

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

FACULTAD DE CIENCIAS Y FILOSOFÍA “ALBERTO CAZORLA TALLERÍ”



**TRATAMIENTO CON EXTRACTO ACUOSO DEL FRUTO DE CAMU CAMU
(*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) PARA LA REDUCCIÓN DEL
CONTENIDO DE ACRILAMIDA EN PAPAS BLANCAS (*Solanum tuberosum*
spp. tuberosum) FRITAS**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN QUÍMICA

AUTOR:

OSWALDO FRANCISCO LESCANO OSORIO

ASESOR:

Dr. FRANCISCO J. PEIRANO BLONDET

LIMA - PERÚ

2020

Tabla de contenidos

Resumen	3
Abstract	4
Estado del arte	5
1. Acrilamida en alimentos	5
1.1. Vías de formación de acrilamida en alimentos	6
1.1.1. Vías mayoritarias de formación de acrilamida en alimentos	6
1.1.2. Vías minoritarias de formación de acrilamida en alimentos	8
1.2. Factores que influyen en la formación de acrilamida en alimentos	10
1.3. Efectos en la salud y aspectos regulatorios	11
2. Antioxidantes y extractos de hierbas y plantas como estrategia de mitigación	12
2.1. Efecto de los antioxidantes en la formación de acrilamida	13
2.1.1. Antioxidantes que favorecen la formación de acrilamida	14
2.1.2. Antioxidantes que inhiben la formación de acrilamida	15
2.2. Antecedentes de reducción en el contenido de acrilamida en alimentos con extractos de plantas	16
3. El extracto de camu camu como posible nueva estrategia de mitigación	18
3.1. Vitamina C	18
3.2. Compuestos fenólicos	19
Problema de investigación	22
Estrategia de abordaje	25
Referencias bibliográficas	27

Resumen

La acrilamida (AC) es un neurotóxico y probable carcinógeno para los humanos que se forma en alimentos ricos en carbohidratos por tratamientos térmicos por encima de 120 °C. Su principal vía de formación es a partir de un compuesto carbonílico reactivo y la asparagina (ASN) mediante la reacción de Maillard. Los alimentos a base de papa, como las papas fritas y los *chips*, son algunos en los que se han detectado concentraciones más elevadas de AC. Organismos como la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos y la Comisión del Codex Alimentarius recomiendan aplicar estrategias de mitigación para reducir el nivel de AC en alimentos. Dentro de los métodos químicos está el uso de extractos de hierbas y plantas, los cuales son fuentes naturales de antioxidantes. Hay diversas plantas cuyos extractos no han sido estudiados con esta finalidad. Entre ellas se encuentra el camu camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh), el cual es rico en vitamina C (V_C) y tiene una amplia variedad de compuestos fenólicos. Se ha observado previamente que el pretratamiento con V_C conlleva a una disminución en el contenido de AC en papas fritas. Además, las estructuras de la mayoría de los compuestos fenólicos presentes en el camu camu concuerdan con patrones observados en los que se obtuvo una inhibición en la formación de AC. Por estos motivos, en el presente trabajo se propone investigar qué efecto produce el tratamiento con diferentes concentraciones de extracto acuoso del fruto de camu camu y distintos tiempos de remojo en el contenido de AC en papas blancas (*Solanum tuberosum* spp. *tuberosum*) fritas.

Palabras clave: acrilamida, antioxidantes, camu camu, vitamina C, compuestos fenólicos

Abstract

Acrylamide (AC) is a neurotoxic and probable human carcinogen that is formed in carbohydrate-rich foods by heat treatments above 120 °C. Its major formation pathway is from a reactive carbonyl compound and asparagine (ASN) by the Maillard reaction. Potato-based food products, such as potato chips and french fries, are among those in which higher concentrations of AC have been detected. Organizations such as the European Food Safety Authority, the United States Food and Drug Administration, and the Codex Alimentarius Commission recommend mitigation strategies to reduce the level of AC in food. This can be accomplished through chemical methods such as the use of herbal and plant extracts as sources of antioxidants. There are several plants whose extracts have not yet been studied for this purpose. Among them is camu camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh), which is rich in vitamin C (V_C) and has a wide variety of phenolic compounds. It has previously been observed that V_C pretreatment leads to a decrease in the AC content in french fries. Furthermore, the structures of most of the phenolic compounds present in camu camu correlate with observed patterns in which inhibition of AC formation was obtained. For these reasons, in the present work, it is proposed to investigate the effect of the treatment with different concentrations of aqueous extract of the camu camu fruit and different soaking times in the AC content in fried white potatoes (*Solanum tuberosum* spp. *Tuberosum*).

Keywords: acrylamide, antioxidants, camu camu, vitamin C, phenolic compounds

Estado del arte

1. Acrilamida en alimentos

La acrilamida (AC) es un compuesto orgánico neurotóxico y carcinógeno del Grupo 2A según el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, es decir, un probable carcinógeno para los humanos [1]. Su fórmula molecular es $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$. A temperatura ambiente es un sólido cristalino blanco e inodoro. Además, es soluble en solventes polares como agua, etanol, metanol y acetona; en cambio, es insoluble en solventes apolares [2].

La AC se forma en ciertos alimentos ricos en carbohidratos por tratamientos térmicos tales como horneado, tratamiento con microondas, extrusión, asado y fritura, por encima de 120 °C [3,4]. En el 2002, investigadores de la Universidad de Estocolmo fueron los primeros en detectar acrilamida en alimentos ricos en proteínas y en alimentos ricos en carbohidratos tratados térmicamente. Para el primer tipo de alimentos detectaron concentraciones de 5 a 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$; mientras que, para el segundo tipo, de 150 a 4000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ [5]. En la literatura se reportan diferentes valores de concentración de AC en papas fritas, *chips*, *crisps*, cereales, café, bebidas alcohólicas, comida para bebés y demás alimentos. Sin embargo, actualmente se conoce que los alimentos elaborados a base de papa son los que tienen un mayor contenido de AC [6], encontrándose valores que van desde 5 hasta 12000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ [1].

1.1. Vías de formación de acrilamida en alimentos

1.1.1. Vías mayoritarias de formación de acrilamida en alimentos

La principal vía para la formación de AC en alimentos es la reacción de Maillard [7]. Esta es una reacción de pardeamiento no enzimático entre un compuesto carbonílico, usualmente un azúcar reductor como glucosa o fructosa, y un grupo amino, el cual proviene de una proteína, un péptido o un aminoácido [8]. Asimismo, es la responsable del desarrollo de determinados colores y sabores en ciertos alimentos que son tratados térmicamente [7,9]. Para la formación de AC, el grupo amino proviene de la asparagina (ASN), siendo este aminoácido el que proporciona la cadena principal [7,10].

La **Figura 1A** muestra la vía de formación de AC a partir de la ASN y de un compuesto α -hidroxicarbonílico (como la glucosa, un azúcar reductor). Brevemente, la reacción entre ambas sustancias, en presencia de calor, produce una base de Schiff. Esta imina puede seguir una descarboxilación, formándose un iluro de azometina; o, un rearrreglo de Amadori. El iluro de azometina puede formar AC de tres formas: (a) de manera directa por descomposición, (b) por tautomerización al compuesto de Amadori descarboxilado y posterior β -eliminación, (c) por hidrólisis, formándose la 3-aminopropanamida (un clave precursor directo de AC), y posterior desaminación [10].

