-climatérica
	2	Verde claro 100%	Pre-climatérica
	3	70% verde, 30% amarillo	Inicio climatérico
	4	50% amarillo, 50% verde	Climatérica
	5	70% amarillo, 30% verde	Climatérica
	6	100% amarillo	Climatérica
	7	100% amarillo con manchas negras	Senescencia

Nota: Adaptada de (Barrera et al., 2011), (Chandra et al., 2020) & (Adi, Oduro, & Tortoe, 2019).

La carotenogénesis según Nisar et al. (2015) hace referencia a la biosíntesis de carotenoides; que ocurre en los cloroplastos que también contienen clorofila. A medida que avanza la maduración del fruto, la clorofila se degrada ocurriendo la diferenciación de cloroplastos a cromoplastos, en donde se sintetizan los carotenoides. Estos carotenoides se almacenan en los plastoglóbulos que se localizan en el estroma del cromoplasto (Nisar et al., 2015). La biosíntesis de carotenoides comienza entonces con la condensación de dos moléculas de GGPP (2-geranil difosfato) en el estroma del cromoplasto por medio de la enzima fitoeno sintasa (PSY), para formar 15-*cis*-fitoeno (ver figura 3).

Por medio de las enzimas fitoeno desaturasa (PDS) y ζ -caroteno desaturasa (ZDS) se catalizan dos reacciones de deshidrogenación que convierten el 15-*cis*-fitoeno en 7,7',9,9'-tetra-*cis*-licopeno. Ambas enzimas están codificadas por genes de copia única en el tomate,

uva y *Arabidopsis* (género de plantas). Posteriormente, este producto se desatura por la enzima PDS (fitoeno saturasa), generando 9,9'-di-*cis*- ζ -caroteno y desencadenando una última desaturación por medio de la enzima ZDS (caroteno desaturasa), que da como resultado el 7,7',9,9'-tetra-*cis*-licopeno (Badejo, 2018). Posteriormente, al isomerizarse este último con la enzima CrtISO (caroteno isomerasa) se da lugar al principal precursor all-*trans*-licopeno, el cual despliega dos posibles rutas (Badejo, 2018). Un primer camino inicia con la enzima LCY-e (e-licopeno ciclasa) que produce los carotenoides all-*trans*- δ -caroteno y all-*trans*- α -caroteno, este último sintetizado por medio de la enzima LCY-b. Esto da como producto la zianoxantina a través de la enzima CHY1/CHY2, que luego da lugar a la luteína mediante la enzima CYP97C. Un segundo camino se da por medio de la enzima LCY-b (β -licopeno ciclasa) que produce el all-*trans*- β -caroteno, que con la enzima CHY1/CHY2 da como producto la all-*trans*- β -criptoxantina. De nuevo, por medio de la enzima CHY1/CHY se obtiene la zeaxantina que con la ayuda de la enzima ZEP, genera la violaxantina y por último, por medio de la enzima NXS se produce 9-*cis*-neoxantina como se ve en la figura 3 (Badejo, 2018).

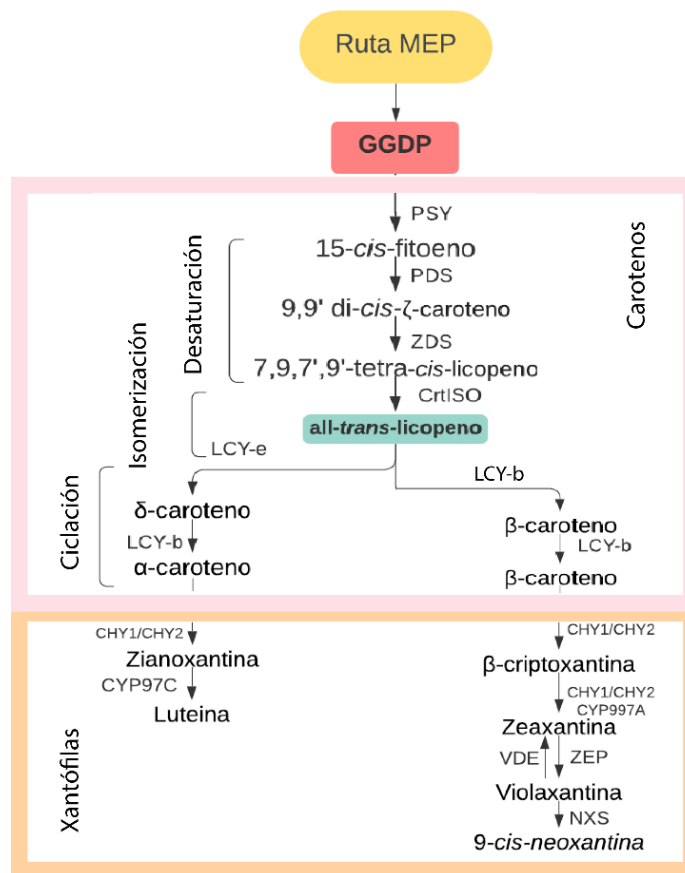


Figura 3. Ruta biosintética de los carotenoides en frutos climatéricos. Adaptada de (Badejo, 2018)

6.1.1. Estudios en grupos genómicos del plátano provenientes África Central

En la República Democrática del Congo, el estudio realizado por Blomme et al. (2020) con 48 diferentes variedades de la especie cultivadas de plátanos (*Musa AAB*) evidenció que el contenido total de carotenoides pro-vitamina A (pVACs, que representa la suma del contenido de all-*trans*- β -caroteno, all-*trans*- α -caroteno y all-*cis*- β -caroteno) en las variedades de la especie cultivadas Akobanzi y Musilongo, inició entre 12,4 y 37,4 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro) y luego se incrementó hasta 175 y 1756 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en la etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) de maduración. Así mismo, los autores observaron aumentos similares en todas las demás variedades de la especie cultivadas del estudio, así: en la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro), se registraron concentraciones entre 3,4 y 548,2 $\mu\text{g}/100\text{g}$ y en la etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde), aumentaron estos valores hasta registrarse cifras entre 262,5 y 1756,1 $\mu\text{g}/100\text{g}$, dependiendo de la variedad de la especie cultivada. Blomme et al. (2020) atribuyeron estos resultados al proceso de carotenogénesis, enfatizando en que la etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) presenta el contenido más alto de pVACs especialmente, all *trans*- β -caroteno.

