



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DETERMINACIÓN DEL PERFIL FENÓLICO DE LOS PRINCIPALES
FRUTOS, GRANOS Y TUBÉRCULOS CONSUMIDOS EN LA REGIÓN
SIERRA DE ECUADOR

AUTOR

FRANCIS XAVIER GARCÍA ROMÁN

AÑO

2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DETERMINACIÓN DEL PERFIL FENÓLICO DE LOS PRINCIPALES FRUTOS,
GRANOS Y TUBÉRCULOS CONSUMIDOS EN LA REGIÓN SIERRA DE
ECUADOR.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Biotecnología

Profesor Guía

PhD. José Miguel Álvarez Suárez

Autor

Francis Xavier García Román

Año

2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Determinación del perfil fenólico de los principales frutos, grano y tubérculos consumidos en la región sierra de Ecuador, a través de reuniones periódicas con el estudiante Francis Xavier García Román, en el semestre 201920, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

José Miguel Álvarez Suárez
Doctor en Alimentación y Salud
CI: 1756653372

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, determinación del perfil fenólico de los principales frutos, grano y tubérculos consumidos en la región sierra de Ecuador, del Francis Xavier García Román, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Eduardo Tejera Puente

Doctor en Ciencias Farmacéuticas-Especialidad Bioquímica

CI: 1756501977

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de nuestra autoría, que han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

Francis Xavier García Román

CI: 1717647331

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mis padres por darme la oportunidad y apoyo a estudiar. A los maestros que me guiaron paso a paso en la carrera para ser un mejor profesional y persona.

Mi más sincero agradecimiento al PhD José Miguel Álvarez Suárez, por brindarme la oportunidad, apoyo, conocimientos y orientación para ejecutar el proyecto. A las personas que conforman la Dirección General de Investigación de la UDLA, Genoveva, Gabriel, Ángela e Irina por acompañarme y ayudarme en el desarrollo del proyecto.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi madre Marcia, por ser mi pilar fundamental, mi ejemplo a seguir, mi guía y mi soporte. A mi padre Hitler, por sus consejos, paciencia, cuidado y generosidad. A mi hermano Christian, por ayudarme en momentos difíciles. A mis mascotas Chesito, Pesho, Tommy y Luna por ser mis fieles compañeros. A mis amigos, que me enseñaron a valorar los pequeños momentos.

A Daniela, quién ha sido mi mayor apoyo para tomar las mejores decisiones y es la persona que con su amor me ha permitido hacer más liviano este camino.

RESUMEN

En la última década con el avance continuo de la ciencia se ha logrado evidenciar varios efectos beneficiosos de los diferentes compuestos fenólicos sobre la salud humana como potencial antioxidantes, control de procesos metabólicos, etc. El consumo continuo de compuestos antioxidantes es relacionado con la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) como cáncer, diabetes, enfermedades crónicas respiratorias y cardiovasculares, ya que su desarrollo se asocia con el estrés oxidativo. Por este motivo, se ha buscado productos naturales que se consuman normalmente en la dieta y tengan capacidad antioxidante, como son los frutos, legumbres, tubérculos, entre otros. Ecuador es conocido por ser un país con gran diversidad de flora, lo que ha motivado que se desarrollen distintos tipos de jugos y bebidas basadas en productos vegetales. Este hábito puede producir beneficios para la prevención de enfermedades que se relacionen con la edad y el estilo de vida de las personas. Por tal razón, el objetivo general de este estudio fue determinar el perfil fenólico de los principales frutos, granos y tubérculos consumidos en la región sierra de Ecuador. Para lo que se realizó una extracción con un disolvente orgánico, como es el metanol (80%). Para la caracterización de los ácidos fenólicos se empleó la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con una fase móvil compuesta de ácido fórmico (0.1%) y acetonitrilo puro. De este análisis se obtuvo que los frutos son los productos vegetales con mayor variedad y contenido de ácidos fenólicos, siendo el babaco, cacao y tomate de árbol el fruto con más variedad y la vainilla el de mayor concentración de ácidos fenólicos totales ($486,45 \pm 133,28$ mg/100g de PS). Sin embargo, el frejol blanco y la oca pertenecientes a los grupos de granos y tubérculos respectivamente, también poseen una elevada concentración de ácidos fenólicos totales. En conclusión, se recomienda realizar un análisis más extenso, con un número mayor de estándares y muestras homogéneas, con respecto a su procedencia y etapa de maduración.

ABSTRACT

In the last decade, with the continuous advance of science, has been possible to demonstrate several beneficial effects of the different phenolic compounds on human health as potential antioxidants, control of metabolic processes, etc. The continuous consumption of antioxidant compounds is related to the prevention of chronic noncommunicable diseases such as cancer, diabetes, chronic respiratory and cardiovascular diseases, since that as their development is associated with oxidative stress. For this reason, it has been searched natural products that are normally consumed in the diet and have antioxidant capacity, such as fruits, legumes, tubers, among others. Ecuador is known for being a country with a great diversity of flora and fauna, which has led to the development of different types of juices and drinks based on vegetable products. This habit can bring benefits for the prevention of diseases that are related to the age and lifestyle of people. For this reason, the general objective of this study was to determine the phenolic profile of the main fruits, grains and tubers consumed in the highlands of Ecuador. For which an extraction was carried out with an organic solvent, such as methanol (80%). For the characterization of phenolic acids, the high resolution liquid chromatography (HPLC) technique was used with a mobile phase composed of formic acid (0.1%) and pure acetonitrile. From this analysis it was obtained that the fruits are the vegetal products with greater variety and content of phenolic acids. The babaco, cocoa and tree tomatoe were the fruits with more variety and the vanilla the one of greater quantity of total phenolic acids ($486,45 \pm 133,28$ mg/100g de PS). However, the white bean and the goose belonging to the groups of grains and tubers respectively, also have a high concentration of total phenolic acids. In conclusion, it is recommended to perform a more extensive analysis, with a greater number of standards and homogeneous samples, with respect to its origin and stage of maturation.

ÍNDICE

1. Capítulo I. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Objetivo general y objetivos específicos	4
1.3.1. Objetivo general:.....	4
1.3.2. Objetivos específicos:.....	4
1.4. Justificación	5
2. Capítulo II. Marco teórico	5
2.1. Características de los frutos, granos y tubérculos	5
2.1.1. Frutos	5
2.1.2. Granos	8
2.1.3. Tubérculos	9
2.1.4. Principales frutos, granos y tubérculos en la alimentación andina de Ecuador	11
2.2. Ácidos Fenólicos.....	12
2.2.1. Generalidades	12
2.2.2. Estructura química.....	12
2.2.3. Clasificación.....	13
2.2.4. Funciones biológicas	29
2.2.5. Ácidos fenólicos en frutos.....	30
2.2.6. Ácidos fenólicos en granos	31
2.2.7. Ácidos fenólicos en tubérculos	31
3. Capítulo III. Procedimientos	32
3.1. Población	32
3.2. Muestra	32

3.3. Materiales y métodos para la obtención de datos experimentales.....	34
3.3.1. Diagrama de flujo del procedimiento realizado.....	34
3.3.2. Preparación de los extractos metanólicos.....	34
3.3.3. Concentración y purificación de los ácidos fenólicos.....	35
3.3.4. Determinación del perfil de ácidos fenólicos.....	35
3.3.5. Evaluación estadística de los resultados.....	37
4. Capítulo IV. Resultados y Discusión.....	37
4.1. Contenido de ácidos fenólicos en frutos.....	37
4.2. Contenido de ácidos fenólicos en granos.....	42
4.3. Contenido de ácidos fenólicos en tubérculos.....	44
4.4. Contenido total de ácidos fenólicos evaluados en frutos, granos y tubérculos.....	47
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	49
5.1. Conclusiones.....	49
5.2. Recomendaciones.....	49
REFERENCIAS.....	51

1. Capítulo I. Introducción

1.1. Antecedentes

El estrés oxidativo (EO) es el proceso que deteriora a las células, debido a la formación de radicales libres y es provocado por un desbalance entre los compuestos antioxidantes y la formación de especies reactivas de oxígeno (ERO). La principal vía endógena para el desarrollo de estas especies se da por la respiración celular, producida en las mitocondrias. No obstante, hay otras causas para que se generen las ERO que son: las relaciones epigenéticas y los factores externos como los contaminantes ambientales, el estilo de vida, la comida con bajo índice nutricional (comida rápida) y la radiación (Ramírez-Garza et al., 2018). Todo esto en conjunto provoca que se genere el estrés oxidativo, el que produce una oxidación de las diferentes biomoléculas (ADN, proteínas y lípidos) alterando su estructura e inhibiendo su función. Por lo tanto, el EO es considerado como un factor muy importante en diferentes enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) como: enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes mellitus, enfermedades respiratorias crónicas, enfermedad de Parkinson, esclerosis lateral amiotrófica, etc. (Maslov et al., 2018).

El estrés oxidativo afecta a varios procesos de los organismos como son la señalización celular y las distintas funciones que realizan varios tipos de células como las sanguíneas, tumorales y nerviosas (Ramírez-Garza et al., 2018). De hecho, elevados niveles de ERO se consideran como una de las razones principales causas para la generación de ECNT. Por ejemplo, la formación del cáncer y su progresión se relacionan con el EO, debido al aumento de mutaciones o daños en el ADN (Maslov et al., 2018).

Hoy en día existen terapias para las enfermedades crónicas no transmisibles con dietas basadas en alimentos ricos en antioxidantes (Medina, Gil-Izquierdo, Durand, Ferreres, & Domínguez-Perles, 2018). Los antioxidantes son biomoléculas que se encuentran de forma natural en la dieta (frutas y verduras) o a través de compuestos sintéticos y previenen la oxidación de otras moléculas (Ghaffari & Roshanravan, 2019). Estos se encargan de neutralizar el daño causado por los radicales libres. Hoy en día, entre los antioxidantes de mayor interés encontramos los compuestos fenólicos (grupo al que pertenecen los ácidos fenólicos), vitamina C, vitamina E, β -carotenos, antocianinas, licopenos y taninos (Medina et al., 2018).

Entre los compuestos mencionados, encontramos a los ácidos fenólicos que son fitoquímicos antioxidantes producidos como metabolitos secundarios en las plantas y constituyen uno de los grupos más abundantes de compuestos orgánicos del reino vegetal. Inclusive se ha determinado un aproximado de 8000 diferentes compuestos fenólicos (Al Jitan, Alkhoori, & Yousef, 2018).

En la actualidad existen estudios que comprueban los efectos beneficiosos que tienen los ácidos fenólicos de fuentes naturales sobre la salud humana. Inclusive se ha logrado asociar el consumo de alimentos ricos en ácidos fenólicos con la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles como los trastornos cardiovasculares, el cáncer y la diabetes, debido a su relación con el estrés oxidativo (De la Rosa, Moreno-Escamilla, Rodrigo-García, & Alvarez-Parrilla, 2018).