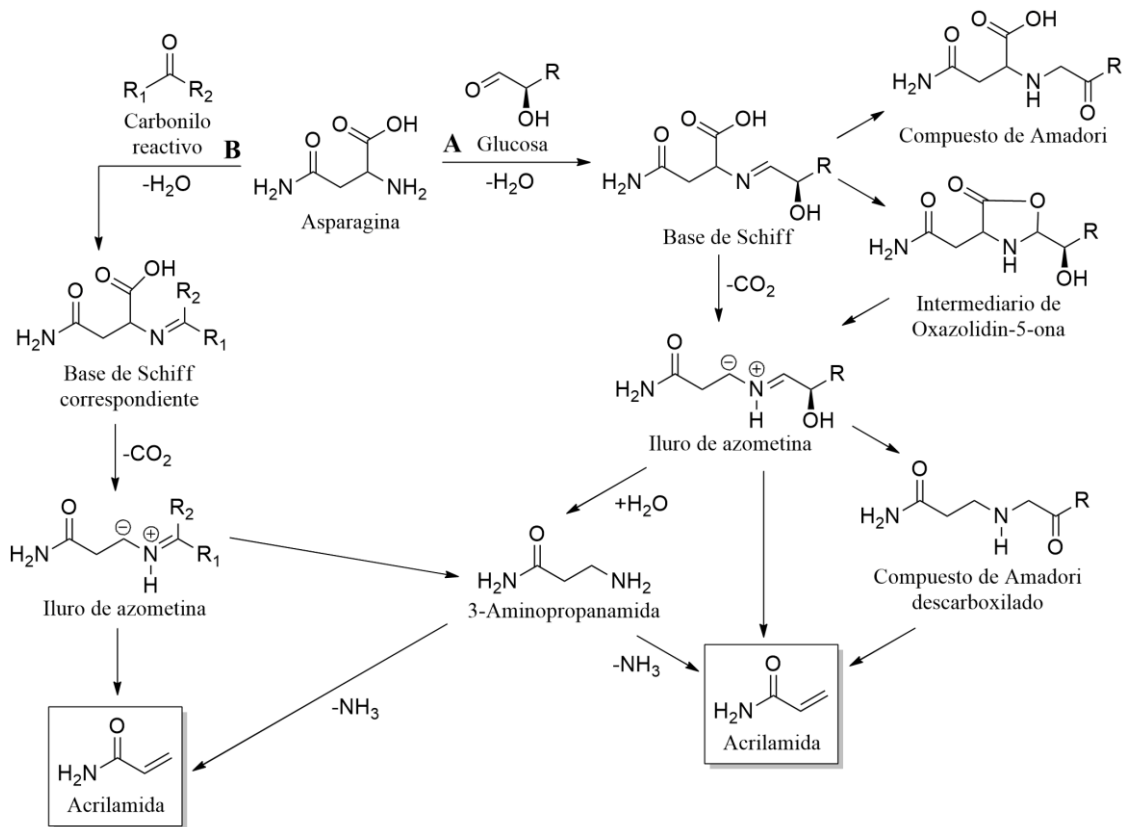


Figura 1. Vías mayoritarias para la formación de acrilamida en alimentos: a partir de asparagina y un compuesto α -hidroxicarbonílico (A) o un compuesto carbonílico reactivo (B). Adaptado de Ref. [10].

La presencia de un grupo hidroxilo ($-\text{OH}$) en la posición α del compuesto carbonílico juega un rol importante en la formación de AC. Por ejemplo, el 2-hidroxi-1-butanal forma, aproximadamente, 197.5 veces más AC por mol de reactivo que el ácido glioxílico bajo las mismas condiciones [7]. No obstante, hay compuestos carbonílicos que también reaccionan con la ASN para formar AC sin ser α -hidroxicarbonílicos, siendo los aldehídos más reactivos que las cetonas. Estos compuestos forman sus correspondientes bases de Schiff y, tras descarboxilarse y producir iluros de azometina, producen AC por la vía de la 3-aminopropanamida o por descomposición (**Figura 1B**) [10]. Algunos ejemplos son fragmentos de azúcares como el glioxal, gliceraldehído e hidroxietanal [10]; el 2,4-decadienal, un producto de oxidación de los lípidos [11]; y, el 5-

hidroximetilfurfural (HMF), un compuesto furánico intermediario de la reacción de Maillard y que, también, se forma por deshidratación de azúcares. Cabe señalar que no todos los compuestos carbonílicos reaccionan mediante esta vía [10]. Estos se limitan a compuestos α -dicarbonílicos, n -aldehídos, α -cetoácidos y carbonílicos $\alpha,\beta,\gamma,\delta$ -diinsaturados [7,10].

1.1.2. Vías minoritarias de formación de acrilamida en alimentos

Existen otras vías que conllevan a la formación de AC en alimentos sin participación de ASN. Una de ellas es la reacción entre el ácido acrílico y el amoníaco (**Figura 2A**). El amoníaco puede provenir de la degradación de Strecker (**Figura 2B**) en presencia de compuestos carbonílicos [12], la cual es una reacción importante en el tratamiento térmico de los alimentos y en el proceso de formación de sabores [13].

Por su parte, el ácido acrílico se produce a partir de la oxidación de la acroleína [12], la cual puede formarse por degradación oxidativa de los lípidos; degradación de carbohidratos, aminoácidos y proteínas; y, a través de la reacción de Maillard [7]. La **Figura 2C** muestra cómo la hidrólisis de los lípidos libera glicerol y este, por deshidratación térmica, forma acroleína. Sin embargo, el ácido acrílico también puede formarse a partir del ácido aspártico y de un compuesto carbonílico, como la glucosa, vía reacción de Maillard [14]. Incluso, este mismo aminoácido puede formar ácido acrílico mediante un mecanismo concertado de descarboxilación/desaminación [15].

Una ruta distinta es partir de los aminoácidos cisteína y serina. Ambos pueden convertirse de forma térmica en ácido láctico (**Figura 2D**), con el ácido pirúvico como intermediario. En presencia de amoníaco, el ácido láctico se transforma en lactamida por aminodeshidroxilación. Finalmente, la lactamida forma AC por deshidratación [15].