La retención de pVACs en el plátano fue estudiada también por Ekesa et al. (2015) en la República Democrática del Congo con cuatro variedades de la especie cultivadas del plátano. De manera análoga al estudio presentado hasta el momento, los experimentos realizados evidenciaron que todas las variedades de la especie cultivadas tuvieron un incremento en el contenido total de pVACs desde la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro), con valores entre 1098 y 4680 $\mu\text{g}/100\text{g}$, hasta un marcado aumento en la etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) con valores de 1675-10633 $\mu\text{g}/100\text{g}$. La proporción del all-*trans*- β -caroteno en relación con los otros pVACs del plátano después de la maduración fisiológica, se incrementó desde un 49,4% en la etapa donde el pericarpio es verde oscuro hasta un 63,5% en la etapa donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde.

En otros experimentos llevados a cabo en el mismo país por Ekesa et al. (2012) con dos variedades de la especie cultivadas representativos del grupo genómico AAB (Musilongo y Musheba), se observó un aumento en la cantidad promedio de pVACs a lo largo de la maduración. En las variedades de la especie cultivadas Musilongo y Musheba se obtuvo en la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro), concentraciones de 1509,8 y 390,8 $\mu\text{g}/100\text{g}$ respectivamente, en la etapa tres (inicio el periodo climatérico) valores de 1873 y 1246,6 $\mu\text{g}/100\text{g}$, respectivamente. Finalmente, en la etapa siete (donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras) valores de 1449,5 y 637 $\mu\text{g}/100\text{g}$, respectivamente, como se

puede observar en la tabla 2. Al respecto, se evidenció un predominio en el contenido promedio de pVACs en la tercera etapa. Adicionalmente, según el estudio, hubo mayor concentración de all-*trans*-β-caroteno y all-*trans*-α-caroteno con relación a otros carotenoides, que en suma representan alrededor del 90% del total de pVACs en las dos variedades de la especie cultivada estudiados.

Ekesa et al. (2012) analizaron también dos variedades de la especie cultivadas de plátano representativos del grupo genómico AAA (Vulambya y Nshikazi). En específico, se observó, en la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro) de maduración, una cantidad promedio de pVACs de 569,9 µg/100g para Vulambya y 534,6 µg/100g para Nshikazi, luego un aumento en la etapa tres (inicio climatérico) hasta 1112,8 µg/100g en Vulambya y 757,8 µg/100g en Nshikazi. Finalmente se registró una disminución en la etapa siete (donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras) al encontrar concentraciones de pVACs de 919,3 µg/100g para Vulambya y 782,8 µg/100g para Nshikazi. El contenido de pVACs en cada etapa de maduración para cada variedad de plátano analizada se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Contenido de pVACs en cuatro variedades de la especie cultivadas de plátano en tres estados de maduración

Etapa de maduración	Contenido de pVACs (µg/100g)			
	Musilongo	Musheba	Vulambya	Nshikazi
1	1509,8	390,8	569,9	534,6
3	1873,0	1246,6	1112,8	757,4
7	1449,5	637,4	919,3	782,8

Nota: pVACs (Carotenoides pro-vitamina A). Adaptado de (B. N. Ekesa et al., 2012).

En otro estudio realizado en Camerún y Gabón, realizado por Udomkun et al. (2020) analizó 16 muestras de tres variedades de la especie cultivadas en las etapas de maduración uno (donde el pericarpio es verde oscuro), cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) y siete (donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras). A partir de estas muestras, los investigadores determinaron la variabilidad en el contenido de pVACs así: en la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro), se observaron concentraciones entre 2080 y 2210 µg/100g, en la etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) aumentó su concentración hasta valores entre 10120 y 10600 µg/100g, seguido de la etapa siete (donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras), en donde hubo una disminución hasta registrar concentraciones entre 6650 y 9360 µg/100g. Con relación a la proporción de cada carotenoide, se registró una distribución en general del all-*trans*-α-caroteno (45,5%), seguido

por el all-*trans*- β -caroteno (25,3%), 13-*cis*- β -caroteno (14,1%), luteína (12,5%) y 9-*cis*- β -caroteno (2,6%).

6.1.2. Estudios en grupos genómicos del plátano provenientes de América Latina

En esta región del mundo es notable la baja cantidad de estudios encontrados alrededor de esta temática. Sin embargo, se rescata el estudio reciente hecho en Brasil por Borges et al. (2019) tuvo en cuenta seis variedades de la especie cultivadas de plátanos tipo AAB y se establecieron diferencias entre los valores reportados de pVACs en los estados de maduración. En la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro), se reportaron valores entre 610 y 1729 $\mu\text{g}/100\text{g}$, luego hubo un aumento en la etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) hasta valores entre 1682 y 2719 $\mu\text{g}/100\text{g}$ y finalmente, una disminución en la etapa siete (donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras), encontrando valores entre 811 y 1619 $\mu\text{g}/100\text{g}$. En dicho estudio, también se tuvieron en cuenta 7 variedades de la especie cultivadas de plátanos tipo ABB y se pudo observar que en la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro), el rango de concentraciones de pVACs estuvo entre 12 y 112 $\mu\text{g}/100\text{g}$. Posteriormente, en la etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde), se observó un aumento hasta concentraciones entre 16 y 1649 $\mu\text{g}/100\text{g}$ y finalmente, una disminución en la etapa siete (donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras), con valores entre 122 y 978 $\mu\text{g}/100\text{g}$. En este grupo genómico, al igual que en el AAB, se mostró el mayor contenido total de pVACs en la etapa 5 (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) de maduración del plátano.

De acuerdo con los estudios reportados en las secciones anteriores, en esta subsección, en la tabla 3 se presentan, los rangos del contenido total promedio de pVACs de las diferentes variedades de la especie cultivadas de plátano descritas en las diferentes publicaciones. Se clasificaron de acuerdo con el grupo genómico y el estado de maduración entre uno (donde el pericarpio es verde oscuro), tres (inicio climatérico), cinco (climatérico) y siete (donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras).