Estudios previos sugieren que existe una relación entre el consumo de ácidos fenólicos y el cáncer. Al evaluar la actividad antioxidante y la influencia de los

ácidos sobre la viabilidad celular, la progresión celular y la tasa de apoptosis en células de adenocarcinoma de colon humano (HT-29) se han obtenido resultados que demuestran que los ácidos 3,4-dihidroxifenilacético, p-cumárico, vanílico y ferúlico reducen la viabilidad celular en el cáncer de colon humano, siendo el ácido 3,4-dihidroxifenilacético la sustancia con mayor potencial para estudios in vivo (Rosa et al., 2018).

En la actualidad se ha incrementado la demanda sobre información de alimentos naturales ricos en compuestos antioxidantes a nivel mundial y se conoce de forma general que los cereales, los frutos, las hojas, los granos, las semillas, los tubérculos son alimentos con alta concentración de estos (De la Rosa et al., 2018). Sin embargo, cabe mencionar que la sierra ecuatoriana posee como peculiaridad sus condiciones ambientales (clima, presión, etc.), las que someten a la planta a un estrés abiótico, lo que puede modificar la concentración de ácidos fenólicos en los productos vegetales.

En Ecuador se han realizado reportes sobre los antioxidantes de algunos frutos donde se ha comprobado que el taxo y la mora de castilla tienen una elevada concentración de ácidos fenólicos totales (Vasco, Ruales, & Kamal-Eldin, 2008). Inclusive se ha identificado que la oca posee elevada concentración de ácidos fenólicos (á. vanílico, á. cafeico y á. cinámico) (Chirinos et al., 2009).

1.2. Planteamiento del problema

A nivel mundial existe necesidad de fuentes naturales para la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles provocadas por el estrés oxidativo, las que tienen un elevado índice de mortalidad. Hoy en día, se conoce que las

enfermedades cardiovasculares tienen la mayor tasa de mortalidad (17,9 millones por año), seguida de cáncer (9 millones por año), enfermedades respiratorias (3,9 millones por año) y la diabetes (1,6 millones por año) (OMS, 2014). El gran número de muertes ha motivado a que se busquen alternativas.

En Ecuador un tercio de frutos, granos o tubérculos han sido estudiado, lo que indica que existe gran desconocimiento en la sociedad sobre sus propiedades nutricionales y el aporte de compuestos bioactivos. Un claro ejemplo, es el bajo número de estudios que existe sobre un tubérculo en particular la oca, la que posee elevadas capacidades antiinflamatorias debido a que tiene alta concentración de ácidos fenólicos (Chirinos et al., 2009).

1.3. Objetivo general y objetivos específicos

1.3.1. Objetivo general:

- Determinar el perfil fenólico de los principales frutos, granos y tubérculos consumidos en la región sierra de Ecuador

1.3.2. Objetivos específicos:

- Identificar el perfil de ácidos fenólicos en los principales frutos, granos y tubérculos consumidos en la región sierra de Ecuador.
- Cuantificar el contenido de ácidos fenólicos en los principales frutos, granos y tubérculos consumidos en la región sierra de Ecuador

- Comparar el contenido total de ácidos fenólicos entre los diferentes frutos, granos y tubérculos consumidos en la región sierra de Ecuador.

1.4. Justificación

Hoy en día existe poco conocimiento sobre perfiles fenólicos en los principales frutos, granos y tubérculos consumidos en Ecuador, lo que conlleva a una elevada demanda de investigaciones en esta área. Por todo lo antes planteado, el presente estudio propone identificar los principales ácidos fenólicos, así como su concentración, en las principales fuentes naturales (frutos, granos y tubérculos) consumidas en la región sierra de Ecuador. Los resultados aquí obtenidos servirán de base para proponer un mayor consumo de este tipo de alimentos como fuente natural de compuestos bioactivos con efectos beneficiosos para la salud y en la prevención de ECNT, en la producción y extracción de estos compuestos, y en la elaboración de posibles nutraceuticos y otros productos.

2. Capítulo II. Marco teórico

2.1. Características de los frutos, granos y tubérculos

2.1.1. Frutos

Se conoce que para obtener una dieta balanceada se deben consumir frutos. Los frutos son productos vegetales de naturaleza carnosa que se pueden ingerir sin preparación previa. Estos se caracterizan por estar compuesto de agua (75% al

96%), hidratos de carbono, de fibra insoluble y soluble, minerales, vitamina, ácidos orgánicos y polifenoles (Vázquez et al., 2015).

En los frutos, los glúcidos (primordialmente la fructosa) varían en relación al tipo del alimento, sin embargo su porcentaje se encuentra entre el 5% al 20% en frutos frescos. La concentración de glúcidos en frutos depende de la maduración, es decir un fruto verde (no maduro) contiene principalmente almidón, pero este se convierte en fructosa a medida que su tiempo de maduración avanza, de tal manera que un fruto maduro puede contener el 20% de fructosa y un porcentaje menor a 1% de almidón. Los frutos secos pueden contener hasta el 70% de fructosa (Panda, 2013).

Las fibras son productos conformados de lignina e hidratos de carbono que resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas del ser humano, pero que se descompone por la microbiota produciendo ácidos grasos de cadena corta, H_2O , CO_2 , CH_4 y H_2 . La fibra soluble, viscosa y fermentable como algunas hemicelulosa, lignina y celulosa están presentes con abundancia en frutos. La fibra insoluble, se encuentra mayormente en cereales (Vázquez et al., 2015).

Los frutos poseen elevadas concentraciones de vitaminas y minerales. No obstante, los frutos secos son aquellos que contienen mayor concentración de micronutrientes. De manera general la concentración de micronutrientes se diferencia con el grado de madurez, el tipo de cultivo, los fertilizantes empleados y la cantidad de sol recibida (Obenchain & Spark, 2015).

Los principales minerales encontrados en frutos son tres, magnesio (Mg), potasio (K) y calcio (Ca). El magnesio se encuentra de 10 a 100 mg/100g de fruto. El potasio de 100 a 1500 mg/100g de fruto. El calcio de 10 a 50 mg/100g de fruto. La absorción del Ca se dificulta por ciertos ácidos orgánicos como el fítico y el oxálico, que producen el oxalato-cálcico, compuesto insoluble en el intestino y se favorece con la vitamina C y el ácido cítrico. Por este motivo, se considera que los frutos suponen el segundo grupo de alimentos que aportan calcio, después de los lácteos (Panda, 2013).

Los frutos son ricos en provitamina A y en vitamina C. Existen principalmente 3 formas de vitamina A que se originan de la alimentación (retinoides, carotenoides y beta-carotenos). El retinol o vitamina A preformada se encuentra con mayor frecuencia en productos de origen animal. Los carotenoides y beta-carotenos (provitaminas A) están presentes comúnmente en productos de origen vegetal y aportan la mayor parte de las necesidades de vitamina A por en el organismo humano. Los frutos con colores más fuertes, como las zanahorias, son las que poseen mayor cantidad de carotenoides. El carotenoide de la sandía y el tomate se llaman licopeno y su ingesta se ha logrado relacionar con un menor riesgo de padecer cáncer de estómago, pulmón y próstata. Los frutos exóticos y cítricos son los que poseen mayor cantidad de vitamina C. Por ejemplo, la guayaba y papaya contienen de 100 a 200 mg/100g de fruto (Vázquez et al., 2015).

Los frutos tienen poca concentración proteica (1% al 2%), de oligoelementos y lípidos, a excepción del coco, las aceitunas y el aguacate. La grasa de las aceitunas y del aguacate es rica en ácidos grasos monoinsaturados (65% al 75%), mientras que el coco contiene principalmente ácidos grasos saturados (85%) (Obenchain & Spark, 2015).

Por la cantidad de agua, de fibra y la concentración limitada de nutrientes energéticos, se considera que los frutos poseen un contenido en kilocalorías por peso de alimento (densidad calórica) baja (Panda, 2013).

2.1.2. Granos

Los granos o también conocidos como semillas son frutos de diferentes productos vegetales, como las leguminosas, las oleaginosas, los cereales y otros semejantes, que se emplean como materia prima en la industria o en la alimentación. Los granos se clasifican dependiendo de varios factores, entre ellos la taxonomía y su uso. Entre los grupos más importantes podemos encontrar a los cereales, las oleaginosas y leguminosas. Cada grano tiene su propiedad físico-química y estructura (Panda, 2013).

Los granos más conocidos y empleados en la alimentación son los cereales, estos se encuentran en la familia de las gramíneas, las que producen una cariósida, es decir es un fruto seco que posee una semilla y un pericarpio. Entre los cereales más comunes podemos encontrar la quinua, el centeno, la avena, el sorgo, el trigo, la cebada, el arroz y el maíz (Vázquez et al., 2015).

Las oleaginosas y leguminosas se encuentran en el grupo de legumbres, que son un tipo de planta que posee un fruto de clase monocarpelar dehiscente (fruto con la capacidad de abrirse de manera especializada para permitir la liberación de semillas). Este tipo de granos son ricos en aminoácidos esenciales y se conforman de un 20% a 30% de proteínas (Obenchain & Spark, 2015).

Las leguminosas se constituyen de una vaina que contiene diversas semillas, que en gran parte de los casos en la zona útil del fruto. La cubierta exterior es el

pericarpio, que en la etapa de maduración es una especie de cascara con algunas fisuras abiertas en los dos bordes. Entre las especies con mayor relevancia podemos encontrar al garbanzo, lenteja, arveja, frijol y haba (Panda, 2013).

Las oleaginosas se caracterizan fundamentalmente porque sus frutos poseen una elevada concentración de aceites, grasas alimentarias y compuestos de uso agroindustrial. Entre los granos de este tipo más representativos se encuentran los frutos de la palma, semillas de algodón, maní, canola, higuera, ajonjolí, soya y girasol (Vázquez et al., 2015)..

Los granos son parte principal de la alimentación, ya que provee elementos indispensables para la vida humana como son los minerales, vitaminas, grasas y carbohidratos. Las diferentes partes de la estructura de los granos se conforman de diferente composición bioquímica y química. El endospermo posee proteínas y almidón, por otro lado, el embrión tiene vitaminas, proteínas y grasa. El pericarpio posee elevadas concentraciones de carbohidratos y minerales (Panda, 2013).