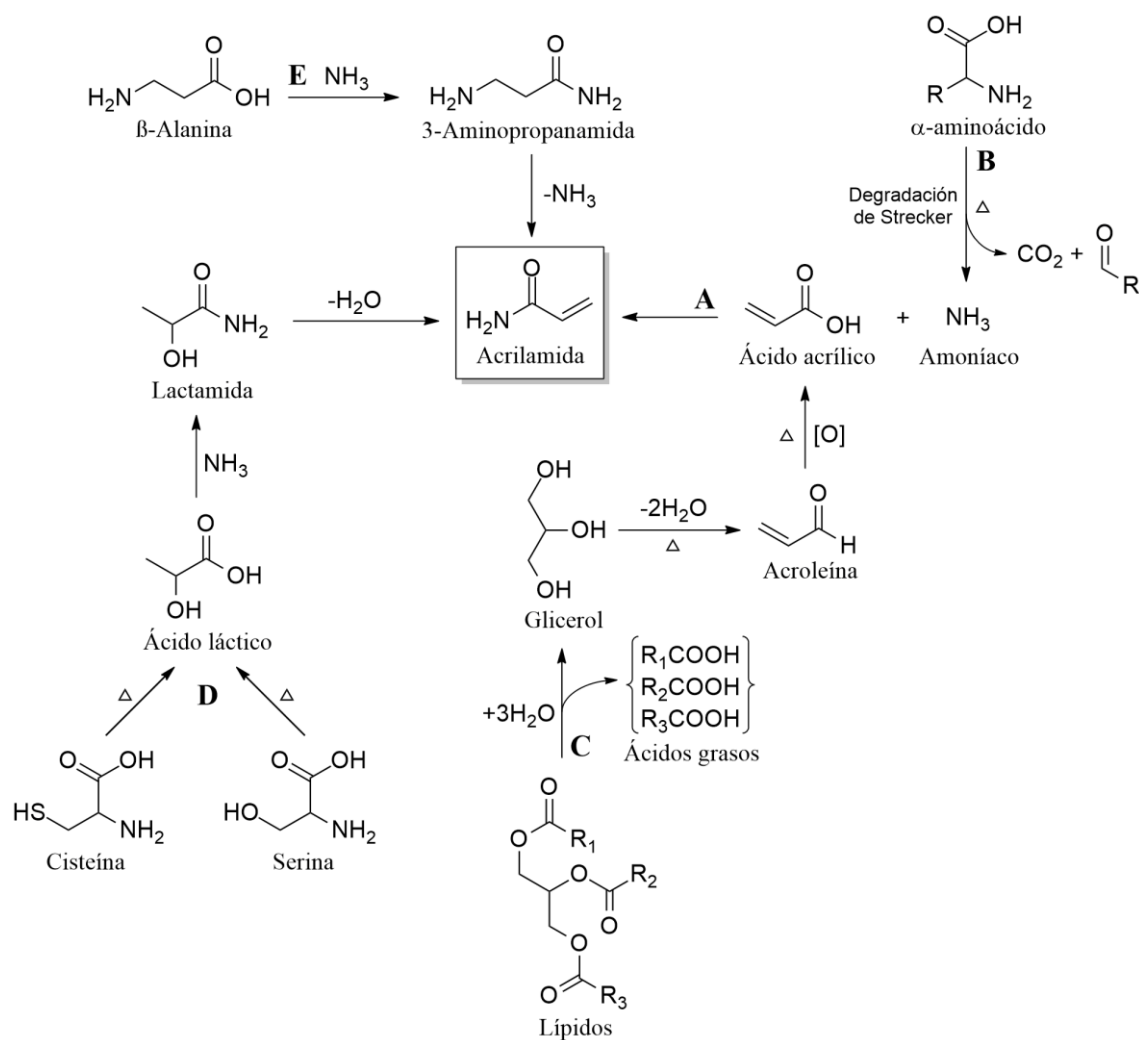


Figura 2. Vías minoritarias para la formación de acrilamida en alimentos: mediante la vía de la acroleína y la degradación de Strecker de α -aminoácidos (A), mediante la vía de la lactamida (B) y a partir de β -alanina (C). *Adaptado de Refs. [10,12,13,15].*

Otra posible vía es a partir de la hidrólisis bajo condiciones pirolíticas de la carnosina (*N*- β -alanil-L-histidina) [7], presente en productos cárnicos [15]. Esta reacción produce β -alanina. En presencia de amoníaco, la β -alanina forma 3-aminopropanamida (**Figura 2E**) [7], compuesto que, como se mencionó en la sección previa, es un precursor directo de AC por desaminación [10].

Estas vías alternas descritas tienen un punto en común: requieren amoníaco. Dado que este compuesto es volátil [7], su cantidad disponible es limitada [15]. Por este y otros

motivos, como requerimiento de mayores temperaturas y competencia con otras reacciones, estas vías son consideradas “marginales” por ciertos autores [7,10,15].

1.2. Factores que influyen en la formación de acrilamida en alimentos

La vía mayoritaria para la formación de AC en alimentos, la reacción de Maillard, depende de factores fisicoquímicos como temperatura, tiempo, pH y humedad [9,10]. Como se mencionó anteriormente, la AC se forma en alimentos a temperaturas mayores que 120 °C [3]. De forma general, mientras mayor sea el valor de esta magnitud, mayor será la cantidad de AC producida. No obstante, se ha encontrado que en café y cereales asados u horneados, el contenido de AC disminuye por encima de 180 °C [7].

Un ejemplo de cómo el tiempo de cocción influye en la formación de AC en alimentos es la preparación de *potato chips*. Gökmen *et al.* [16] estudiaron cómo variaba el contenido de AC con respecto al tiempo a una temperatura constante de 170 °C. Sus resultados mostraron que, a los 8 min, el nivel de AC alcanza un máximo y, después, disminuye exponencialmente. Los autores atribuyeron este resultado a que la velocidad de descomposición de AC es mayor que la de formación durante el calentamiento. Este comportamiento se ha observado también en alimentos como el café y la harina de trigo [17].

El valor de pH óptimo para la formación de AC varía según el alimento. Pero, esta se ve favorecida, por lo general, en un intervalo entre 7.0 y 8.0 [10]. En adición, mientras mayor sea la humedad en un alimento, mayor será el tiempo que tardan la superficie y el núcleo en alcanzar la temperatura a la que es sometido y, por ende, en alcanzar la temperatura óptima para la formación de AC [10,18].

Por otro lado, el contenido de precursores disponibles para la reacción de Maillard (azúcares reductores y ASN) es uno de los factores determinantes en la formación de AC [7]. Los niveles de estos precursores dependen de factores genéticos y ambientales [6]. Asimismo, se ha reportado que las variedades de cultivo, condiciones de almacenamiento y condiciones climáticas estacionales tienen un efecto en el contenido de ASN en papas [7].

1.3. Efectos en la salud y aspectos regulatorios

La neurotoxicidad de la AC es el único efecto tóxico que se ha demostrado que es dañino para el hombre por exposición ocupacional. Ciertas neuropatías periféricas como el entumecimiento y estremecimiento de las extremidades superiores e inferiores son las principales manifestaciones clínicas [19]. Sin embargo, hay estudios que señalan que la exposición por la dieta también juega un rol en la neurotoxicidad [1].

Según el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, la AC pertenece al Grupo 2A de carcinógenos. Esto significa que es un probable carcinógeno para los humanos [1]. Se ha reportado que la AC es un carcinógeno multiorgánico en roedores [7]. Gracias a su carácter electrofílico puede formar aductos covalentes con la hemoglobina, el ADN y diferentes grupos funcionales de las proteínas como los grupos sulfhidrilo (-SH), induciendo a mutaciones genéticas y aberraciones cromosomales. El metabolito biotransformado de la AC, la glicidamida, también es capaz de formar estos aductos covalentes [1].

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), la AC pertenece al conjunto de sustancias químicas que no tienen un umbral identificable a partir del cual se

evidencian efectos en la salud. Esto significa que la ingestión de concentraciones muy bajas resulta en un riesgo muy bajo, pero no inexistente [20].

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria confirmó el 2015 que la AC puede aumentar potencialmente el riesgo a desarrollar cáncer. En el documento “Reglamento (UE) 2017/2158” se establecen los niveles de referencia para AC en diferentes alimentos. La regulación busca reducir las concentraciones de AC por debajo de los niveles de referencia [21]. Por otro lado, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos [22], en su documento *Guidance for Industry Acrylamide in Foods* del 2016, provee información para ayudar a reducir los niveles de AC en ciertos alimentos y señala que no especifica un nivel máximo recomendable. De manera similar, el Codex Alimentarius describe estrategias para prevenir y reducir la formación de AC en productos de cereales y papa en su documento *Code of Practice for the Reduction of Acrylamide in Foods* (CAC/RCP 67-2009). Sin embargo, tampoco establece algún nivel de referencia o un nivel máximo recomendable [23]. Por estas razones, diversas investigaciones se han realizado para encontrar maneras efectivas de reducir e inhibir la formación de AC en alimentos.

2. Antioxidantes y extractos de hierbas y plantas como estrategia de mitigación

Las estrategias de mitigación de AC en alimentos pueden clasificarse en cuatro métodos: agronómicos, biológicos, físicos y químicos. Los primeros se basan en controlar ciertas condiciones en el cultivo, las propiedades del suelo, el clima y el almacenamiento. Por ejemplo, la fertilización con nitrógeno influye directamente en las concentraciones de ASN y azúcares reductores en papa. Los métodos biológicos se centran en reducir el

contenido de los precursores (ASN y azúcares reductores) mediante ingeniería genética [9]. Los métodos físicos consisten en optimizar las condiciones de procesamiento [10]. Esto se refiere a ajustar parámetros como la temperatura, el tiempo y la humedad [9], dado que se conoce que influyen en el contenido de AC (**Sección 1.2**).

Por otro lado, los métodos químicos como estrategia de mitigación consisten en el empleo de aditivos. Estos pueden ser aminoácidos, soluciones ácidas, sales, soluciones de la enzima asparaginasa y determinados antioxidantes y extractos de plantas [1,9]. Dentro de este grupo sobresale la asparaginasa, la cual cataliza la hidrólisis del grupo amida de la cadena lateral de la ASN [24]. Las soluciones de esta enzima han alcanzado el ámbito comercial, ya que han mostrado una efectividad de reducir el contenido de AC hasta en un 90%, sin alterar la apariencia ni el sabor del producto final [25]. Sin embargo, el uso de antioxidantes naturales tiene ventajas tales como su seguridad relativamente incuestionable, de acuerdo con su designación de *generalmente reconocidos como seguros* por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos [26,27]; las concentraciones más altas permitidas; su aceptación mundial; y, su menor volatilidad en los alimentos sometidos a altas temperaturas [26].