Tabla 3. Contenido promedio de pVACs en tres grupos genómicos de plátano reportados según su etapa de maduración.

Grupo genómico	Etapas de maduración pVACs ($\mu\text{g}/100\text{g}$)				Artículo
	1	3	5	7	
AAB	2080-2210	ND	10120-10600	6650-9360	(Udomkun et al., 2020)
AAB	610-1729	ND	1682-2719	811-1619	(Borges et al., 2019)
AAB	1098-4680	ND	1675-10633	ND	(Ekesa et al., 2012)
AAB	3,4-548,2	ND	262,5-1756,1	ND	(Blomme et al., 2020)
AAB	390,8–1509,8	984-1311	ND	637-1449	(Ekesa et al., 2012)
ABB	12-112	ND	16-1649	122-978	(Borges et al., 2019)
AAA	534-569	629-939	ND	782-919	(Ekesa et al., 2012)

Nota: pVACs (carotenoides pro-vitamina A). ND (No Data) Adaptado de (Udomkun et al., 2020), (Borges et al., 2019), (Ekesa et al., 2012), (Blomme et al., 2020).

6.2. Efecto de métodos de cocción en la retención de carotenoides en el plátano.

Mbabazi et al. (2020) establecieron que el efecto en el contenido de pVACs en este alimento al pasar por un proceso de cocción, depende de varios factores: los valores iniciales de concentración de carotenoides pro-vitamina A, la temperatura, el tiempo del proceso térmico y la composición de la matriz del alimento. Por esta razón, se muestran a continuación en las tablas 4 y 5 los estudios más relevantes concernientes a la influencia de distintos mecanismos de transferencia de calor con sus correspondientes métodos de cocción (al vapor, el hervido, la fritura, asado y microondas) en el contenido de pVACs en el plátano.

Tabla 4. Alteraciones de pVACs del plátano al pasar por un proceso de cocción.

Variedad de la especie cultivada	Método de cocción	País	Referencia	Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Valores de pVACs después de cocción (µg/100g)	Valores de pVACs iniciales (µg/100g)	% de retención
D' Angola	Hervir con pericarpio	República Democrática del Congo	(Borges et al., 2019)	100	10	2025,6	1531	100%
D' Angola	Hervir sin pericarpio	República Democrática del Congo	(Borges et al., 2019)	100	10	1341,2	1531	87%
Musilongo	Hervir con o sin pericarpio	África	(Ekesa et al., 2012)	85	15	1160	531	100%
Pelipita	Microondas sin pericarpio	República Democrática del Congo	Borges et al. (2019)	ND	2	1673,3	1558,9	100%
D' Angola	Microondas sin pericarpio	República Democrática del Congo	(Borges et al., 2019)	ND	2	1387,9	1531	91%
Pelipita	Microondas con pericarpio	República Democrática del Congo	(Borges et al., 2019)	ND	2	807,6	1558,9	52%
D' Angola	Microondas con pericarpio	República Democrática del Congo	(Borges et al., 2019)	ND	2	530,2	1531	35%
4 variedades de la especie cultivadas	Fritura en aceite de palma	África	(Ekesa et al., 2012)	170	2	721,69	153,3	100%
4 variedades de la especie cultivadas	Fritura en aceite vegetal	África	(Ekesa et al., 2012)	170	2	388,76	153,3	100%

Nota: Carotenoides pro-vitamina A (pVACs), No Data (ND)

Tabla 5. Alteraciones de all-trans- β -caroteno del plátano al pasar por cocción.

Variedad de la especie cultivada	Método de cocción	País	Referencia	Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Valores de all-trans- β -caroteno después de cocción ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	Valores de all-trans- β -caroteno iniciales ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	% de retención
Abgaba	Hervido, donde el pericarpio es verde oscuro	África Central	Baiyeri et al. (2011)	100	30	4,6	7,1	65%
Abgaba	Hervido, inicio climatérico	África Central	Baiyeri et al. (2011)	100	30	12,5	13,3	94%
Abgaba	Hervido, donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas	África Central	Baiyeri et al. (2011)	100	30	10,3	6,1	100%
Abgaba	Al vapor, donde el pericarpio es verde oscuro	África Central	Baiyeri et al. (2011)	100	30	15,9	7,1	100%
Abgaba	Al vapor, inicio climatérico	África Central	Baiyeri et al. (2011)	100	30	11,8	13,3	89%
Abgaba	Al vapor, donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas	África Central	Baiyeri et al. (2011)	100	30	10,8	6,1	100%
Abgaba	Asado, donde el pericarpio es verde oscuro	África Central	Baiyeri et al. (2011)	ND	ND	6,6	7,1	92%
Abgaba	Asado, inicio climatérico	África Central	Baiyeri et al. (2011)	ND	ND	17,9	13,3	100%
Abgaba	Asado, donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas	África Central	Baiyeri et al. (2011)	ND	ND	9,6	6,1	100%

Nota: No Data (ND)

6.2.1. Hervido y cocción al vapor

Borges et al. (2019) sometieron la variedad de la especie cultivada D'Angola con y sin pericarpio en etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) cortado en rodajas, al método de cocción de hervido durante diez minutos a una temperatura de 100 °C. Estos experimentos partieron de un valor inicial de pVACs de 1531 µg/100g y al someterlo con pericarpio al método de hervido con los parámetros de tiempo y temperatura descritos anteriormente, se registró un aumento en los valores de pVACs a 2025,6 µg/100g con una retención de del 100%. Por el contrario, al hervir esta variedad del plátano en iguales condiciones, pero sin pericarpio, el valor de pVACs disminuyó a 1341,2 µg/100g con un 88% de retención. Esto se puede deber a la protección que ejerce el pericarpio en el momento de la cocción favoreciendo el mesocarpio y a la deshidratación que se da a causa del método de cocción aplicado en el plátano, el cual puede favorecer a que los solutos se encuentren más concentrados. Considerando otra perspectiva, en la investigación llevada a cabo en Costa Rica por Monge-Rojas & Campos (2011), se evaluaron las concentraciones de carotenoides en plátanos en etapas uno (donde el pericarpio es verde oscuro) y cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) de maduración, después de hervirlos por 15 minutos a 65,6 °C, en cortes mirepoix (cubos homogenizados de 1 cm a 1,5 cm). En este estudio a la temperatura y tiempo mencionado anteriormente, se evaluó la concentración del all-*trans*-β-caroteno y se determinó un contenido inicial de 192 µg/100g en la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro), mientras que en la etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde), aumentó a 644 µg/100g.