2.1.3. Tubérculos

Los tubérculos son productos alimenticios principalmente energéticos otorgando alrededor de 86 kcal por cada 100 g consumidos. La cantidad de proteínas, de vitaminas y el aporte de fibra, como de elementos no nutritivos como son fitoestrógenos ha incrementado el interés de los aspectos sobre la salud humana, de estos alimentos. El aumento de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) en la sociedad y la relación con las alteraciones dietéticas ocurridas en estas, en conjunto a la reducción de ingesta de productos vegetales, realiza que

los frutos, granos y tubérculos posean un papel prioritario en la investigación sobre tratamientos preventivos en ECNT (Obenchain & Spark, 2015).

Los tubérculos son las zonas engrosadas de los tallos que se encuentran bajo tierra o de las raíces vegetales. Los tubérculos de mayor consumo son la papa, el camote, la oca, las chufas, el melloco, la batata, el boniato. Estos productos se consumen en todo el mundo y representa en el caso de la papa y sus variedades uno de los primordiales cultivos en el planeta. Su importancia yace antes del desarrollo de los frigoríficos domésticos, por la oportunidad de mantener durante un tiempo muy prolongado alimentos altamente energéticos. Sin embargo, por los cambios sociales y culturales sucedidos en países desarrollados su consumo va disminuyendo paulatinamente (Vázquez et al., 2015).

Los tubérculos son ricos en almidón e hidratos de carbono, lo que ocasiona un valor nutritivo estable. En culturas que es alto el consumo diario, los tubérculos son la fuente principal de vitamina C. Estos están conformado de piel (con elevado contenido de minerales y fibra), pulpa (es rica en hidratos de carbono y fibrosa) y una zona central llamada médula. La mayor parte de los tubérculos es agua, entre un 75% a 80%, con el almidón como principales compuestos orgánicos (aproximadamente un 20%). En un proceso de cocción este almidón se gelatiniza, ya que absorbe agua, lo que mejora el sabor de los tubérculos (Panda, 2013).

Los tubérculos comestibles, como la papa, el melloco, la oca, entre otros poseen un índice elevado de poder saciante, que por la menor concentración de hidratos de carbono en comparación con los granos, ayuda a no ganar peso a individuos con diabetes o sobrepeso. No obstante, su alto índice de glúcidos independiente

de la madurez, la variedad y el tiempo de cocción, ha reducido su consumo en personas con estas enfermedades (Obenchain & Spark, 2015).

La materia nitrogenada de los tubérculos, conformada de proteínas de alto valor biológico, representa el 2% y la mitad son vitaminas y minerales. Los tubérculos de manera general son una buena fuente tiamina, vitamina B6, folatos, potasio (K) y hierro (Fe). Poseen concentraciones significativas de vitamina C, aproximadamente de 5 a 50 mg/100 g de fruto, es decir 1/3 de la proporción recomendada por día. Además, estas también aportan fibra, porque contienen alrededor de 4 g /200 g de frutos, sin quitar su piel. Los tubérculos no contienen grandes cantidades de grasa vegetal, a excepción si su consumo es como fritos, porque esta forma elimina el agua del tubérculo como vapor y absorbe la grasa del medio en que se encuentra (Vázquez et al., 2015).

2.1.4. Principales frutos, granos y tubérculos en la alimentación andina de Ecuador

La alimentación es una acción que se relaciona con la estructura económica, laboral y social de una cultura. Los patrones alimentarios demuestran los hábitos dentro de una comunidad, los que son influenciados por la población, cultura, tradición y costumbre. De nivel general, la globalización alimentaria y la transición nutricional han ocasionado que los hábitos alimentarios de los humanos cambien, lo que ha provocado un aumento de factores de riesgo en las enfermedades crónicas no transmisibles, no obstante países con gran biodiversidad como Ecuador, se caracteriza por tener una gran abundancia de productos naturales que se encuentran disponible en la dieta diaria de los ciudadanos (Universidad San Francisco, 2018).

Ecuador es reconocido por la producción de ciertos frutos, granos y tubérculos, por su gran variedad de zonas climáticas y factores ambientales que promueve la producción de estos. Entre los principales podemos encontrar al aguacate, arveja babaco, banano, borojón, cacao, camote, capulí, chirimoya, chocho, ciruela claudia, coco, durazno, frejol blanco, canario, negro y panamito, frutilla, granadilla, guaba, haba, kiwi, lima, limón, lúcuma, mandarina, manzana, maracuyá, melloco, mora, naranja, naranjilla, papa, papaya, pepino dulce, piña, pitahaya, taxo, tomate de árbol, toronche, toronja, tuna, uvilla y yuca (Crowder, 2009).

2.2. Ácidos Fenólicos

2.2.1. Generalidades

Los ácidos fenólicos son compuestos que se sintetizan a partir de moléculas de fenilpropanoides que sufren variase reacciones de hidroxilación y metilación en la ruta del ácido shikímico que tiene lugar en el citosol de la célula vegetal. Estos normalmente se encuentran ligados mediante enlaces éster, éter o acetal a moléculas más grandes como flavonoides, carbohidratos, terpenos, entre otros y representa aproximadamente un tercio de los compuestos fenólicos total adquiridos en la dieta (Atta-ur-Rahman, 2018).

2.2.2. Estructura química

Los ácidos fenólicos se conforman estructuralmente de un grupo fenilo ligado a un hidroxilo y a un grupo carboxílico (véase Figura 1) (De la Rosa et al., 2018).

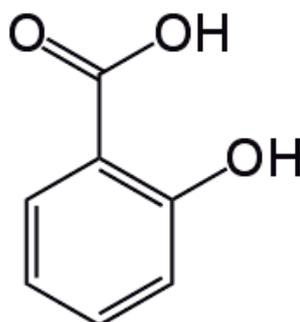


Figura 1. Ejemplo de estructura química de un ácido fenólico.
Tomado de (NIH, 2019)

2.2.3. Clasificación

Los ácidos fenólicos se dividen en dos grandes grupos, que son los ácidos hidroxibenzoicos y ácidos hidroxicinámicos (De la Rosa et al., 2018).

2.2.3.1. Ácidos hidroxicinámicos

Los ácidos hidroxicinámicos se caracterizan por poseer un esqueleto C6-C3 del ácido trans-fenil-3-propenoico con uno o más enlaces hidroxilo y se conforma por 9 carbonos (véase Figura 2) y se encuentran normalmente unidos a moléculas más grandes o pequeñas. Los ácidos hidroxicinámicos que existen con mayor abundancia son ácido p-cumárico, ácido cafeico, ácido ferúlico y ácido sinápico. Sin embargo, existe un derivado de este grupo encontrado con gran frecuencia en alimentos, que es el ácido clorogénico y sus isómeros (neoclorogénico y criptoclorogénico), que proviene de un éster de los ácidos quínico y cafeico (De la Rosa et al., 2018).

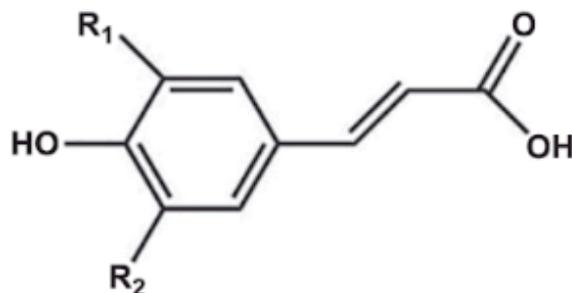


Figura 2. Estructura química de los ácidos hidroxicinámicos.

Tomado de (De la Rosa et al., 2018).

a) R₁ (radical 1) y R₂ (radical 2).

Los ácidos hidroxicinámicos en la dieta se producen naturalmente en la forma trans, aunque la isomerización geométrica a la cis se produce fácilmente a través de la radiación UV. Los tejidos de las plantas que están expuestos a una intensa radiación UV contienen isómeros-cis del ácido clorogénico (Spencer & Crozier, 2012).

2.2.3.2. Principales ácidos hidroxicinámicos encontrados en productos vegetales

- El ácido 3-(3,4-dihidroxifenil) propiónico, dihidrocafeico, 4-dihidroxihidrocinámico o DHCA es un compuesto monocarboxílico modificado, ya que es un derivado del ácido 3-fenilpropiónico cuya estructura sufre sustituciones en la posición 3 y 4 por grupos hidroxilo (véase Figura 3) (NIH, 2019).

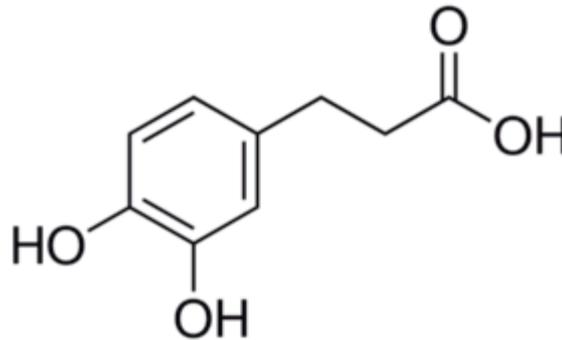


Figura 3. Estructura química del ácido 3-(3,4-dihidroxifenil) propiónico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido 3-(3,4-dihidroxifenil) propiónico resulta como producto de la hidrogenación de los ácidos cafeicoquínicos, que se forman en los biofluidos del ser humano, con potentes propiedades antioxidantes. El DHCA se detectó por primera vez en el plasma humano a consecuencia de la ingesta de café (Poquet, Clifford, & Williamson, 2008b). Su concentración incrementa con algunas fuentes dietéticas como productos elaborados a partir de extractos de hojas de alcachofa, frutos, verduras, granos, tubérculos, etc (Aladedunye & Przybylski, 2014). Estudios previos han demostrado que mejora de forma significativa la función plaquetaria en seres humanos, porque su estructura de catecol transmite una función antioxidante en el plasma y eritrocitos (Poquet, Clifford, & Williamson, 2008). A su vez, se han realizado investigaciones para probar su actividad antioxidante mediante el ensayo de FRAP (poder antioxidante para reducir el hierro), la que ha producido buenos resultados (Liang et al., 2019).

- El ácido 3-(4-hidroxifenil) propiónico o ácido plorético es un ácido hidroxil monocarboxílico que tiene en su estructura un grupo 4-hidroxifenilo en la

posición 3 (véase Figura 4). Es un derivado de un ácido cloretato (NIH, 2019).

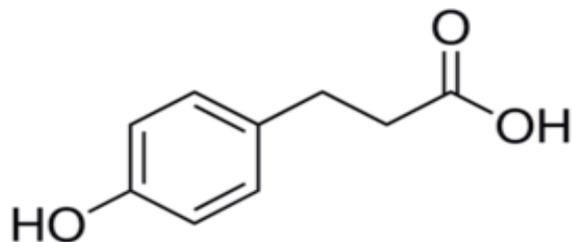


Figura 4. Estructura química del ácido 3-(4-hidroxifenil) propiónico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido 3-(4-hidroxifenil) propiónico es un compuesto general de la orina humana. Su concentración incrementa en pacientes con trastornos gastrointestinales (Totaro et al., 2017). Un producto de la síntesis de la tirosina. No obstante, también resulta del metabolismo de ácidos fenólicos de bacterias colonizadoras (Ye, Huang, Terefe, & Augustin, 2019).