2.1. Efecto de los antioxidantes en la formación de acrilamida

Cada antioxidante y extracto tiene un efecto diferente sobre el nivel de AC tanto en alimentos como en sistemas modelo. Este efecto puede ser positivo (disminuirlo), nulo (sin efecto significativo), negativo (incrementarlo) o múltiple (favorece e inhibe la formación de acrilamida) [7,10]. Los diferentes antioxidantes pueden reaccionar con los precursores de AC, con intermediarios de la reacción de Maillard o con la AC misma. Factores tales como la humedad, el pH, el tiempo, el tratamiento térmico y la matriz no solo tienen influencia directa en el contenido de AC, sino también en el estado de los

antioxidantes de un determinado extracto. En adición, la concentración de los antioxidantes o del extracto cumple un rol importante, ya que de esta dependerá cuál(es) será(n) la(s) reacción(es) antioxidante-sustrato predominante(s) [7]. En las dos siguientes secciones se explica de qué manera los antioxidantes favorecen y/o inhiben la formación de AC.

2.1.1. Antioxidantes que favorecen la formación de acrilamida

Los antioxidantes que favorecen la formación de AC en alimentos pueden clasificarse en dos grupos. El primero lo conforman aquellos que desencadenan la descomposición de la sacarosa en sustancias como el HMF, un compuesto carbonílico $\alpha,\beta,\gamma,\delta$ -diinsaturado, y la 1,2-diulosa, un compuestos α -dicarbonílico [7]. Ambos pueden reaccionar con la ASN y seguir la ruta de la **Figura 1B**. Uno de los antioxidantes que puede descomponer la sacarosa en este par de sustancias es el ácido clorogénico [7].

El segundo grupo de antioxidantes lo conforman aquellos que tienen grupos carbonilo reactivos en sus estructuras. Kotsiou *et al.* [28] concluyeron esto cuando aplicaron extractos de aceite de oliva virgen y de orégano a papas frescas y a sistemas modelo. Encontraron que el primer tipo de extracto incrementa el contenido de AC en las papas fritas posteriormente preparadas, mientras que el segundo lo reduce. El extracto de aceite de oliva virgen, a diferencia del de orégano, dentro de sus compuestos fenólicos polares más abundantes, cuatro de ellos tienen grupos aldehído: las formas aldehídicas y dialdehídicas de ligtrosido aglicona y de oleuropeína aglicona.

2.1.2. Antioxidantes que inhiben la formación de acrilamida

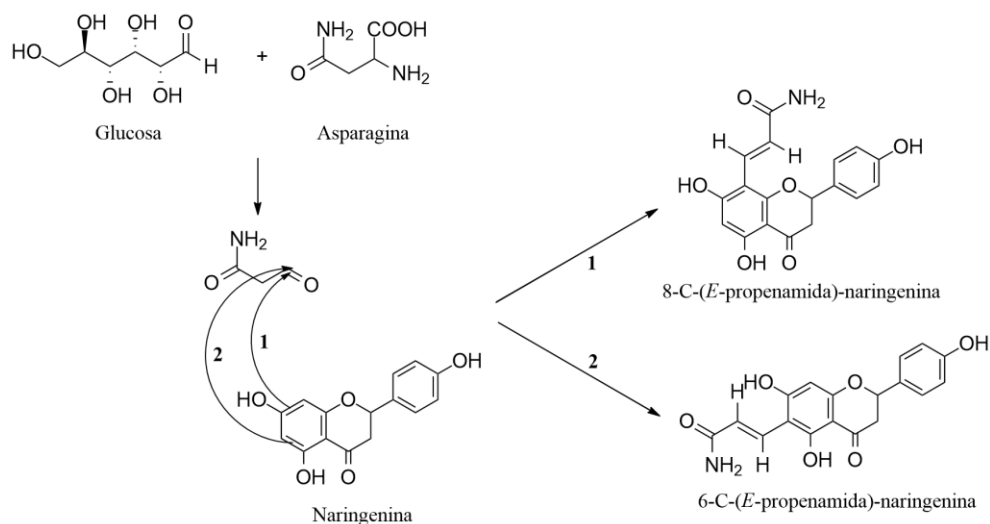


Figura 3. Vías propuestas para la inhibición de la formación de acrilamida por naringenina.

Adaptado de Ref. [10].

Los antioxidantes que inhiben la formación de AC en alimentos se dividen en cuatro grupos. El primero lo conforman aquellos que reaccionan con intermediarios de la reacción de Maillard, tales como ciertos fragmentos de azúcares. Por ejemplo, el flavonoide epicatequina puede reaccionar por un mecanismo de sustitución electrofílica aromática con los grupos carbonilo de fragmentos de azúcares de 2 a 4 átomos de carbono. En adición, la naringenina puede reaccionar con precursores de AC que se formaron tras la reacción entre un carbonilo reactivo y la ASN (**Figura 3**) [10].

Antioxidantes como los flavonoides glucosídicos, los ácidos fenólicos y polifenoles pueden evitar la oxidación de los lípidos. De esta manera no se forman compuestos aldehídicos como el 2,4-decadial y el 4,5-epoxi-2-decanal. El ácido clorogénico pertenece también a este grupo de antioxidantes, haciendo que tenga un efecto múltiple (favorable y desfavorable) [7]. Cabe resaltar que el número y la posición (3',4'-diOH) de los grupos hidroxilo en el anillo aromático B de los flavonoides juegan un rol importante

en su capacidad inhibitoria [7,29]. Incluso, ciertos compuestos polifenólicos que no presentan grupos aldehído en sus estructuras y que tienen un alto número de grupos hidroxilo, especialmente en átomos de carbono adyacentes, inhiben también la formación de AC [7].

Los taninos pueden precipitar aminoácidos por formación de complejos. Así, los taninos presentes en extractos de plantas o hierbas pueden precipitar la ASN y, por consiguiente, reducir el contenido final de AC [7]. Además, hay compuestos que pueden reaccionar con la AC ya formada mediante reacciones tipo adición de Michael o una eliminación inducida por radicales. Para el primer caso, el compuesto debe ser de carácter nucleofílico; por ejemplo, aquellos que contengan grupos amino ($-NH_2$) o tiol ($-SH$). Para el segundo, los antioxidantes deben ser inestables o estar en su forma oxidada, de modo que puedan atacar a la AC [10].

2.2. Antecedentes de reducción en el contenido de acrilamida en alimentos con extractos de plantas

En la literatura se reporta el uso de diferentes extractos de plantas para la reducción del contenido de AC en alimentos. Zhang *et al.* [30] trataron trozos de papa para la elaboración de *crisps* y papas fritas sumergiéndolos en soluciones de distintas concentraciones de polvo de hoja de bambú (*Phyllostachys nigra* var. *henonis*). Obtuvieron una disminución de 74.1% en *crisps* usando una solución 0.1% m/m y de 76.1% en papas fritas con una solución 0.01% m/m, con un tiempo de remojo de 60 s en ambos casos. Para la fritura se usó aceite de palma por 4 min a 170 °C.

Salazar *et al.* [31] analizaron la formación de AC en *chips* tras la fritura por 5 min a 180 °C en aceite de soya pretratado con oleoresina de pimienta piquín (*Capsicum annuum* L.

var. Aviculare). Obtuvieron un porcentaje de reducción de 26%, en comparación con las muestras fritas con aceite de soya sin el extracto de la pimienta. Si bien no realizaron una evaluación sensorial, los resultados preliminares mostraron que no hubo un cambio significativo en la apariencia del producto alimenticio.