El estudio de Ekesa et al. (2012) tomó cortes en rodajas homogeneizadas de las variaciones de plátano Musilongo y Vulambya (variedades de la especie cultivadas reconocidas en África) en etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde). Posteriormente, sometieron las muestras a hervido durante 15 minutos a 85° C. La variedad de la especie cultivada Musilongo presentó un valor inicial de 531 µg/100g y al hervirlo, el contenido total de pVACs aumentó hasta 1160 µg/100g independientemente de si el fruto se cocinara con y sin pericarpio. En contraste, para la variedad de la especie cultivada Vulambya, se reportó un total de pVACs (al hervirlo con pericarpio) de 3900 µg/100g, mientras que, sin pericarpio, su valor de pVACs fue menor (3320 µg/100g) debido a la protección que brinda el pericarpio a la parte interna del fruto (mesocarpio). Para comprender la relación entre la etapa de maduración y los procesos de cocción citados, de acuerdo con Baiyeri et al. (2011), en la tabla 6 se compara la influencia de los métodos de cocción de hervido y al vapor en el variedad de la especie cultivada del plátano Abgaba, en distintas etapas de maduración.

Tabla 6. Contenido de *all-trans-β-caroteno* en el plátano después de ser sometido a diferentes condiciones de cocción

Etapa de maduración	Método de cocción		
	En crudo	Hervido 30 minutos 100° C	Al vapor 30 minutos 100° C
1	7,1	4,6	15,9
3	13,3	12,55	11,8
6	6,1	10,3	10,8

Nota: Las unidades del contenido de *all-trans-β-caroteno* se presentan en µg/100g.
Adaptado de (Baiyeri et al., 2011)

A partir de los datos presentados en la tabla 6, los autores concluyeron que, aunque el contenido de *all-trans-β-caroteno* en crudo fue de 7,1 µg/100g (en la etapa donde el pericarpio es verde oscuro), aumentó a 13,3 µg/100g en la etapa tres (inicio climatérico) y en la etapa seis, llegando a donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras, fue de 6,1 µg/100g. Al aplicar el método de cocción de hervido a 100°C durante 30 minutos en la etapa donde el pericarpio es verde oscuro se registró un contenido de *all-trans-β-caroteno* de 4,6 µg/100g con un 61% de retención, en la etapa inicio de climatérico, de 12,55 µg/100g con una retención de 94% y en la etapa seis, llegando a la donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras, de 10,3 µg/100g con retención del 100%. En el método de cocción al vapor a 100°C durante 30 minutos, en la etapa donde el pericarpio es verde oscuro fue de 15,9 µg/100g con retención del 100%, en la etapa donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde fue de 11,8 µg/100g con retención del 89% y en el inicio de la donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras 10,8 µg/100g con retención del 100%. Lo anterior, afirman los autores, puede darse debido a pérdidas por lixiviación a través del agua utilizada como medio de cocción en el método de hervido (Baiyeri et al., 2011).

Como argumento adicional a lo explicado anteriormente, Mbabazi et al. (2020) afirman que los tratamientos térmicos de hervido y cocción al vapor tuvieron un impacto negativo en los niveles de carotenoides en el plátano. Al respecto, siendo la retención una medida de los niveles de carotenoides pro-vitamina que quedan en el alimento después de su procesamiento y que por tanto, comienzan en 100% antes de la cocción, los autores reportan que al someter el plátano al método de hervido, según el variedad de la especie cultivada, se encontró una retención final entre 55,4% a 93,9%, mientras que, al someter este mismo alimento al método de cocción al vapor, los niveles de retención finales se encontraron entre 57,3% y 79,6%.

6.2.2. Fritura

El estudio realizado por Ekesa et al. (2012) ilustra los efectos de la fritura sobre la concentración de pVACs en el cultivar del plátano Musilongo al utilizar aceite de palma o vegetal a 170°C durante dos minutos. Partiendo de un valor de pVACs en crudo de 153,30 µg/100g, al fritarlo en aceite de palma se observó un aumento de pVACs a 721,69 µg/100g y en aceite vegetal se observó igualmente un aumento a 388,76 µg/100g con retención del 100%. De manera similar, Inocent et al. (2011) sometieron muestras de plátano en etapas uno (donde el pericarpio es verde oscuro) y cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) de maduración al método de cocción al vapor durante 15 minutos con agua en ebullición a 100°C y otras muestras a fritura con aceite de palma a 150 °C durante 5 minutos. Al aplicar el método de hervido, el resultado fue una retención de *all-trans-β*-caroteno de plátano del 97% en etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro) y de 93% en etapa cinco (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde), mientras que, tras aplicar el método de fritura, la retención fue de 54% en etapa donde el pericarpio es verde oscuro y de 42% en etapa donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde, evidenciando que las mayores retenciones se observan tras aplicar el método de hervido en el estado de maduración uno (donde el pericarpio es verde oscuro).

Para finalizar, en el estudio de Rojas-Gonzalez et al. (2006), se evaluó el método de cocción de fritura en el plátano en etapa dos (donde el pericarpio es verde claro) de maduración y se encontró que la mayor retención de *all-trans-β*-caroteno y *all-trans-α*-caroteno fue al hacer la fritura a 180°C durante 4 minutos, con un promedio de retención de estos carotenoides del 96%, seguido de la fritura a 140°C durante 13 minutos, con una retención del 95%, seguido de la fritura a 160°C durante 7 minutos, con una retención del 93%. Por último, cuando se realizó una fritura a 120°C durante 24 minutos, se observó una retención del 73%, dejando ver que, a mayor temperatura y menor tiempo de fritura, se logra alcanzar una mayor retención de *all-trans-β*-caroteno y *all-trans-α*-caroteno. En otro estudio, realizado por Avallone et al. (2009), se experimentó con la realización de tajadas con plátanos en etapa dos (donde el pericarpio es verde oscuro) de maduración y se sometió el alimento dos veces a fritura. Al respecto, se evidenció que, tras la primera fritura, hubo una retención de *all-trans-β*-caroteno y *all-trans-α*-caroteno del 35%, mientras que, en el segundo ciclo de fritura, la retención de estos carotenoides disminuyó aproximadamente hasta el 16%.