- El ácido 3,4-dimetoxifenilacético o homoverátrico es un ácido hidroxicinámico con sustituciones de grupo metoxilo en las posiciones 3 y 4 (véase Figura 5) (NIH, 2019).

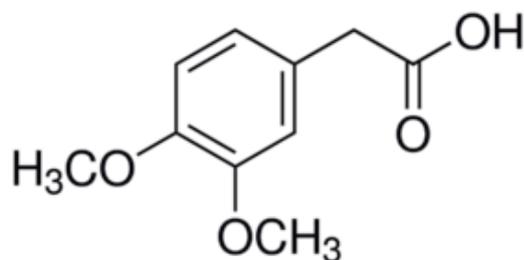


Figura 5. Estructura química del ácido 3,4-dimetoxifenilacético.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido 3,4-dimetoxifenilacético es el metabolito principal de la DMPEA (dimetoxifeniletamina) en la orina (LI, XIAN, & ZHAO, 2010). Estudios previos ha logrado evidenciar que existe una concentración más elevada de DMPEA y otras aminos en pacientes con trastornos esquizofrénicos que toman su medicación. Esto es debido a que el DMPEA es un metabolito di-metilado de L-DOPA, el tratamiento más usado para personas con enfermedades neurodegenerativas como el parkinson (Lee, Chan, & Mitchell, 2017).

- El ácido 4-hidroxifenilacético, 2-(4-hidroxifenil) acético o p-hidroxifenilacético es un ácido monocarboxílico derivado del ácido acético. Tiene la diferencia que de una sustitución por un hidroxifenilo en la posición 4 (véase Figura 6) (NIH, 2019).

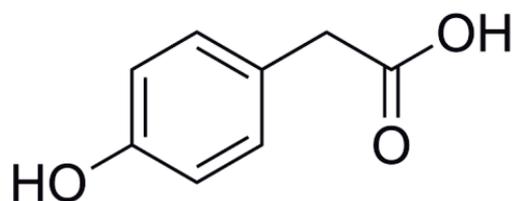


Figura 6. Estructura química del ácido 4-hidroxifenilacético.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido 4-hidroxifenilacético se clasifica como miembro del grupo de los 1-hidroxi-2 bencenoides no sustituidos, es decir son fenoles que no sufren de alguna sustitución en la posición 2 (Giambanelli, D'Antuono, Ferioli, Frenich, & Romero-González, 2018). Este ácido tiene una solubilidad ligera en ácido y agua. Asimismo, es un compuesto principal para sintetizar otros

metabolitos como el 2-(4-hidroxifenil) acetato de metilo, lactucopicrina 15-oxalato e ixeroquinolida (Flores et al., 2017).

El ácido 4-hidroxifenilacético se encuentra en varios alimentos como hongos, avena, cacao, y aceitunas. Además, se ha evidenciado que se encuentra en tejidos humanos y de mamíferos y en biofluidos (Amombo Noa & Jacobs, 2016). Dentro de la célula se localiza en el citoplasma y en el espacio extracelular (Thakur et al., 2018).

- El ácido 4-metoxifenilacético, 4-metoxibencenoacético o homoanísico es un ácido monocarboxílico derivado del ácido fenilacético que posee en su estructura un enlace metoxilo en la posición 4 (véase Figura 7) (NIH, 2019).

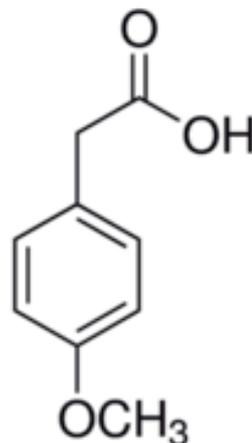


Figura 7. Estructura química del ácido 4-metoxifenilacético.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido 4-metoxifenilacético es un producto de la catecolamina y se encuentra en la orina humana, en el líquido cefalorraquídeo y en tejido

cerebral (Chen, Chen, & Tang, 2009). Este metabolito vegetal en la industria se emplea como intermediario de productos farmacéuticos y en la síntesis de otros compuestos orgánicos (Wu & Tang, 1999). Investigaciones anteriores han determinado que inhibe la germinación de semillas de lechuga y berro, porque funciona como retardante del crecimiento de la planta (Devulapelli & Weng, 2009).

- El ácido clorogénico o 3-cafeicoquinico es un éster cinamato que resulta por la condensación de un grupo carboxilo del ácido transcáfeico con el grupo hidroxilo de la posición 3 del ácido quínico (véase Figura 8). Este es un metabolito vegetal y un compuesto alimenticio (NIH, 2019).

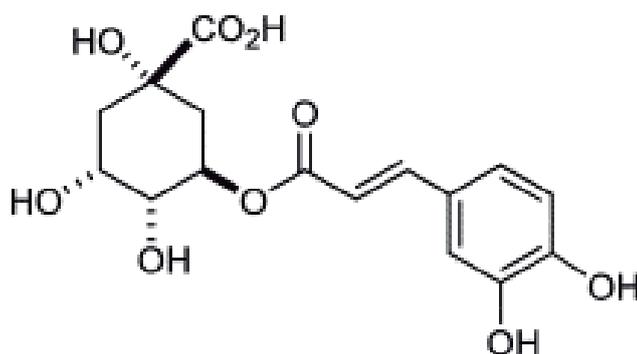


Figura 8. Estructura química del ácido clorogénico.

Tomado de (NIH, 2019)

Estudios previos, ha determinado que el ácido clorogénico es un inhibidor carcinogénico y tiene efectos que contrarrestan el estrés oxidativo (Wang et al., 2019). Además, se ha empleado en ensayos que lo utilizan como tratamiento de la intolerancia de la glucosa y en algunos cánceres avanzados (Siebert, Berger, & Nieter, 2018).

- El ácido ferúlico o transferúlico es un ácido que tiene grupos metoxilo e hidroxilo en la posición 3 y 4 del ácido transcinámico en el anillo fenilo (véase Figura 9) (NIH, 2019).

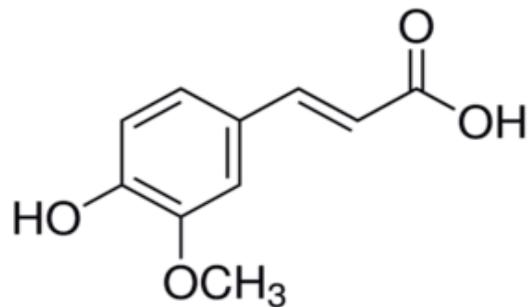


Figura 9. Estructura química del ácido ferúlico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido transferúlico es un compuesto fenólico elevadamente abundante en las paredes celulares de las plantas. Por ejemplo, en el trigo se puede alrededor de 5 g/kg, en la remolacha azucarera unos 9 g/kg y en el grano de maíz hasta 50 g/kg, que son plantas donde se ha determinado mayor cantidad de este ácido (Li, Liu, Tu, Li, & Yan, 2019). En las semillas normalmente se encuentra ligada por enlaces covalentes a compuestos como la lignina, arabinosilanos, pectina, proteínas (Condict, Kaur, Hung, Ashton, & Kasapis, 2019).

El ácido ferúlico por su núcleo fenólico y una conjugación de cadena lateral, única a proteínas y carbohidratos, incrementa su actividad antioxidante. Este ácido es fácilmente metabolizado por los humanos, ya que es absorbido por el intestino delgado y excretado a través de fluidos, como la orina (Umre et al., 2018). Estudio previos sugieren que el uso del ácido

transferúlico, al emplearse como tratamiento en pacientes con Alzheimer en complemento con la curcumina, puede reducir el daño oxidativo que produce este trastorno (Z. Xu, Wang, & Zhang, 2019). Además, se lo utiliza como antioxidante, material de matriz de MALDI, agente antiinflamatorio, agente cardioprotector, inhibidor de apoptosis y metabolito vegetal (Jo, Youn, Jun, & Cho, 2019).

- El ácido p-cumárico, 4-hidroxicinámico o p-hidroxicinámico es un ácido cumárico con sustitución de un grupo hidroxilo en el carbono 4 del anillo fenilo fenilo (véase Figura 10). De hecho es un ácido conjugado del ácido 4-cumarato que cumple un papel de metabolito vegetal (NIH, 2019).

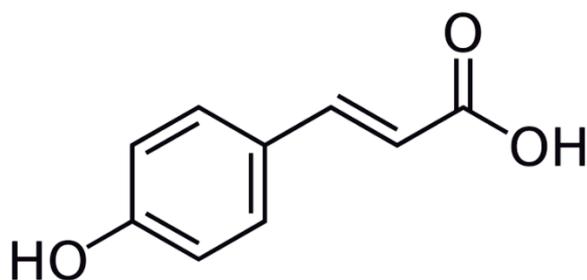


Figura 10. Estructura química del ácido p-cumárico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido p-cumárico es un polvo cristalino de coloración verde amarillenta. Este antioxidante normalmente se utiliza para potenciar el sabor, colorante (índigo), en perfumes y productos farmacéuticos (R. Xu, Xue, Huang, & Zhao, 2019).

- El ácido transcinámico o cinámico es un ácido monocarboxílico derivado del ácido acrílico con una sustitución de un grupo fenilo en la posición 3 (véase Figura 11). Este metabolito vegetal pertenece a la familia de los estirenos, siendo un ácido conjugado de un cinamato (NIH, 2019).

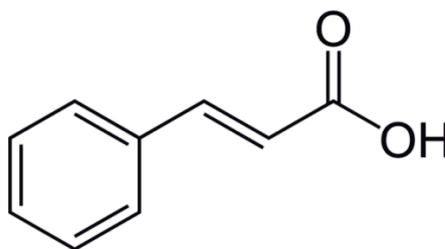


Figura 11. Estructura química del ácido transcinámico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido transcinámico es un ácido cristalino blanco inodoro con una solubilidad ligera en agua y que se encuentra con abundancia en el árbol *Cinnamomum cassia* (Garcia-Jimenez et al., 2018).

2.2.3.3. Ácidos hidroxibenzoicos

Los ácidos hidroxibenzoicos se caracterizan por poseer un esqueleto C6-C1 conformado de 7 carbonos (véase Figura 12) e inusualmente se localizan en su forma libre, generalmente están glicosilados y unidos a componentes de la célula vegetal (lignina, proteínas o celulosa) o a pequeños ácidos orgánicos (tartárico, maleico o quínico). Entre los ácidos hidroxibenzoicos más comunes en frutos, granos y vegetales podemos encontrar el ácido salicílico, ácido p-hidroxibenzoico, ácido dihidroxibenzoico, ácido vanílico, ácido gálico y ácido siríngico (Al Jitan et al., 2018).