Morales *et al.* [32] trataron por 1 min trozos de papa en extractos acuosos de 1 g/L de orégano silvestre (*Origanum vulgare*), tomillo (*Thymus vulgaris*), canela (*Cinnamomum verum*), buganvilla (*Bougainvillea* spp) y té verde (*Camellia sinensis*). Tras la fritura con aceite de canola por 3 min a 150 °C, el mayor porcentaje de reducción que obtuvieron fue 62% con el extracto acuoso de té verde. Además, la evaluación sensorial demostró que no hubo un cambio significativo en la aceptación de las papas fritas tras el tratamiento aplicado.

El-Desouky *et al.* [6] trataron papas para la elaboración de *chips* por 10 y 20 min con extracto acuoso de rosella (*Hibiscus sabdariffa* L.) al 1, 2, 3, 4 y 5%. Tras el remojado con el extracto al 5% por 20 min y la fritura a 170 °C por 3-4 min, obtuvieron una reducción en el contenido de AC de 82.46%. Cabe señalar que, en este estudio, tampoco hubo un cambio significativo en la aceptabilidad del producto final tras la respectiva evaluación sensorial.

Babu *et al.* [26] trataron trozos de papas en extracto acuoso (200 ppm) del cactus *Caralluma fimbriata* (CF) por 15 min a 25 °C. La concentración de AC en las papas fritas preparadas luego de este proceso y de la fritura a 190 °C por 3 min fue 42.5 µg/kg. Esto equivale a una reducción del 82.3%, en comparación con las papas que no fueron tratadas. Además, los productos preparados luego del tratamiento con extracto de CF fueron los más aceptados por el panel sensorial, aunque no hubo diferencia significativa con los grupos control.

Existen muchas otras plantas cuyos extractos no han sido estudiados con el objetivo de inhibir la formación de AC en alimentos ni en sistemas modelo. La importancia de investigar el efecto del uso de otras plantas radica en que se pueden encontrar nuevas estrategias que requieran menores concentraciones de extracto y/o menor tiempo de pretratamiento, y con las que se pueden obtener porcentajes de reducción mayores o iguales en comparación con los estudios previos y con la asparaginasa.

3. El extracto de camu camu como posible nueva estrategia de mitigación

Dentro de las plantas cuyos extractos no han sido estudiados con el objetivo de inhibir la formación de AC en alimentos ni en sistemas modelo se encuentra el camu camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh). Esta es una especie nativa de la región amazónica que se encuentra distribuida, principalmente, en Perú, Ecuador, Venezuela, Colombia, Brasil, Bolivia y Guyana. Las diferentes partes de la planta se usan en la medicina popular tradicional para tratar diversas enfermedades agudas y crónicas. Actualmente se conoce que esta contiene fitoquímicos con actividades biológicas tales como antioxidante, antidiabética y anti-obesidad [33].

3.1. Vitamina C

El fruto de camu camu se caracteriza por ser una de las fuentes más ricas de vitamina C (V_C) a nivel mundial [34]. Cabe señalar que tanto el ácido L-ascórbico (L-AA) y su producto de oxidación, el ácido dehidroascórbico (ADH), poseen actividad de V_C [35]. En la literatura se reportan diferentes intervalos y valores promedio del contenido de V_C en el fruto del camu camu. De acuerdo a Rodrigues *et al.* [36], este se encuentra entre 850 y 5000 mg V_C /100 g de porción comestible. Chirinos *et al.* [37] determinaron que la

concentración de L-AA varía según la etapa de maduración del fruto: cuando este es verde (inmaduro), el promedio fue 2280 mg L-AA/100 g de peso fresco; cuando es verde-rojizo (medianamente maduro), 1910 mg L-AA/100 g de peso fresco; y, cuando es rojo (maduro), 2010 mg L-AA/100 g de peso fresco.

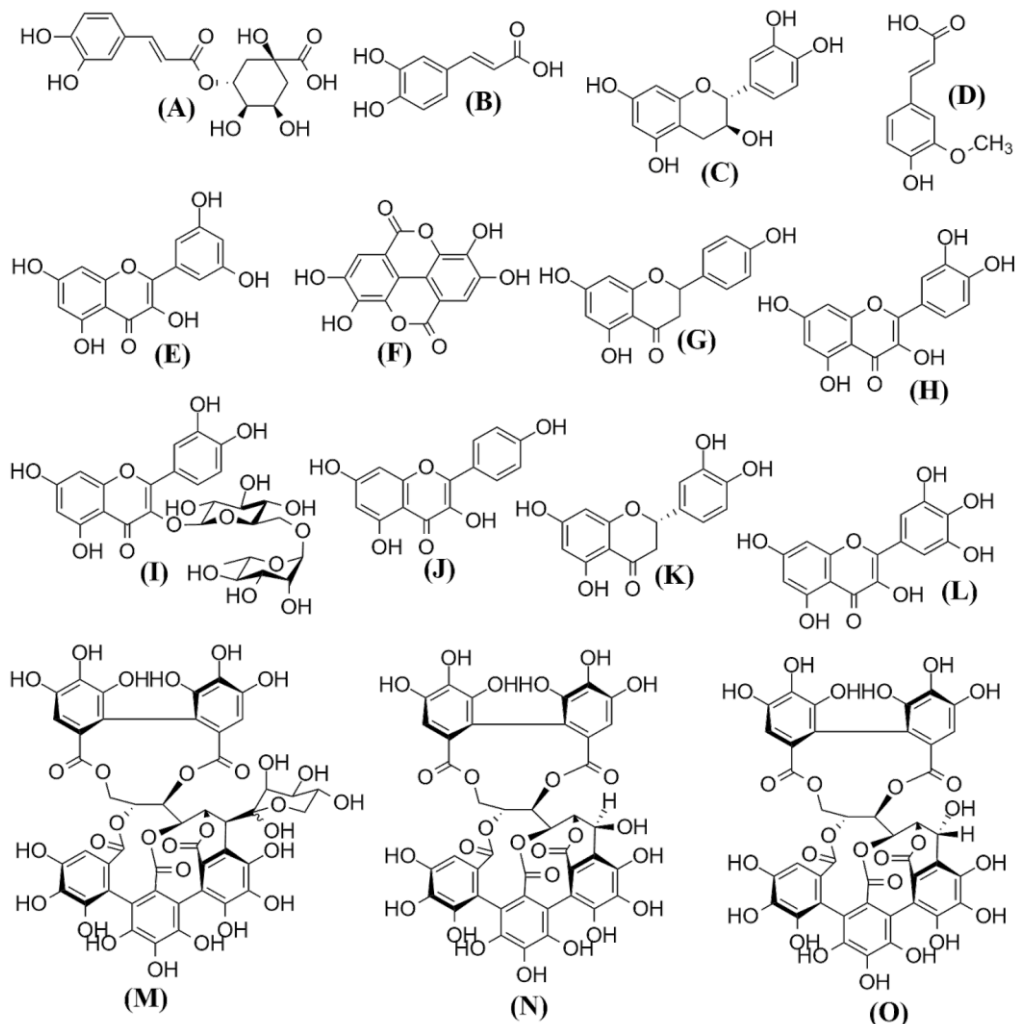
La relevancia de la V_C puede ser fácilmente cuestionada, dado que tanto el L-AA como el ADH son compuestos carbonílicos reactivos y podrían favorecer la formación de AC. Hamzalıođlu y Gökmen [38] lo comprobaron al estudiar sistemas modelos binarios ASN-AA y ASN-ADH, y modelos ternarios ASN-AA-fructosa y ASN-ADH-fructosa y encontrar en ambos casos la formación del neurotóxico. Sin embargo, Zeng *et al.* [39] usaron L-AA en un modelo ternario con glucosa en lugar de fructosa y con otras condiciones físicas, en una matriz modelo y en una matriz real (papas fritas). En los tres casos hubo una reducción en el contenido de AC. Incluso, Morales *et al.* [32] consiguieron una disminución del 60% en papas fritas tratando las papas con una solución acuosa de AA 1 g/L por 1 min.