6.2.3. Asado

De acuerdo con Baiyeri et al. (2011), al someter la variedad de plátano cultivada Agbagba (típica en la zona oeste y central de África), en diferentes estados de maduración al método de cocción por asado, cortando el alimento en rodajas el tiempo necesario hasta que estuviera apto para el consumo con una textura adecuada al tacto, se obtuvieron resultados favorables ya que no se reportaron pérdidas de *all-trans-β-caroteno* en etapas uno (donde el pericarpio es verde oscuro), tres (donde el pericarpio es 70% verde, 30% amarillo) y seis (donde el pericarpio es 100% amarillo), como se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Contenido de *all-trans-β-caroteno* en el plátano tras el método de asado

Etapa de maduración	En crudo	Asado
1	7,1	6,6
3	13,3	17,9
6	6,1	9,6

Nota: Las unidades del contenido de *all-trans-β-caroteno* se presentan en $\mu\text{g}/100\text{g}$. Adaptado de (Baiyeri et al., 2011)

6.2.4. Microondas

En el estudio realizado por Borges et al. (2019), se sometió una muestra de dos tipos de plátano (Pelipita y D'angola) con y sin pericarpio al método de cocción por microondas, utilizando un horno de tipo comercial a máxima potencia (1100 W) durante 2 minutos. La geometría de las muestras con pericarpio involucró utilizar el plátano entero. En crudo, el valor de pVACs en el plátano Pelipita fue de 1558,9 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en estado de maduración cinco (climatérico) y al aplicar el método de microondas a la muestra sin pericarpio, se evidenció que el valor de pVACs aumentó a 1673,3 $\mu\text{g}/100\text{g}$ con retención del 100%, mientras que, con pericarpio, el valor de pVACs disminuyó a 807,6 $\mu\text{g}/100\text{g}$ con retención del 52%. Por otro lado, el plátano D'angola, en crudo, presentó valores de pVACs de 1531 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en etapa donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde y al someterlo al método de microondas con pericarpio, disminuyó a 530,2 $\mu\text{g}/100\text{g}$ con una retención del 34%, mientras que, sin pericarpio, la disminución fue a 1387,9 $\mu\text{g}/100\text{g}$ con una retención del 91%. De lo anterior, se puede inferir que la mejor forma (en términos de mayor contenido de pVACs) de cocinar el plátano en microondas es sin pericarpio, con una mínima pérdida para el caso de D'angola y un favorecimiento en el plátano Pelipita, aumentando a 1672,3 $\mu\text{g}/100\text{g}$ de pVACs tras aplicar el método de cocción.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. El proceso de maduración del plátano en el contenido de carotenoides pro-vitamina A

Con el fin de describir el proceso de maduración del plátano, se empezó por describir algunos cambios fisicoquímicos asociados al proceso de maduración del plátano. En la primera etapa, correspondiente al periodo pre-climatérico, se puede partir del color verde oscuro característico del pericarpio, correspondiente a la presencia de cloroplastos con altos contenidos de clorofila y una baja presencia de carotenoides. Esta deducción se puede ver sustentada a partir de la tabla 1, pues al reportar la relación entre las etapas de maduración y el contenido de (pVACs) en distintos grupos genómicos de *Musa paradisiaca* como AAB, ABB y AAA, es notable que el menor contenido de pVACs se encuentra en la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro), con un rango de concentraciones de pVACs entre 3,4 y 4680 µg/100g. Luego, a medida que inicia la etapa donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde, la clorofila se va degradando gradualmente como consecuencia de la diferenciación de cloroplastos a cromoplastos, que es el organelo en donde se sintetizan los carotenoides. Finalmente, en la etapa de donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras (siete), los carotenoides empiezan a degradarse por distintos factores como la luz, la temperatura y también de forma natural.

Los rangos de contenidos de pVACs en las distintas etapas de maduración están determinados en este estudio por el grupo genómico y la variedad del plátano (variedad de la especie cultivada) en los estudios realizados en distintas partes del mundo, como se puede detallar en la tabla 2. Al respecto, Ekesa et al. (2012) realizaron un estudio con dos tipos de plátano (Musilongo AAB y Musheba AAB), en la variedad de la especie cultivada Musilongo en la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro) el valor fue de 1509,8 µg/100g, en la etapa tres (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde) fue de 1873,0 µg/100g y en la etapa siete (donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras) fue de 1449,5 µg/100g. En el otro caso, la variedad de la especie cultivada Musheba, tuvo en la etapa uno (donde el pericarpio es verde oscuro) una cantidad de 390,8 µg/100g, en la etapa tres (climatérico) una cantidad de 1246,6 µg/100g y en la etapa siete (donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras) una cantidad de 637,4 µg/100g. Lo anterior indica las diferencias existentes en el contenido de pVACs de acuerdo con el variedad de la especie cultivada, como lo afirma Borges et al. (2019). Del mismo estudio realizado por Ekesa et al. (2012), se analizaron las variedades de plátano Vulambya y Nshikazi del grupo genómico AAA, como se observa en la tabla 3, donde se puede evidenciar las diferencias que hay

dependiendo de la variedad de la especie cultivada. En este caso, la etapa tres (inicio climático), fue la etapa que evidenció una mayor cantidad de pVACs, con valores de 1112,8 µg/100g en la variedad Vulambya y de 757,4 µg/100g en la variedad Nshikasi.