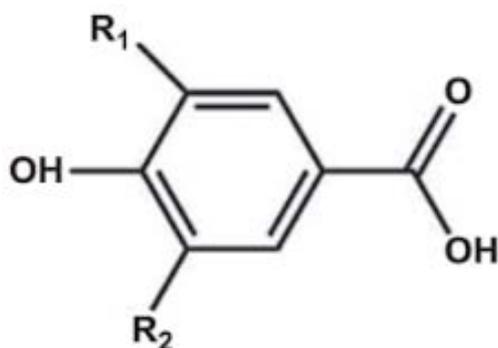


Figura 12. Estructura química de los ácidos hidroxibenzoicos.

Tomado de (De la Rosa et al., 2018).

a) R₁ (radical 1) y R₂ (radical 2)

2.2.3.4. Principales ácidos hidroxibenzoicos encontrados en productos vegetales

- El ácido 2,5-dihidroxibenzoico, gentísico o hidroquinonacarboxílico es un ácido dihidroxibenzoico que posee dos grupos hidroxilo en las posiciones 2 y 5 (véase Figura 13). Es un conjugado del ácido 2,5-dihidroxibenzoato (NIH, 2019).

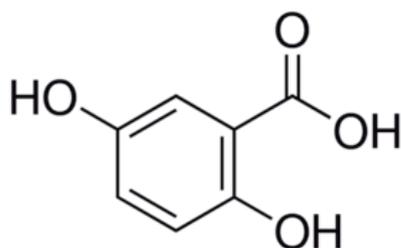


Figura 13. Estructura química del ácido 2,5-dihidroxibenzoico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido 2,5-dihidroxibenzoico es un polvo cristalino que resulta de la degradación del ácido salicílico o también se lo encuentra como subproducto de la síntesis del benzoato y la tirosina (Nematollahi, Ghorbani, Amani, Salehzadeh, & Beiginejad, 2013). Estudios previos han demostrado que tiene un alto espectro de actividad biológica, antioxidante, antirreumática y antiinflamatoria (Tang, Chia, & Lee, 2015). En la industria se lo utiliza como antioxidante, material de matriz de MALDI, inhibidor de 15-lipoxigenasa araquidonato y metabolito vegetal, fúngico, ratón y humano (Madureira, Pereira, & Pintado, 2016).

- El ácido gálico o galo es un ácido trihidroxibenzoico con 3 grupos hidroxilo en la posición 3, 4 y 5 respectivamente (véase Figura 14). Es un ácido conjugado de un galato (NIH, 2019).

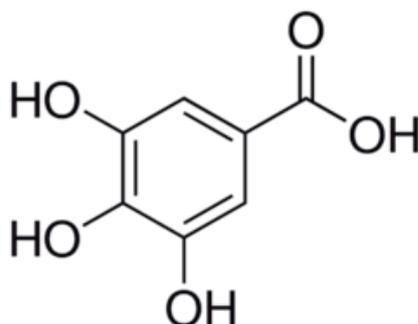


Figura 14. Estructura química del ácido gálico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido gálico es un compuesto cristalino incoloro levemente amarillo. En la industria se lo utiliza en productos farmacéuticos, como reactivo analítico y en fotografía (Tan, Li, & Yang, 2019). Investigaciones anteriores han demostrado que funciona como astringente, inhibidor de la 2-ciclooxigenasa

y 15-lipoxigenasa araquidonato, inductor de apoptosis y tiene potencial antioxidante, antineoplásico (Fan et al., 2019).

- El ácido homovanílico, 4-hidroxi-3-metoxifenilacético o vanilacético es un ácido monocarboxílico derivado del ácido 3,4-dihidroxifenil acético, porque contiene un grupo metilo en la posición 3 (véase Figura 15). Este es un ácido conjugado de un homovanilado (NIH, 2019).

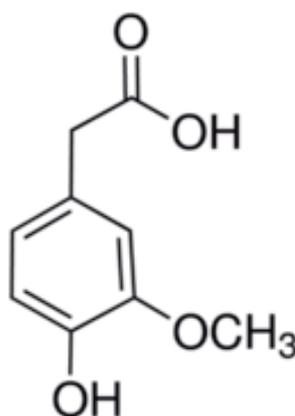


Figura 15. Estructura química del ácido homovanílico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido homovanílico es un metabolito de la síntesis de dopamina y de la catecolamina encontrado en biofluidos humano. Estudios previos han encontrado altas concentraciones de este ácido en la orina humana de pacientes con neuroblastoma (Ogawa & Kunugi, 2019). Asimismo, por investigaciones anteriores se conoce que existe relación de este ácido con la deficiencia de L-aminoácido descarboxilasa aromática, deficiencia de hormona de crecimiento y de sepiapterina reductasa y en la enfermedad celíaca, que son errores genéticos del metabolismo (Pfeifer et al., 2019).

Este compuesto se emplea en la industria como reactivo para la detección de enzimas oxidativas (Baluchová, Barek, Tomé, Brett, & Schwarzová-Pecková, 2018).

- El ácido protocatéquico o 3,4-dihidroxi benzoico es un ácido dihidroxi benzoico con sustituciones en la posición 3 y 4 por grupos hidroxilo (véase Figura 16). Es un derivado del ácido benzoico, porque es un conjugado del 3,4-dihidroxi benzoato y miembro de los catecoles (NIH, 2019).

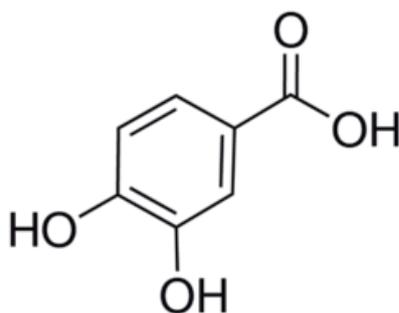


Figura 16. Estructura química del ácido protocatéquico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido protocatéquico es un compuesto fenólico encontrado de forma natural en varias plantas medicinales y comestibles que se utiliza como agente antineoplásico, inhibidor del procolágeno-prolina dioxigenasa y de la shikimato deshidrogenasa (Arslan, Aydin, Nemutlu Samur, & Bektas, 2018). Además, estudios previos han demostrado que tienen una actividad que contrarresta algunos síntomas en enfermedades neoplasmáticas y cardiovasculares, debido a su acción antioxidantes que incluye la inhibición

de la producción de radicales libres y participan como cofactores en enzimas reguladoras (De, Wasewar, Dhongde, Ingle, & Mondal, 2018).

- El ácido siríngico o cédrico es un dimetoxibenceno derivado del 3,5-dimetil éter del ácido gálico con sustituciones en las posiciones 3 y 5 con un grupo metoxilo y con una sustitución en la posición 4 por un hidroxilo (véase Figura 17) (NIH, 2019).

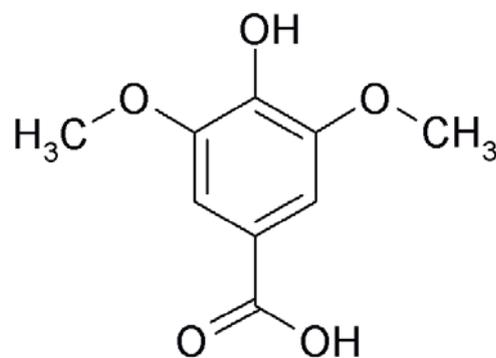


Figura 17. Estructura química del ácido siríngico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido siríngico es un fenol empleado en algunas bebidas alcohólicas destiladas. También, es un producto del metabolismo intestinal de los antocianos y otros compuestos fenólicos que se consumen en bebidas alcohólicas y frutos (Shahzad et al., 2019).

Investigaciones anteriores sugieren que el ácido siríngico del vino juega un papel importante contra la oxidación de LDL (lipoproteínas de baja densidad), que es un paso clave en algunas enfermedades como la

aterosclerosis (Srinivasulu, Ramgopal, Ramanjaneyulu, Anuradha, & Suresh Kumar, 2018). Además, se ha podido determinar que existe una relación entre la elevada actividad antioxidante e inhibición de la oxidación de LDL (Singh & Kumar, 2018).

- El ácido vanílico o p-vanílico es un ácido monohidroxi benzoico derivado por que sufre de sustituciones en la posición 3 por un grupo metoxilo (véase Figura 18). Es un ácido conjugado de un vanilato (NIH, 2019).

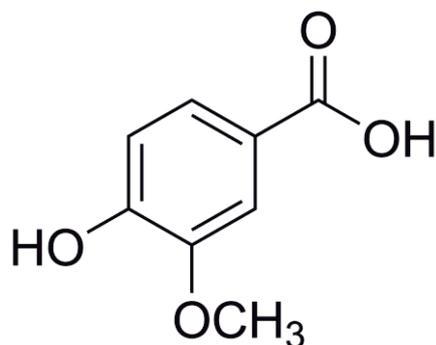


Figura 18. Estructura química del ácido vanílico.

Tomado de (NIH, 2019)

El ácido vanílico es un producto aromatizante que se forma del metabolismo de ácido ferúlico a vainillina y se encuentra de manera natural en algunas variedades de vainilla y en otros extractos de plantas. Este se encuentra en biofluidos humanos, como la orina, que han consumida dulces con sabor a vainilla, té, chocolate y café. En la industria se emplea para inhibir la actividad de la 5-nucleotidasa (Yrbas, Morucci, Alonso, & Gorzalczany, 2015).

2.2.4. Funciones biológicas

Los ácidos fenólicos cumplen principalmente una función antioxidante, es decir se encargan de contrarrestar los efectos negativos que produce el estrés oxidativo como la formación especies reactivas de oxígeno, lo que neutraliza algunos de los efectos negativos presentes en ECNT. Esto se realiza mediante dos procesos fundamentales que son: (i) el mecanismo de transferencia del átomo de hidrógeno (HAT) en el cual el radical libre se estabiliza por la transferencia de un átomo de hidrógeno y (ii) la transferencia secuencial de la pérdida del electrón (SET), mediante el cual el radical libre se neutraliza por la transferencia de un electrón desde la molécula antioxidante (Medina et al., 2018). Los ácidos fenólicos son responsables de regular varios procesos metabólicos como la inhibición enzimas, fosforilación de proteínas y control de la expresión de genes (De la Rosa et al., 2018). Cabe mencionar que los ácidos fenólicos proporcionan una defensa al ser humano de dos diferentes maneras: (i) a corto plazo, donde entran en juego los ácidos fenólicos libres, es decir que no se encuentran ligada a otra moléculas y (ii) a largo plazo, donde entran a jugar los ácidos fenólicos unidas a otra moléculas, estas se demoran más en ser metabolizadas por el ser humano porque primero necesitan procesos de hidrolisis (Medina et al., 2018).