3.2. Compuestos fenólicos

El camu camu también se caracteriza por poseer una amplia diversidad de compuestos fenólicos. Según Muñoz *et al.* [40], su contenido de fenoles totales es de 2393.72 mg ácido gálico equivalente (AGE)/100 g de materia fresca. Akter *et al.* [41], en cambio, reportan un valor de 1176 mg AGE/100 g de peso fresco. Chirinos *et al.* [37] determinaron que el contenido de fenoles totales, así como la concentración de L-AA, varía según la etapa de maduración del fruto: cuando este es verde, el promedio fue 1120 mg AGE/100 g de peso fresco; cuando es verde-rojizo, 1420 mg AGE/100 g de peso fresco; y, cuando es rojo, 1320 mg AGE/100 g de peso fresco

En la **Figura 4** se presentan los principales compuestos fenólicos identificados en el fruto de camu camu, los cuales se agrupan en flavanoles, flavonoles, flavanonas, antocianinas, taninos, entre otros. Estos son: ácido clorogénico, ácido cafeico, ácido ferúlico [42], morina [40], ácido elágico, rutina, (+)-catequina, quercetina, naringenina, kaempferol, eriodictiol [41], miricetina [34], grandinina, vescalagina, metilvescalagina, castalagina, casuarinina, *stacyurin* [43], cianidina-3-glucósido y delphinidina-3-glucósido [44].

Puede observarse que ninguno de estos compuestos presenta grupos aldehído en sus estructuras y la mayor parte tienen grupos hidroxilo en carbonos adyacentes de un mismo anillo aromático. La presencia de taninos sugiere que puede haber una disminución en el contenido de AC por precipitación de la ASN.



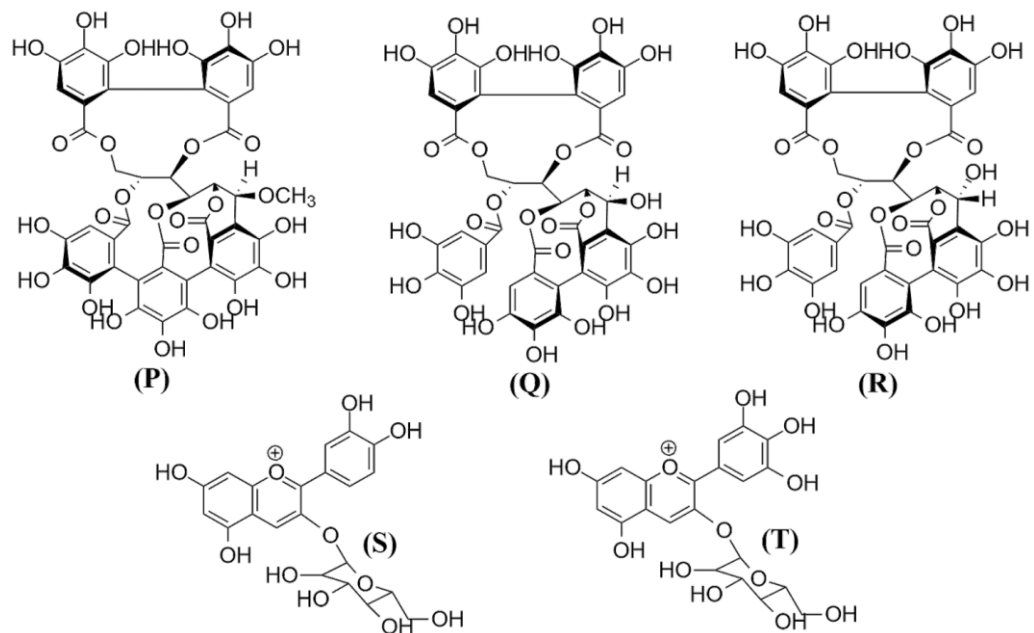


Figura 4. Principales compuestos fenólicos presentes en el fruto de camu camu: **(A)** ácido clorogénico, **(B)** ácido cafeico, **(C)** (+)-catequina, **(D)** ácido ferúlico, **(E)** morina, **(F)** ácido elágico, **(G)** naringenina, **(H)** quercetina, **(I)** rutina, **(J)** kaempferol, **(K)** eriodictiol, **(L)** miricetina, **(M)** grandinina, **(N)** vescalagina, **(O)** castalagina, **(P)** metilvescalagina, **(Q)** *stacyurin*, **(R)** casuarinina, **(S)** cianidina-3-glucósido, **(T)** delfinidina-3-glucósido.

Problema de investigación

La AC es un neurotóxico y probable carcinógeno para los humanos que se forma en alimentos ricos en carbohidratos por tratamientos térmicos por encima de 120 °C [1,3]. Los alimentos elaborados a base de papa son los que tienen un mayor contenido de AC [6]. El consumo anual de papa en Perú ha aumentado de 76 kg/persona en el 2005 a 89 kg/persona en el 2017 y se prevé que se eleve a 92 kg/persona en el 2021 [45]. Asimismo, se espera que el porcentaje de papa consumida en forma de papas fritas haya crecido por factores económico-sociales, tales como: “las tasas de urbanización de la población, la evolución de los ingresos reales, la inclinación de la gente de consumir más alimentos fuera de casa (...) y la conversión de los hábitos de consumo hacia almuerzos más cortos y menos formales” [46].

Organismos como la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos y la Comisión del Codex Alimentarius recomiendan aplicar estrategias de mitigación para reducir el nivel de AC en alimentos [21-23]. De acuerdo a las regulaciones del organismo europeo, el nivel de referencia de AC para las papas fritas listas para consumir es 500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ [21]. Cabe señalar que, a la fecha, no hay una Norma Técnica Peruana que reporte límites máximos de AC en alimentos.

El uso de extractos de hierbas y plantas, los cuales son fuentes naturales de antioxidantes, como estrategia de mitigación química tiene cuatro principales ventajas: su seguridad relativamente incuestionable, de acuerdo con su designación de *generalmente reconocidos como seguro* por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos [26,27]; las concentraciones más altas permitidas; su aceptación mundial; y, su menor volatilidad en los alimentos sometidos a altas temperaturas [26]. Hay

antecedentes del uso de antioxidantes naturales en los que se ha conseguido una reducción en el nivel de AC en papas fritas y sin cambiar de manera significativa la aceptación sensorial. Sin embargo, hay diversas plantas que no han sido estudiadas aún, con las cuales podrían obtenerse mejores resultados y usando menor cantidad de materia prima para la obtención del extracto.

El camu camu es una de las plantas que no ha sido estudiada con el objetivo de inhibir la formación de AC en alimentos. Su elevado contenido de V_C y su diversidad de compuestos fenólicos lo vuelven un posible candidato para cumplir esta finalidad. Esto se debe a que Zeng *et al.* [38] y Morales *et al.* [32] reportan reducción en el nivel de AC en papas fritas tras tratamiento con ácido ascórbico. Además, ninguno de los principales compuestos fenólicos presenta grupos aldehído en sus estructuras y la mayor parte tienen grupos hidroxilo en carbonos adyacentes de un mismo anillo aromático (**Figura 4**). Asimismo, la naringenina, presente en el camu camu, podría reaccionar con precursores de AC que se formaron tras la reacción entre un carbonilo reactivo y la ASN (**Figura 3**) [10]. Incluso, la presencia de taninos sugiere que puede haber una disminución en el contenido de AC por precipitación de la ASN.

La relevancia de un resultado positivo usando el extracto de camu camu radica en que se tendría una nueva fuente natural de antioxidantes propia de la amazonía peruana con capacidad de inhibir, en un determinado porcentaje, la formación de AC en uno de los alimentos con mayor contenido de este neurotóxico y probable carcinógeno para los humanos. Esto, a la vez, podría ser una contribución para el desarrollo de empresas locales de papa industrializada, considerando que Perú, un país con numerosas variedades de papa, importó 24000 toneladas de papas precocidas por US \$23 millones en el 2014 [47].