7.2. Efecto de los métodos de cocción en la concentración de carotenoides en el plátano

Considerando que, para su consumo, el plátano pasa normalmente por un proceso de cocción, es importante analizar cómo estos procesos pueden afectar la retención de carotenoides en el fruto al desnaturalizar estructuras de organelos y las membranas de las células vegetales y por tanto alterar la matriz del alimento, por lo que al determinar el contenido de carotenoides en el laboratorio de un alimento en cocido, los solventes pueden extraer con mayor efectividad los carotenoides pudiendo obtenerse un mayor valor de pVACs del alimento. Comparando los métodos de hervido y cocción al vapor, en cuanto al contenido de *all-trans*-β-caroteno, según Baiyeri et al. (2011), el mejor método (que permite una mayor retención de pVACs) fue el de cocción al vapor, ya que aumentó el contenido de *all-trans*-β-caroteno del plátano en la etapa seis (donde el pericarpio es 70% amarillo, 30% verde), de 10,8 µg/100g con respecto a 6,1 µg/100g en crudo mientras que, durante el hervido, aumentó a 10,3 µg/100g con respecto a 6,1 µg/100g en crudo. A su vez, Mbabazi et al. (2020) afirman que, los métodos de cocción al vapor y hervido tuvieron impactos negativos (disminución) en la retención de los carotenoides, en promedio, en la cocción al vapor, la retención de carotenoides fue de un 57,3% a 79,6%, mientras que al hervir la retención fue de 55,4% a 93,9%. En este caso, el método de cocción al vapor favoreció la retención de carotenoides en comparación con el hervido, dado que el fruto no tiene contacto directo con un líquido (agua hirviendo) durante todo el proceso de cocción, pues la transferencia de calor se da por contacto con el vapor y, por tanto, no hay una pérdida de nutrientes por lixiviación en medio acuoso.

En el método de cocción por fritura, en el estudio de Rojas-González et al. (2006), se encontró que habían diferentes valores de retención de *all-trans*-β-caroteno y *all-trans*-α-caroteno, según la temperatura y el tiempo de fritura, dando como mejor resultado una fritura de 180°C durante 4 minutos, con una retención del 96%, mientras que, tras someter la muestra a una fritura a 120°C durante 24 minutos, la retención fue de 73%. Los resultados obtenidos permiten concluir que un menor tiempo y una mayor temperatura de cocción por fritura pueden deberse a la deshidratación del alimento, haciendo que se concentren más los solutos en este. Además, en el caso de la fritura, el tipo de aceite puede favorecer en mayor o menor medida la cantidad de carotenoides dependiendo de su composición, que en el caso el aceite de palma, incluye carotenoides como *all-trans*-β-caroteno y *all-trans*-α-caroteno que pueden ser

transferidos al plátano durante la fritura (Salimas & Pacheco-Delahaye, 2003). En el método de cocción por asado, los valores de all-*trans*- β -caroteno se evaluaron para el plátano en dos etapas distintas de maduración. Por una parte, en la etapa tres (climatérico) aumentó de tener 13,3 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en crudo a un total de 17,9 $\mu\text{g}/100\text{g}$ tras aplicar el método de asado. Por otra parte, en la etapa seis (donde el pericarpio es 100% amarillo con manchas negras) aumentó de tener 6,1 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en crudo a 9,6 $\mu\text{g}/100\text{g}$ después del asado. Estos resultados se relacionan con que, en este método de cocción, la transferencia de calor no se da a través de un medio líquido, sino a través del contacto directo entre el utensilio de cocción y el alimento, impidiendo la pérdida de nutrientes por lixiviación.

8. CONCLUSIONES

Esta revisión permitió describir el proceso de la carotenogénesis a lo largo de la maduración del plátano y cómo este proceso afecta el contenido de carotenoides pro-vitamina A, considerando las diferentes alteraciones fisicoquímicas que sufre el plátano como el color del pericarpio que también se relaciona con el color del mesocarpio o la parte comestible del plátano, los cambios de la producción del etileno que se encarga del paso de las distintas etapas de maduración del fruto, la textura, aroma y sabor. A partir de la revisión realizada en el presente documento, según los estudios experimentales que se han reportado, se pudo determinar que la etapa de la maduración con mayor contenido total de pVACs fue la etapa climatérica (con mayor concentración de all-*trans*- β -caroteno), donde también se da la mayor expresión sensorial y el color del pericarpio es aproximadamente 70% amarillo y 30% verde.

Se pudo establecer también que al someter el plátano al proceso de cocción en medio húmedo (hervido y al vapor) o en medio seco (fritura, asado o microondas), se generan en su mayoría alteraciones en el alimento que no favorecen la retención de carotenoides pro-vitamina A, llegando a establecer que la cocción en medio húmedo con el método de al vapor fue entre valores de 57,3% y 79,6% y hervido con valores de 55,4% a 93,9%. Adicionalmente, se pudo establecer que, en medio seco por el método de cocción por fritura, tuvo diferencias en la retención de los carotenoides pro-vitamina A al aplicar diferentes tiempos, temperaturas y tipos de aceite. Por ejemplo, al freír el plátano 180°C por 4 minutos la retención de carotenoides pro-vitamina A fue de 96%, mientras que al someter el plátano a 120°C por 24 minutos la retención fue de tan solo 73%.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda adelantar investigaciones que contribuyan a la caracterización del contenido de carotenoides pro-vitamina A de los diferentes cultivares y grupos genómicos del plátano, especialmente en los países donde su producción y consumo es masivo, ya que las condiciones climáticas de los territorios, el uso de fertilizantes en el cultivo, las prácticas agronómicas y las condiciones de almacenamiento propias de su cadena de producción, transporte y comercialización, pueden alterar el contenido de carotenoides pro-vitamina A en las distintas etapas de maduración del plátano.

Adicionalmente, los estudios relacionados con las enzimas y los genes involucrados en la carotenogénesis del plátano son escasos y se resalta la importancia de estudiar su evolución durante el proceso de maduración, con el fin de comprender en detalle los diferentes procesos bioquímicos involucrados en la maduración del plátano.

Se recomienda realizar estudios teóricos y experimentales ampliando en los métodos de cocción estudiados en esta revisión de la literatura, con el fin de hacer un mejor acercamiento a las pérdidas de carotenoides pro-vitamina A que puedan ocasionarse por almacenamiento y por efecto de la transferencia de calor, característica de los distintos métodos de cocción.