Desde una perspectiva más específica los ácidos fenólicos se relacionan con varios procesos de defensa de los seres humanos. Por ejemplo, hoy en día se conoce que los esterres de los ácidos hidroxicinámicos pueden inhibir la actividad de la enzimas 5-lipoxigenasa, lo que ocasiona la reducción de los procesos inflamatorios y de carcinogénesis (De la Rosa et al., 2018). También, lo ácidos fenólicos estimulan la diferenciación celular de osteoblastos provocando un aumento significativo de masa en el hueso (Stipanuk & Caudill, 2013).

El ácido cafeico y elálgico disminuyen los niveles de triglicéridos y glucosa y eleva los niveles de insulina en el plasma de pacientes diabéticos, esto es una consecuencia de la reducción de las especies reactivas de oxígeno, interleucina 6 y del factor alfa de necrosis tumoral (TNF- α) en tejidos cardiacos (Medina et al., 2018). Los derivados del ácido cafeico pueden inhibir la funcionalidad de las enzimas integrasas implicadas en el desarrollo del virus del tipo 1 de inmunodeficiencia humano (VIH-1), esta enzima es la responsable de integrar el ADN viral en el ADN del huésped o paciente (De la Rosa et al., 2018).

Por las evidencias presentadas en investigaciones previas de los efectos positivos que tienen los ácidos fenólicos en la salud humana la OMS recomienda un mayor consumo frutos, granos y tubérculos en la dieta (Stipanuk & Caudill, 2013).

2.2.5. Ácidos fenólicos en frutos

Estudios previos muestran hoy en día que los frutos rojos como la mora, mortiño, frutilla, arándano, entre otros son ricos en ácidos fenólicos, siendo el más predominante el ácido ferúlico (Qin et al., 2018). Sin embargo, otros frutos como el arazá, badea, borjón, guayaba y naranjilla, se ha logrado determinar que tienen presencia de ácido cafeico y de sus isómeros (3-cafeoilquínico, 4-cafeoilquínico, 5-cafeoilquínico) y de ácido clorogénico (Meinhart et al., 2019). Otro fruto caracterizado ha sido el cacao, el que posee ácido cafeico y sus isómeros (3-cafeoilquínico, 4-cafeoilquínico, 5-cafeoilquínico), clorogénico, ferúlico, gálico, hidroxibenzoico, hidroxicinámico, p-cumárico y protocatéquico (Lourenço Neto, Agra, Suassuna Filho, & Jorge, 2018). Inclusive el nombre de ciertos ácidos fenólicos como el ácido vanílico deriva del fruto en el que se encuentra con mayor abundancia, es decir de la vainilla (De la Rosa et al., 2018).

Algunos ácidos fenólicos como el ácido 2,5-dihidroxibenzoico, 3-(3,4-dihidroxifenil) propiónico, 3-(4-hidroxifenil) propiónico, 3,4-dimetoxifenilacético, 4-hidroxifenilacético, 4-metoxifenilacético, siríngico y protocatéquico se han encontrado en otros frutos como en babaco, granadilla, manzana, maracuyá, pera y taxo (Ahmad, Zuo, Lu, Anwar, & Hameed, 2016).

2.2.6. Ácidos fenólicos en granos

Los ácidos fenólicos, encontrados en investigaciones previas como son el ácido 2,5-dihidroxibenzoico, 3-(3,4-dihidroxifenil) propiónico, 3-(4-hidroxifenil) propiónico, 3,4-dimetoxifenilacético, 4-hidroxifenilacético, 4-metoxifenilacético, siríngico, protocatéquico, cafeico y de sus isómeros, clorogénico, erúlico, gálico, hidroxibenzoico, hidroxicinámico, p-cumárico y protocatéquico, gentísico en granos de frijol y soya (Zhang et al., 2019).

Cabe mencionar que estudios previos han determinado que otros granos como la arveja, chocho, haba, maíz son una rica fuente compuestos fenólicos, sin embargo no se ha realizado una caracterización de sus ácidos fenólicos (Telles, Kupski, & Furlong, 2017).

2.2.7. Ácidos fenólicos en tubérculos

Estudios previos muestran que la papa contiene ácido gálico, clorogénico, vanílico, p-cumárico, ferúlico, sinápico, salicílico, elágico, cinámico, siendo los más abundantes los ácidos clorogénico y cinámico (Yamdeu Galani et al., 2017). Otro

tubérculo que se ha caracterizado algunos de sus ácidos fenólicos es la oca, la que posee ácido cafeico y sus derivados, vanílico y cinámico (Chirinos et al., 2009). Existen otros tubérculos que se conoce que son ricos en compuestos fenólicos como el camote, melloco, trufa y la yuca (Wallis, Chen, & Civerolo, 2012).

3. Capítulo III. Procedimientos

3.1. Población

La población del estudio consistió en los frutos, granos y tubérculos recolectados de los mercados populares de alimentos de las provincias de Pichincha, Chimborazo y Tungurahua de la región sierra de Ecuador.

3.2. Muestra

La muestra de estudio radicó en 22 especies de frutos, 8 especies de granos y 3 especies de tubérculos que se obtuvieron de los mercados más populares de las provincias de Pichincha, Chimborazo y Tungurahua (véase tabla 1). Para la selección de las muestras se basó en la Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador, (Lucia De la Torre, Hugo Navarrete, Priscilla Muriel, Manuela Macía, Henrik Balslev, 2008). Por cada fruto, grano y tubérculo se tomó una cantidad aleatoria. Posteriormente, las muestras se unificaron y se identificaron de acuerdo al sitio de recolecta.

Tabla 1.

Frutos, granos y tubérculos que se analizaron.

Plantas									
N	Nombre común	Nombre científico	N	Nombre común	Nombre científico	N	Nombre común	Nombre científico	Nombre científico
1	Aguacate	<i>Persea americana</i>	2	Ají ratón sierra	<i>Phaseolus coccineus</i>	3	Arazá	<i>Eugenia stipitata</i>	
4	Babaco	<i>Vasconcellea sp.</i>	5	Badea	<i>Passiflora quadrangularis</i>	6	Borojó	<i>Borojoa sorbilis</i>	
7	Cacao	<i>Teobroma cacao</i>	8	Chocho	<i>Lupinus albus</i>	9	Chocho perla	<i>Lupinus mutabilis</i>	
10	Frejol blanco	<i>Phaseolus vulgaris</i>	11	Frejol canario	<i>Phaseolus vulgaris</i>	12	Frejol castilla	<i>Phaseolus coccineus</i>	
13	Frejol negro	<i>Phaseolus vulgaris</i>	14	Frejol panamito	<i>Vigna unguiculata</i>	15	Granadilla	<i>Passiflora ligularis</i>	
16	Guaba	<i>Inga edulis</i>	17	Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	18	Haba pallar	<i>Phaseolus lunatus</i>	
19	Jicama	<i>Smallanthus sonchifolius</i>	20	Melloco	<i>Ullucus tuberosus</i>	21	Mora	<i>Rubus glaucus</i>	
22	Mortiño	<i>Vaccinium meridionale</i>	23	Naranjilla	<i>Solanum quitesense</i>	24	Oca	<i>Oxalis tuberosa</i>	
25	Papaya	<i>Carica papaya</i>	26	Pepino dulce	<i>Solanum muricatum</i>	27	Pitahaya amarilla	<i>Hylocereus megalanthus</i>	
28	Pitahaya roja	<i>Hylocereus undatus</i>	29	Taxo	<i>Passiflora mixta</i>	30	Tomate de árbol	<i>Solanum betaceum</i>	
31	Tuna	<i>Opuntia soederstroniana</i>	32	Uvilla	<i>Physalis peruviana</i>	33	Vainilla	<i>Vanilla planifolia</i>	

3.3. Materiales y métodos para la obtención de datos experimentales

3.3.1. Diagrama de flujo del procedimiento realizado

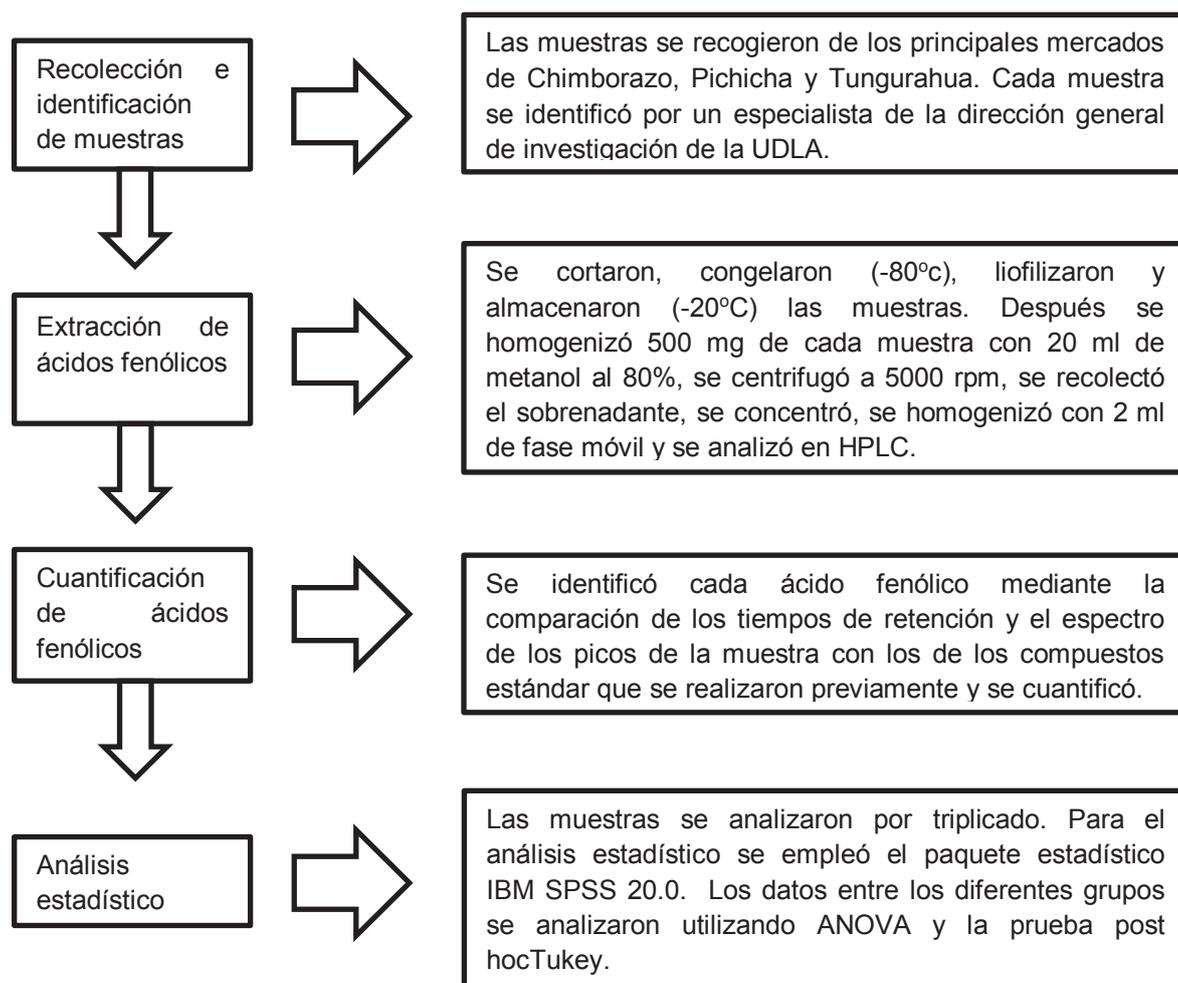


Figura 19. Diagrama de flujo del procedimiento

3.3.2. Preparación de los extractos metanólicos

El fruto, grano o tubérculo se cortó, congeló a -80°C, liofilizó, trituró y almacenó a -20°C. Para la obtención de los extractos metanólicos se pesó 500 mg de la