Por todo lo mencionado anteriormente, en el presente trabajo de investigación se propone investigar qué efecto produce el tratamiento con extracto acuoso del fruto de camu camu en la formación de AC en papas fritas preparadas con papa blanca (*Solanum tuberosum* spp. *tuberosum*). Para ello, se tienen en cuenta factores como la concentración del extracto acuoso y el tiempo de remojo de las papas. Se propone también realizar una evaluación sensorial en caso de darse resultados positivos, así como determinar si la V_C , los compuestos fenólicos o el pH son los principales responsables en la reducción del contenido de AC.

Estrategia de abordaje

La investigación comienza con la preparación de un extracto acuoso de fruto de camu camu al 10% (m/v). Para ello se siguen los pasos de lavado, desinfección, inactivación de enzimas, enfriamiento a temperatura ambiente, homogeneización, extracción con agua destilada en un *shaker*, decantación y filtración [48,49]. Tras ello, el extracto se caracteriza determinando tres parámetros: el contenido de fenoles totales, de acuerdo al método de Folin-Ciocalteu [50]; el contenido de flavonoides totales, según el método del cloruro de aluminio [51]; y, la actividad antioxidante, siguiendo el método de la eficiencia antirradicalaria frente al radical estable 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH·) [32].

Posteriormente, se cortan trozos homogéneos de papa blanca y se separan en grupos. Cada grupo se sumerge en soluciones acuosas de extracto diluido de concentraciones 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 2 y 5% (cuyo pH ha sido medido previamente) por 1, 5, 10 y 15 min. Un grupo no se sumerge en ninguna solución (grupo control). Culminado el tratamiento, los trozos de papa se escurren por 2 min y se fríen a 170 °C por 10 min en un baño de aceite de maní [39]. Debe asegurarse en esta etapa que todos los trozos de papa sean homogéneos, que se use siempre el mismo tipo de aceite y que la temperatura de cocción sea constante.

Una vez se tengan las muestras listas, enfriadas con anterioridad en papel toalla [26], se separan en cantidades razonables para la determinación de AC y la evaluación sensorial, la cual solo se realiza si se obtienen resultados positivos con uno o más de los tratamientos. Para lo primero se usa cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) con derivatización con xantidrol, según el método de Molina-Garcia *et al.* [52]. Para la evaluación sensorial, de llevarse a cabo, se usan las muestras con las que se obtuvo un mayor porcentaje de disminución y aquellas que no recibieron ningún tipo

de pretratamiento. Los parámetros a evaluar son apariencia, color, textura, olor, sabor y aceptabilidad general. Para ello se requiere de un panel y se usa una escala hedónica de cinco puntos, siendo el valor mínimo (1) “muy malo” y, el valor máximo (5), “muy bueno” [53].

Finalmente, de conseguirse resultados favorables, se procede a determinar si la V_C , los compuestos fenólicos o el pH son el principal responsable en la reducción del contenido de AC. Para ello, se prepara una solución madre de V_C , considerando el nivel de V_C en el camu camu de acuerdo a Chirinos *et al.* [37], y se diluye apropiadamente según corresponda para simular a los extractos de diferentes concentraciones con los que se obtuvieron mejores resultados. Se realiza algo similar con una mezcla de los compuestos fenólicos rutina, (+)-catequina, quercetina, kaempferol, naringenina, eriodictiol, cianidina-3-glucósido y ácido elágico, considerando los niveles de estas sustancias en el camu camu reportados por Akter *et al.* [41]. Para el pH, se preparan soluciones amortiguadoras, tomando en cuenta los valores de pH de los extractos con los que se obtuvieron mejores resultados. Tras ello, se remojan nuevos grupos de papas en las soluciones correspondientes de V_C , compuestos fenólicos y pH fijo (considerar tiempos de remojo óptimos). Culminados los tratamientos, se determina el nivel de AC en cada grupo de papas, siguiendo el método de Molina-García *et al.* [52].

Referencias bibliográficas

1. Kahkeshani N, Saeidnia S, Abdollahi M. Role of antioxidants and phytochemicals on acrylamide mitigation from food and reducing its toxicity. *Journal of food science and technology*. 2015 Jun 1;52(6):3169-3186.
2. Zamani E, Shokrzadeh M, Fallah M, Shaki F. A review of acrylamide toxicity and its mechanism. *Pharmaceutical and Biomedical Research*. 2017 May 10;3(1):1-7.
3. Mulla MZ, Annapure US, Bharadwaj VR, Singhal RS. A study on the kinetics of acrylamide formation in banana chips. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017 Feb;41(1):e12739.
4. Michalak J, Gujska E, Czarnowska-Kujawska M, Nowak F. Effect of different home-cooking methods on acrylamide formation in pre-prepared croquettes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2017 Mar 1;56:134-139.
5. Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Törnqvist M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2002 Ago 14;50(17):4998-5006.
6. El-Desouky TA, May AM, Lamyaa ES. Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips by Aqueous Extract of Roselle. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*. 2015;5(5):26-32.
7. Gökmen V. Acrylamide in food: analysis, content and potential health effects. *Estados Unidos: Academic Press*; 2016. p. 1-3,8-11,63,328-331,335-338,342-346,349.

8. Nursten HE. The Maillard reaction: chemistry, biochemistry, and implications. United Kingdom: Royal Society of Chemistry; 2005. p. 1.
9. Baskar G, Aiswarya R. Overview on mitigation of acrylamide in starchy fried and baked foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018 Sep;98(12):4385-4394.
10. Jin C, Wu X, Zhang Y. Relationship between antioxidants and acrylamide formation: A review. *Food research international*. 2013 May 1;51(2):611-620.
11. Zamora R, Hidalgo FJ. Contribution of lipid oxidation products to acrylamide formation in model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008 Ago 13;56(15):6075-6080.
12. Yasuhara A, Tanaka Y, Hengel M, Shibamoto T. Gas chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003 Jul 2;51(14):3999-4003.
13. Weenen H, Van Der Ven JG. The formation of Strecker aldehydes. En: Takeoka GR, Güntert M, Engel K, editores. *Aroma active compounds in foods: chemistry and sensory properties*. Washington, DC: American Chemical Society; 2001. p. 183-195.
14. Stadler RH, Verzeznassi L, Varga N, Grigorov M, Studer A, Riediker S, Schilter B. Formation of vinylogous compounds in model Maillard reaction systems. *Chemical Research in Toxicology*. 2003 Oct 20;16(10):1242-1250.
15. Yaylayan VA, Stadler RH. Acrylamide formation in food: a mechanistic perspective. *Journal of AOAC International*. 2005 Ene 1;88(1):262-267.

16. Gökmen V, Şenyuva HZ, Dülek B, Cetin AE. Computer vision-based image analysis for the estimation of acrylamide concentrations of potato chips and french fries. *Food Chemistry*. 2007 Ene 1;101(2):791-798.
17. Corradini MG, Peleg M. Linear and non-linear kinetics in the synthesis and degradation of acrylamide in foods and model systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2006 Sep 1;46(6):489-517.
18. Capuano E, Oliviero T, Açar ÖÇ, Gökmen V, Fogliano V. Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat-rich model systems. *Food Research International*. 2010 May 1;43(4):1021-1026.
19. Kumar J, Das S, Teoh SL. Dietary Acrylamide and the Risks of Developing Cancer:: Facts to Ponder. *Frontiers in nutrition*. 2018 Feb 28;5(14):1-12.
20. Erkekoğlu P, Baydar T. Toxicity of acrylamide and evaluation of its exposure in baby foods. *Nutrition research reviews*. 2010 Dic;23(2):323-333.
21. EUR-Lex. REGLAMENTO (UE) 2017/2158 DE LA COMISIÓN de 20 de noviembre de 2017 por el que se establecen medidas de mitigación y niveles de referencia para reducir la presencia de acrilamida en los alimentos [Internet]. Europa: Unión Europea; 2017 [citado 27 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R2158&from=EN>
22. Food and Drug Administration. Guidance for Industry Acrylamide in Foods [Internet]. Estados Unidos: FDA; 2016 [citado 27 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.fda.gov/media/87150/download>