10. REFERENCIAS

- Adi, D. D., Oduro, I. N., & Tortoe, C. (2019). Physicochemical changes in plantain during normal storage ripening. *Scientific African*, 6, e00164.
<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00164>
- Avallone, S., Rojas-Gonzalez, J. A., Trystram, G., & Bohuon, P. (2009). Thermal sensitivity of some plantain micronutrients during deep-fat frying. *Journal of Food Science*, 74(5).
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01155.x>
- Badejo, A. A. (2018). Elevated carotenoids in staple crops: The biosynthesis, challenges and measures for target delivery. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16(2), 553–562. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.02.010>
- Baiyeri, K. P., Aba, S. C., Otitoju, G. T., & Mbah, O. B. (2011). The effects of ripening and cooking method on mineral and proximate composition of plantain (*Musa* sp. AAB cv. 'Agbagba') fruit pulp. *African Journal of Biotechnology*, 10(36), 6979–6984.
<https://doi.org/10.5897/AJB11.607>
- Barrera, J., Cardona, C., & Cayón, D. (2011). El cultivo de plátano (*Musa* AAB Simmonds): Ecofisiología y manejo cultural sostenible. En *Universidad de Córdoba - Editorial Zenú*. Recuperado de <https://editorialzenu.com/images/1467833541.pdf>
- Barrera V, J. L., Arrazola P, G. S., & Cayen S, D. G. (2010). Caracterización físico-química y fisiológica del proceso de maduración de plátano hartonn (*Musa* aab simmonds) en dos sistemas de producción. *Acta Agronomica; Vol. 59, nm. 1 (2010); 20-29* 2323-0118 0120-2812, 59(0120–2812), 20–29. Recuperado de http://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/13983
- Beatriz López, Laura Romina, A., Argibay, A., Barretto, L., Bettina, B., Brito, G., Chevallier, C., ... Wiedemann, A. (2020). *Manual práctico de nutrición: Hacia un estilo de vida saludable*. Autores de Argentina.
- Bergström, B. L. (1993). *Nutrient losses and gains in the preparation of foods*. Recuperado de http://www.fao.org/uploads/media/Bergstroem_1994_32_Livsmedelsverket_nutrient_losses_and_gains.pdf
- Blomme, G., Ocimati, W., Nabuuma, D., Sivirihauma, C., Davey, M., Buah, S., ... Ekesa, B. (2020). Pro-vitamin A carotenoid content of 48 plantain (*Musa* AAB genome) cultivars sourced from eastern Democratic Republic of Congo. *Journal of the Science of Food*

- and Agriculture*, 100(2), 634–647. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10058>
- Boon, C., McClements, J., Weiss, J., & Decker, E. (2010). Factors influencing the chemical stability of carotenoids in food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/https://doi-org.ezproxy.javeriana.edu.co/10.1080/10408390802565889>
- Borges, C. V., Minatel, I. O., Amorim, E. P., Belin, M. A. F., Gomez-Gomez, H. A., Correa, C. R., & Lima, G. P. P. (2019). Ripening and cooking processes influence the carotenoid content in bananas and plantains (*Musa* spp.). *Food Research International*, 124(April 2018), 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.022>
- Britton, G., Liaaen, S., & Pfander, H. (2008). Carotenoids. *Natural Functions Birkhäuser, Basel*, 4.
- Carranco, M., Calvo, M. de la C., Perez, F., & Romo, G. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 61. Recuperado de <https://www.alanrevista.org/ediciones/2011/3/art-1/>
- Chandra, R. D., Siswanti, C. A., Prihastyanti, M. N. U., Heriyanto, Limantara, L., & Brotosudarmo, T. H. P. (2020). Evaluating Provitamin A Carotenoids and Polar Metabolite Compositions during the Ripening Stages of the Agung Semeru Banana (*Musa paradisiaca* L. AAB). *International Journal of Food Science*, 2020, 9. <https://doi.org/10.1155/2020/8503923>
- Colle, I. J. P., Lemmens, L., Knockaert, G., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2016). Carotene Degradation and Isomerization during Thermal Processing: A Review on the Kinetic Aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(11), 1844–1855. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.790779>
- Cruz, R. (2007). Vitamina A, carotenoides pro y no provitamina A. *ReNut*, 1, 72–76.
- Ekesa, B. N., Kimiywe, J., Van den Bergh, I., Blomme, G., Dhuique-Mayer, C., & Davey, M. (2012). Content and Retention of Provitamin A Carotenoids Following Ripening and Local Processing of Four Popular *Musa* Cultivars from Eastern Democratic Republic of Congo. *Sustainable Agriculture Research*, 2(2), 60. <https://doi.org/10.5539/sar.v2n2p60>
- Ekesa, Beatrice, Poulaert, M., Davey, M. W., Kimiywe, J., Bergh, I. Van Den, Blomme, G., & Dhuique-Mayer, C. (2012). Bioaccessibility of provitamin A carotenoids in bananas (*Musa* spp.) and derived dishes in African countries. *Food Chemistry*, 133(4), 1471–1477. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.036>
- Ekesa, Beatriz, Poulaert, M., Davey, M., Kimiywe, J., Van den Bergh, I., Blomme, G., &

- Dhuique, C. (2012). *Bioaccessibility of provitamin A carotenoids in bananas (Musa spp.) and derived dishes in African countries*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.036>
- Gentilini, A. (2012). Chemistry. En V. Preedy (Ed.), *Chemistry and Biochemistry* (pp. 72–89).
https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2832-6_8
- Inocent, G., Mawamba, D., Loé, E., Ouambo, M., Solange, R., Aba, E., & Elie, F. (2011). Impact of Three Cooking Methods (Steaming, Roasting on Charcoal and Frying) on the B-carotene and Vitamin C Contents of Plantain and Sweet Potato. *American Journal of Food Technology*, 6(11), 994–1001. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.994.1001>
- López, L. B., Airdi, R., Argibay, A., Barretto, L., Beccio, B., Brito, G., ... Wiedemann, A. (2020). *Manual práctico de nutrición: Hacia un estilo de vida saludable*. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=dMraDwAAQBAJ&dq=bioactividad+definicion&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Mbabazi, R., Harding, R., Khanna, H., Namanya, P., Arinaitwe, G., Tushemereirwe, W., ... Paul, J. Y. (2020). Pro-vitamin A carotenoids in East African highland banana and other Musa cultivars grown in Uganda. *Food Science and Nutrition*, 8(1), 311–321.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.1308>
- McClements, D., Zeeb, B., Hossein, A., & Weiss, J. (2015). Retention and release of oil-in-water emulsions from filled hydrogel beads composed of calcium alginate: impact of emulsifier type and pH. *PubMed*, 11. <https://doi.org/10.1039/c4sm02791d>.
- Medina Sánchez-Valladares, A. (2005). Codificación BBCH de los estadios fenológicos del desarrollo de los agrios. *Levante Agrícola: Revista internacional de cítricos*, (375), 140–141.
- Melendez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 54(2).
- Melendez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2007). Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y físicoquímicas. *SciELO*, 57. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222007000200002
- Ministerio de salud. (2015). Estrategia Nacional para la prevención y control de las deficiencias de micronutrientes en Colombia 2014-2021. *Ministerio de Salud y Protección Social*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Monge-Rojas, R., & Campos, H. (2011). Tocopherol and carotenoid content of foods