muestra liofilizada y se homogenizó con 20 ml metanol al 80% (previamente desgasificado por ultrasonido) durante 2 horas con agitación continua a temperatura ambiente. La suspensión se centrifugó durante 5 minutos a temperatura ambiente a 5000 rpm y se recolectó el sobrenadante (Urszula Gawlik-Dziki, Michał Świeca, 2012).

3.3.3. Concentración y purificación de los ácidos fenólicos

Los extractos metanólicos se concentraron con un rotavapor de vacío y se homogenizó con 2 ml de fase móvil (compuesta de 70% de ácido fórmico al 0.1% y 30% de acetonitrilo grado HPLC). Los ácidos fenólicos se almacenaron a -20 °C hasta su análisis (Urszula Gawlik-Dziki, Michał Świeca, 2012).

3.3.4. Determinación del perfil de ácidos fenólicos

Las muestras se analizaron con un módulo de separación de un sistema HPLC modelo 1260 (Agilent Technologies, Alemania) equipado con una bomba cuaternaria, un automuestreador (1260 Infinity Estándar Autosampler) y un lector de arreglos de diodo (DAD). La columna que se empleó fue una ZORBAX SB-C18 3.5 μ m 4.6x 150 mm (Agilent Technologies, USA). La fase móvil consistió en una solución de ácido fórmico al 0.1% (línea A) y acetonitrilo grado HPLC (línea B) a un flujo constante de 0.3 mL/min con gradiente de elución (véase tabla 2), con una presión de 400 bar y un tiempo de corrida de 45 min (Urszula Gawlik-Dziki, Michał Świeca, 2012).

Tabla 2.

Gradiente que se utilizó.

Tiempo (min)	Línea A (%)	Línea B (%)
0	80	20
5	75	25
10	60	40
20	45	55
30	35	65
35	35	65
50	80	20

La detección se realizó a 280 nm. Se identificaron los ácidos fenólicos mediante la comparación de los tiempos de retención y el espectro de los picos mostrado por el software de la muestra con los de los compuestos estándar (véase tabla 3) que se realizaron previamente (concentración inicial de 0.5 ppm, 1 ppm, 2.5 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm y 50 ppm) (Urszula Gawlik-Dziki, Michał Świeca, 2012).

Tabla 3.

Ácidos fenólicos que se analizaron.

Nº	Estándar
1	Ácido clorogénico
2	Ácido ferúlico
3	Ácido gálico
4	Ácido p-cumárico
5	Ácido siríngico

La concentración de ácidos fenólicos de cada cromatograma generado, de cada muestra se expresó en mg de ácido fenólico / 100 g de peso seco (PS) de muestra. Cada muestra se corrió por triplicado.

3.3.5. Evaluación estadística de los resultados

Las muestras se analizaron por triplicado y los resultados de la concentración de cada ácido fenólico se expresaron como media \pm desviación estándar. Para el análisis estadístico se empleó el paquete estadístico IBM SPSS 20.0. Los datos entre los diferentes grupos se analizaron utilizando ANOVA y la prueba post hoc Tukey. El nivel de confianza en todos los análisis fue del 95 %. Se consideró un valor $p < 0.05$ como significativo y $p < 0.01$ altamente significativo.

4. Capítulo IV. Resultados y Discusión

4.1. Contenido de ácidos fenólicos en frutos

El contenido de cada ácido fenólico se analizó mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), técnica confiable (por su versatilidad y precisión) que permite conocer los compuestos que poseen la muestra, al comparar el tiempo de retención y el espectro de los picos otorgados en el cromatograma de las muestras (véase Figura 20) con los estándares previamente corridos y medidos a 280 nm. Los otros picos no identificados no corresponden ninguno de los estándares con los que se contaba al momento del análisis, pero mostraron propiedades espectrales UV-Vis semejantes a los ácidos fenólicos. En este caso los parámetros de trabajo, incluyendo el método de detección por DAD (el arreglo de diodos es una herramienta indispensable para la detección de estructuras

fenólica en alimentos), fueron correctos porque la línea base se encontró estable y sin ruido de fondo (Esquivel & Stintzing, 2007). Es de suma importancia el método de detección para aumentar la veracidad de los resultados. Por ejemplo, en el método Folin-Ciocalteu, que sirve para detectar la concentración de compuestos fenólicos totales puede ocasionar una sobrevaloración del contenido total de compuestos fenólicos, ya que los anillos aromáticos que poseen algunos compuestos vegetales, como las batalainas pueden reaccionar con el reactivo de Folin-Ciocalteu (Suh et al., 2014). También cabe destacar que el método de extracción (al no ser específico para cada ácido fenólico) y de la especie de matriz de trabajo (en este caso frutos, granos y tubérculos) puede provocar variaciones en el contenido cuantificado (Han et al., 2019).

Los principios bioactivos como los ácidos fenólicos que contienen los productos vegetales son los responsables de otorgar el efecto antioxidante a este tipo de compuestos, por tal motivo, el conocimiento sobre la caracterización de ácidos fenólicos en frutos, granos y tubérculos, viene a ser una alternativa prometedora para la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Medina et al., 2018). Entre los ácidos fenólicos más predominantes en frutos se encuentran el ácido gálico, clorogénico, ferúlico, protocatéquico, cafeico y de sus isómeros (Zhang et al., 2019).

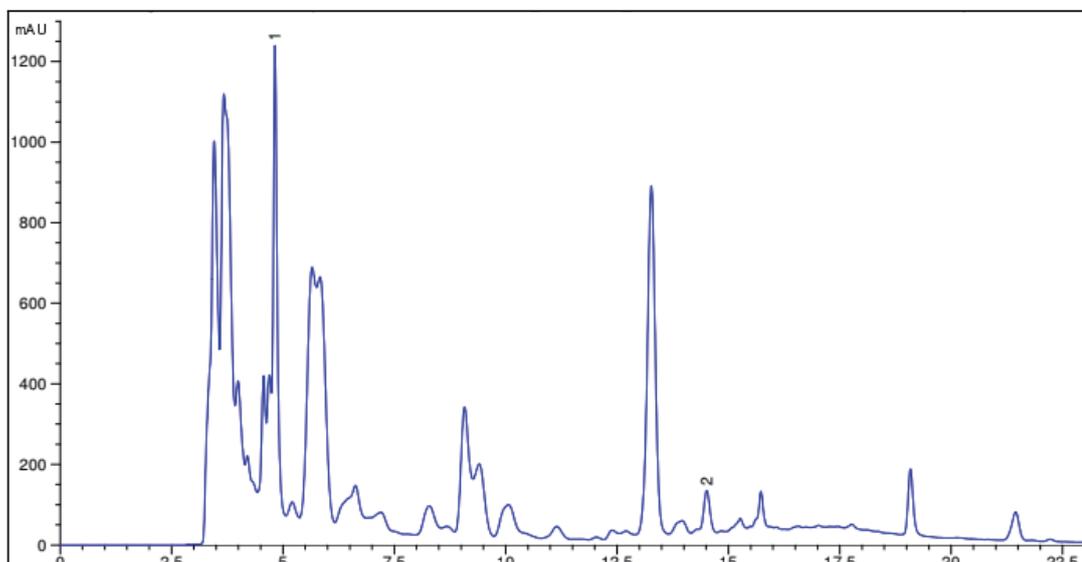


Figura 20. Ejemplo de cromatograma obtenido por HPLC a 280nm de la composición de los ácidos fenólicos en frutos (aguacate).

Los resultados mostraron la presencia de varios ácidos fenólicos en este tipo de muestras, siendo los frutos con más variedad de ácidos fenólicos el babaco, cacao y tomate de árbol, con un total de 4. La cantidad en mg de estos ácidos fenólicos/100g de peso seco (PS) de cada fruto se evidencia en la tabla 4. Cabe mencionar que los frutos con mayor variedad de ácidos fenólicos no son los que contienen mayor concentración de ácidos fenólicos totales.

Teniendo en cuenta el contenido total de ácido gálico, el principal fruto fue la mora ($78,01 \pm 22,97$ mg/100g de PS); para el ácido clorogénico fue el mortiño ($76,66 \pm 1,64$ mg/100d de PS); para el ácido siríngico fue la pitahaya amarilla ($142,45 \pm 24,81$ mg/100g de PS); para el ácido ferúlico y el p-cumárico fue la vainilla ($249,17 \pm 22,10$ mg/100g de PS y $237,29 \pm 19,69$ mg/100g de PS) (véase Tabla 4).

Tabla 4.

Contenido de cada ácido fenólico en g/100g PS de frutos.