23. Codex Alimentarius. Understanding acrylamide [Internet]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización Mundial de la Salud; 2017 [citado 29 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/news-and-events/news-details/en/c/469042/>
24. Whitehurst RJ, van Oort M, editores. *Enzymes in Food Technology*. 2a ed. Singapur: Wiley-Blackwell; 2010. p. 62.
25. Pedreschi F, Kaack K, Granby K. The effect of asparaginase on acrylamide formation in French fries. *Food chemistry*. 2008 Jul 15;109(2):386-392.
26. Babu PA, Aafrin BV, Archana G, Sabina K, Sudharsan K, Sivarajan M, Sukumar M. Effects of polyphenols from *Caralluma fimbriata* on acrylamide formation and lipid oxidation—An integrated approach of nutritional quality and degradation of fried food. *International Journal of Food Properties*. 2017 Jun 3;20(6):1378-1390.
27. Sewalt V, Shanahan D, Gregg L, La Marta J, Carrillo R. The Generally Recognized as Safe (GRAS) process for industrial microbial enzymes. *Industrial Biotechnology*. 2016 Oct 1;12(5):295-302.
28. Kotsiou K, Tasioula-Margari M, Kukurová K, Ciesarová Z. Impact of oregano and virgin olive oil phenolic compounds on acrylamide content in a model system and fresh potatoes. *Food Chemistry*. 2010 Dic 15;123(4):1149-1155.
29. Zhang Y, Chen X, Cheng J, Jin C, Zhang Y. The reduction effect of dietary flavone C- and O-glycosides on the formation of acrylamide and its correlation and prediction with the antioxidant activity of Maillard reaction products. *RSC Advances*. 2014 Jun 5;4(46):24147-24155.

30. Zhang Y, Chen J, Zhang X, Wu X, Zhang Y. Addition of antioxidant of bamboo leaves (AOB) effectively reduces acrylamide formation in potato crisps and French fries. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2007 Ene 24;55(2):523-528.
31. Salazar R, Arámbula-Villa G, Hidalgo FJ, Zamora R. Mitigating effect of piquin pepper (*Capsicum annuum* L. var. *Aviculare*) oleoresin on acrylamide formation in potato and tortilla chips. *LWT-Food Science and Technology*. 2012 Oct 1;48(2):261-267.
32. Morales G, Jimenez M, Garcia O, Mendoza MR, Beristain CI. Effect of natural extracts on the formation of acrylamide in fried potatoes. *LWT-Food Science and Technology*. 2014 Oct 1;58(2):587-593.
33. Murthy HN, Bapat VA, editores. *Bioactive Compounds in Underutilized Fruits and Nuts*. Suiza: Springer International Publishing; 2020. p. 330-331.
34. Fracassetti D, Costa C, Moulay L, Tomás-Barberán FA. Ellagic acid derivatives, ellagitannins, proanthocyanidins and other phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of two powder products from camu-camu fruit (*Myrciaria dubia*). *Food chemistry*. 2013 Ago 15;139(1-4):578-588.
35. Cunha-Santos EC, Viganó J, Neves DA, Martínez J, Godoy HT. Vitamin C in camu-camu [*Myrciaria dubia* (HBK) McVaugh]: evaluation of extraction and analytical methods. *Food research international*. 2019 Ene 1;115:160-166.
36. Rodrigues RB, De Menezes HC, Cabral LM, Dornier M, Reynes M. An Amazonian fruit with a high potential as a natural source of vitamin C: the camu-camu (*Myrciaria dubia*). *Fruits*. 2001 Sep 1;56(5):345-354.

37. Chirinos R, Galarza J, Betalleluz-Pallardel I, Pedreschi R, Campos D. Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu camu (*Myrciaria dubia* (HBK) McVaugh) fruit at different maturity stages. *Food chemistry*. 2010 Jun 15;120(4):1019-1024.
38. Hamzalıoğlu A, Gökmen V. Role of bioactive carbonyl compounds on the conversion of asparagine into acrylamide during heating. *European Food Research and Technology*. 2012 Dic 1;235(6):1093-1099.
39. Zeng X, Cheng KW, Jiang Y, Lin ZX, Shi JJ, Ou SY, Chen F, Wang M. Inhibition of acrylamide formation by vitamins in model reactions and fried potato strips. *Food Chemistry*. 2009 Sep 1;116(1):34-39.
40. Muñoz Jáuregui AM, Ramos-Escudero DF, Alvarado-Ortiz Ureta C, Castañeda Castañeda B. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2007 Jul;73(3):142-149.
41. Akter MS, Oh S, Eun JB, Ahmed M. Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. *Food Research International*. 2011 Ago 1;44(7):1728-1732.
42. Muñoz Jáuregui AM, Ramos-Escudero F, Alvarado-Ortiz Ureta C, Castañeda Castañeda B, Lizaraso Caparó F. Evaluación de compuestos con actividad biológica en cáscara de camu camu (*Myrciaria dubia*), guinda (*Prunus serotina*), tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) y carambola (*Averrhoa carambola* L.) cultivadas en Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 2009 Oct;75(4):431-438.

43. Kaneshima T, Myoda T, Nakata M, Fujimori T, Toeda K, Nishizawa M. Antioxidant activity of C-Glycosidic ellagitannins from the seeds and peel of camu-camu (*Myrciaria dubia*). *LWT-Food Science and Technology*. 2016 Jun 1;69:76-81.
44. Zanatta CF, Cuevas E, Bobbio FO, Winterhalter P, Mercadante AZ. Determination of Anthocyanins from Camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC–PDA, HPLC–MS, and NMR. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005 Nov 30;53(24):9531-9535.
45. Andina. Gobierno prevé elevar consumo de papa a 92 kilos por persona al 2021 [Internet]. Perú: Andina; 2019 [citado 28 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-gobierno-preve-elevar-consumo-papa-a-92-kilos-persona-al-2021-752964.aspx>
46. Scott GJ, Ocampo JP. Costos efectivos, tasas de cambio y competitividad: El caso de los procesadores de papa en Lima. *Custos e@ gronegocio*. 2013;9(2):2-26.
47. Diario Gestión. Perú importó 24,000 toneladas de papas precocidas por US\$ 23 millones [Internet]. Perú: Gestión; 2015 [citado 28 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/peru-importo-24-000-toneladas-papas-precocidas-us-23-millones-92532-noticia/?ref=gesr>
48. Obregón PA, Obregón AF. Obtención de un alimento liofilizado a base de maracuyá (*Passiflora edulis*) y camu camu (*Myrciaria dubia*). *Journal of Agro-Industry Sciences*. 2019 Jun 25;1(1):17-24.

49. Alvis R, Pino J, Gonzáles J, Francia JC, Shiga B. Efecto citoprotector del camu-camu *Myrciaria dubia* en tres líneas celulares de ratón expuestos in vivo a bromato de potasio. *Revista peruana de biología*. 2010 Dec;17(3):389-392.
50. Waterhouse AL. Determination of total phenolics. *Current protocols in food analytical chemistry*. 2002 Nov;6(1):I1.1.1-I1.1.8.
51. Atanassova M, Georgieva S, Ivancheva K. Total phenolic and total flavonoid contents, antioxidant capacity and biological contaminants in medicinal herbs. *Journal of the University of Chemical Technology & Metallurgy*. 2011 Mar 1;46(1):81-88.
52. Molina-Garcia L, Santos CS, Melo A, Fernandes JO, Cunha SC, Casal S. Acrylamide in chips and French fries: A novel and simple method using xanthidrol for its GC-MS determination. *Food Analytical Methods*. 2015 Jul 1;8(6):1436-1445.
53. Radhika MS, Nair KM, Kumar RH, Rao MV, Ravinder P, Reddy CG, Brahmam GN. Micronized ferric pyrophosphate supplied through extruded rice kernels improves body iron stores in children: a double-blind, randomized, placebo-controlled midday meal feeding trial in Indian schoolchildren. *The American journal of clinical nutrition*. 2011 Nov 1;94(5):1202-1210.