- commonly consumed in Costa Rica. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.09.015>
- Nguyen, M., Francis, D., & Schwartz, S. (2001). Thermal isomerisation susceptibility of carotenoids in different tomato varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 910–917. <https://doi.org/10.1002/jsfa.911>
- Nieto, C. (2014). Tecnicas de cocci3n: sabor, color, textura y nutrientes a buen recaudo. *Farmacia profesional*, 28, 15–19.
- Nisar, N., Li, L., Lu, S., Khin, N. C., & Pogson, B. J. (2015). Carotenoid metabolism in plants. *Molecular Plant*, 8(1), 68–82. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.12.007>
- Rodriguez, D. (1999). *Carotenoides y preparaciones de alimentos: la retenci3n de los carotenoides provitamina A en los alimentos preparados, procesados y almacenados*. Recuperado de <https://docplayer.es/17024422-La-retencion-de-los-carotenoides-provitamina-a-en-alimentos-preparados-procesados-y-almacenados-por-delia-b-rodriguez-amaya-ph-d.html>
- Rojas-Gonzalez, J., Avallone, S., Brat, P., Trystram, G., & Bohuon, P. (2006). Effect of deep-fat frying on ascorbic acid, carotenoids and potassium contents of plantain cylinders. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57(1–2), 123–136. <https://doi.org/10.1080/09637480600658393>
- Salimas, N., & Pacheco-Delahaye, E. (2003). Pigmentos carotenoides identificados y purificados en aceite de palma. *Scielo*, 53. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2003000400006
- Schieber, A., & Weber, F. (2016). Carotenoids. *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages: Industrial Applications for Improving Food Color*, 101–123. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00005-1>
- Udomkun, P., Masso, C., Swennen, R., Wossen, T., Amah, D., Fotso, A., ... Vanlauwe, B. (2020). Variability of provitamin A carotenoids in plantain: Influence of cultivar, bunch type, maturation stage, and location. *Journal of Food Composition and Analysis*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103636>
- Vargas, N. A. C. (2012). *Comparaci3n de la absorci3n de grasa entre el plátano hart3n verde (Musa paradisiaca)crudo y precocido, despu3s de la fritura en aceite de mezclas vegetales*.

Anexo 1. Ecuaciones de Búsqueda.

Base de datos	Ecuación de búsqueda
Science Direct	(plantain) AND cook AND ("vitamin A" OR carotenoid) (Plantain OR musa) AND (Cook OR "thermal process") AND (Carotenoid OR "vitamin A" OR "provitamin A") TITLE-ABS-KEY (plantain OR musa OR "cooking banana") AND (caroten OR "Vitamin A" OR "provitamin A") (Plantain OR musa OR "cooking banana") AND (Maturity OR Ripen)
Google Scholar	(Carotenogenesis OR "carotene formation" OR "carotenoid metabolic" OR "biosynthesis of carotenoids") (Plantain OR musa OR plátano) AND (cook OR "cooking method" OR coccion) AND ("vitamin A" OR carotenoid OR "provitamin A" OR "vitamina A" OR carotenoide OR "pro- vitamina A" OR caroteno) (Carotenogenesis OR "caroteno formation" OR "carotenoid metabolic" OR "biosynthesis of carotenoids") TITLE-ABS-KEY (plantain OR musa OR "cooking banana") AND (caroten OR "Vitamin A" OR "provitamin A")
Scopus	TITLE (plantain OR musa OR banan*) AND ALL (cook OR " cooking method") AND ALL ("vitamin A" OR carotenoid OR "provitamin A") AND PUBYEAR > 2000
SINAB	TITLE-ABS-KEY (plantain OR musa OR "cooking banana") AND (caroten OR "Vitamin A" OR "provitamin A") (Plantain OR paradisiaca OR plátano OR banan*) AND (cook OR "cooking method" OR coccion) AND ("vitamin A" OR carotenoid OR "provitamin A" OR "vitamina A" OR carotenoide OR "pro-vitamina A" OR caroteno) (Carotenogenesis OR "caroteno formation" OR "carotenoid metabolic" OR "biosynthesis of carotenoids") TEMA (Plantain OR musa OR plátano) AND (cook OR "cooking method" OR coccion) AND ("vitamin A" OR carotenoid OR "provitamin A" OR "vitamina A" OR carotenoide OR "pro-vitamina A" OR caroteno)
Web of Science	TEMA (Plantain OR musa OR "cooking banana") AND (Maturity OR Ripen) (Carotenogenesis OR "caroteno formation" OR "carotenoid metabolic" OR "biosynthesis of carotenoids")

Anexo 2. Palabras claves

Palabras claves	Sinónimos	Palabras en inglés
Plátano	Dominico – hartón - plátano verde - plátano maduro – Musa paradisiaca	Plantain
Cocción	Cocinar – calor – temperatura – térmico - cocina	Cook* - temperature - heat
Vitamina A	Pro-vitamina A – micronutriente – carotenoide – carotenos.	Vitamin A – provitamin A – carotenoids – micronutrient
Maduración	Madurez – color – climaterico - carotenogénesis	Maturity – color - maturation - rip