Frutos	Ácidos Fenólicos (mg/100g de PS)				
	Gálico	Clorogénico	Siríngico	Ferúlico	P-Cumárico
Aguacate	41,95± 4,62 ^b	nd	nd	17,94±0,44 ^e	nd
Ají ratón	17,19±3,02 ^d	1,74±0,36 ^d	nd	3,66±0,06 ^f	nd
Arazá	nd	nd	60,25±1,57 ^b	nd	nd
Babaco	nd	23,11±3,26 ^b	0,87±0,13 ^d	120,53±1,01 ^b	4,94±0,27 ^d
Badea	nd	27,45±6,41 ^b	nd	nd	nd
Borojó	nd	24,69±0,92 ^b	nd	nd	nd
Cacao	nd	11,13±0,58 ^c	62,91±10,36 ^b	15,65±0,35 ^e	8,07±0,05 ^c
Granadilla	nd	nd	nd	125,04±32,67 ^b	83,53±32,74 ^b
Guaba	0,93±0,48 ^f	nd	nd	nd	nd
Guayaba	nd	nd	1,79±0,01 ^d	nd	nd
Mora	78,01±22,97 ^a	nd	nd	21,72±1,10 ^e	nd
Mortiño	nd	76,66±1,64 ^a	nd	73,05±2,76 ^c	nd
Naranja	13,54±3,50 ^e	nd	nd	5,02±0,21 ^f	nd
Papaya	37,79±1,33 ^b	nd	nd	nd	nd
Pepino dulce	11,46±4,17 ^e	8,36±1,08 ^c	nd	56,28±0,91 ^d	nd
Pitahaya amarilla	28,14±4,20 ^c	nd	142,45±24,81 ^a	nd	nd
Pitahaya roja	nd	11,63±1,49 ^c	40,17±3,19 ^c	nd	nd
Taxo	nd	nd	nd	nd	nd
Tomate de árbol	22,91±5,65 ^d	3,01±0,55 ^d	nd	4,11±0,15 ^f	2,34±0,10 ^e
Tuna	25,51±2,89 ^c	nd	nd	21,68±1,41 ^e	nd
Uvilla	nd	nd	nd	nd	1,92±0,13 ^f
Vainilla	nd	nd	nd	249,17±22,10 ^a	237,29±19,69 ^a

Nota: Los valores se expresan como medias ± desviación estándar (SD). Los valores medios dentro de una columna con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$). Las muestras se analizaron por triplicado. nd = no detectado. a, b, c, d, e, f = diferencias significativas.

En anteriores investigaciones se ha determinado la concentración o el contenido de algunos ácidos fenólicos en frutos. En algunos casos inclusive se ha encontrado algunas relaciones entre la cantidad de ácidos fenólicos presentes en una muestra y algunas condiciones de estrés abiótico y biótico, que pueden generar variación de ciertas características del fruto como coloración, tamaño, etc (Meinhart et al., 2019). Hoy en día se conoce que los frutos rojos son ricos en estos ácidos fenólicos y esto podemos evidenciar en investigaciones previas que han determinado que la mora, el mortiño y el arándano son frutos ricos, teniendo entre 0.19mg/100g de PS y 522.33 mg/100g de PS (Meinhart et al., 2019). No obstante otros frutos, como la granadilla y uvilla son ricos en varios isómeros del ácido clorogénico y cafeico (Uleberg et al., 2012). La principal diferencia entre la mora y la granadilla es que en el primero se encuentran ácidos monoclorogénicos y en la segunda ácidos di-clorogénicos (Meinhart et al., 2019).

Otra relación destacable es la presencia de ácidos fenólicos y la pigmentación del fruto y otros metabolitos secundarios. Por ejemplo, la coloración peculiar de las especies de pitahaya del género *Hylocereus* se debe al contenido de compuestos fenólicos totales que poseen y de betalainas, que son pigmentos hidrosolubles con nitrógeno en su estructura (Fathordoobady, Mirhosseini, Selamat, & Manap, 2016). Entre los compuestos fenólicos que se han identificado en este fruto encontramos al ácido protocatéquico, vanílico, 4-hidroxibenzoico, e hidroxicinámico (García-Cruz, Dueñas, Santos-Buelgas, Valle-Guadarrama, & Salinas-Moreno, 2017).

Inclusive dentro del mismo género las variedades de los frutos u otros productos vegetales varían su contenido de principios bioactivos. Por ejemplo, dos variedades de uvilla *Physalis alkekengi* y *pubescens* a pesar de poseer características morfológicas similares, su concentración de fitoquímicos varia, por ende sus perfiles fenólicos también son distintos (Wen et al., 2019).

4.2. Contenido de ácidos fenólicos en granos

El cromatograma obtenido por HPLC a una longitud de onda de 280nm sirvió para identificar los ácidos fenólicos presentes en los granos que se empleó en este estudio (véase Figura 21). Los granos son una fuente rica en principios bioactivos. Entre los ácidos fenólicos más predominantes en granos se encuentran el ácido 2,5-dihydroxibenzoico, 3-(3,4-dihydroxifenil) propiónico, ferúlico, siríngico, clorogénico, erúlico, gálico, y p-cumárico (Zhang et al., 2019).

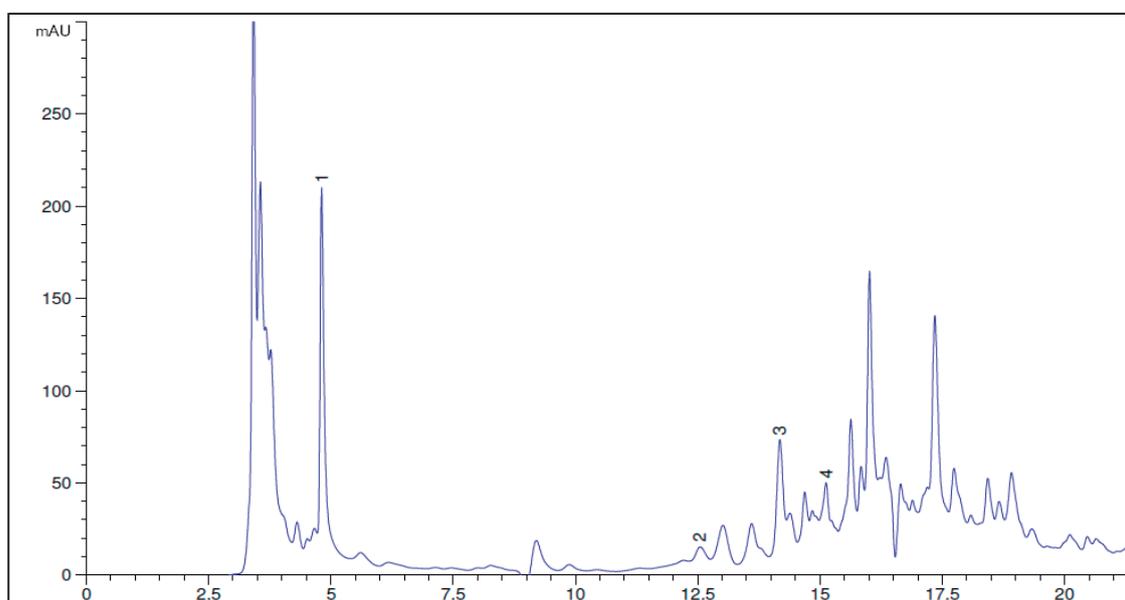


Figura 21. Ejemplo de cromatograma obtenido por HPLC a 280nm de la composición de los ácidos fenólicos en granos (chocho).

Los resultados mostraron que el grano con mayor variedad de ácidos fenólicos es el chocho, teniendo un total de 4. La cantidad en mg de estos ácidos fenólicos/100g de PS de cada grano se evidencia en la tabla 5.

Teniendo en cuenta el contenido total de ácido gálico, el principal grano fue el frejol blanco ($150,32 \pm 4,08$ mg/100g de PS); para el ácido clorogénico fueron los frejoles canario y castilla ($27,03 \pm 4,02$ mg/100d de PS y $35,58 \pm 3,21$ mg/100g de PS); para el ácido siríngico no hubo diferencias significativas entre los granos que se detectó a este ácido; para el ácido ferúlico fue el frejol panamito ($18,81 \pm 1,48$ mg/100g de PS) y para el p-cumárico tampoco existieron diferencias significativas entre los granos que se detectó a este ácido (véase Tabla 5).

Tabla 5.

Contenido de cada ácido fenólico en g/100g PS de granos.

Granos	Ácidos Fenólicos (mg/100g de PS)				
	Gálico	Clorogénico	Siríngico	Ferúlico	P-Cumárico
Chocho	nd	$4,91 \pm 2,02^b$	$1,82 \pm 0,18^a$	$5,85 \pm 2,59^b$	$4,78 \pm 0,10^a$
Chocho perla	$22,87 \pm 2,21^b$	nd	nd	nd	nd
Frejol blanco	$150,32 \pm 4,08^a$	nd	nd	nd	nd
Frejol canario	nd	$27,03 \pm 4,02^a$	$2,99 \pm 0,39^a$	$4,23 \pm 0,16^b$	nd
Frejol castilla	$7,11 \pm 1,96^c$	$35,58 \pm 3,21^a$	nd	nd	nd
Frejol negro	$20,86 \pm 1,82^b$	nd	nd	nd	nd
Frejol panamito	$19,89 \pm 8,96^b$	nd	nd	$18,81 \pm 1,48^a$	$2,63 \pm 0,46^a$
Haba pallar	$13,90 \pm 1,35^c$	nd	$1,46 \pm 0,18^a$	nd	nd

Nota: Los valores se expresan como medias \pm desviación estándar (SD). Los valores medios dentro de una columna con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0,05$). Las muestras se analizaron por triplicado. nd = no detectado. a, b, c, d, e, f = diferencias significativas.

Al comparar los resultados con otros estudios, los niveles de ácidos fenólicos presentan una amplia variedad de valores. En estudios anteriores se ha observado que los granos con pigmentación más fuerte poseen mayor contenido de compuestos fenólicos libres (Chung, Seo, Ahn, & Kim, 2011). Por ejemplo, el frejol negro contiene aproximadamente 30 mg/100g de PS de ácido ferúlico y de un rango entre 0.57-7 mg/100g de PS de ácido gálico. Sin embargo, el ácido gálico es un compuesto peculiar que se encontró en mayor proporción en granos con pigmentación clara como el frejol blanco que posee valores de entre 1-13.4 mg/100g de PS (Telles et al., 2017). Las variaciones pueden explicarse tomando en cuenta que los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios que se producen según las condiciones ambientales en la que crece la planta (Kumar & Pruthi, 2014).

Por las investigaciones previas, se conoce que las variedades de frijoles que pertenecen a la especie de *Phaseolus vulgaris* presentan una concentración de ácido fenólicos superior a otros granos (Telles et al., 2017).

4.3. Contenido de ácidos fenólicos en tubérculos

En este caso se analizaron 3 tubérculos por HPLC (véase Figura 22). Los tubérculos por investigaciones previas han resultado ser productos vegetales de gran interés por sus concentraciones de principios bioactivos (Medina et al., 2018). Entre los ácidos fenólicos más predominantes en tubérculos se encuentran el ácido gálico, clorogénico, vanílico, p-cumárico, ferúlico, sinápico, salicílico, elágico, cinámico (Zhang et al., 2019).

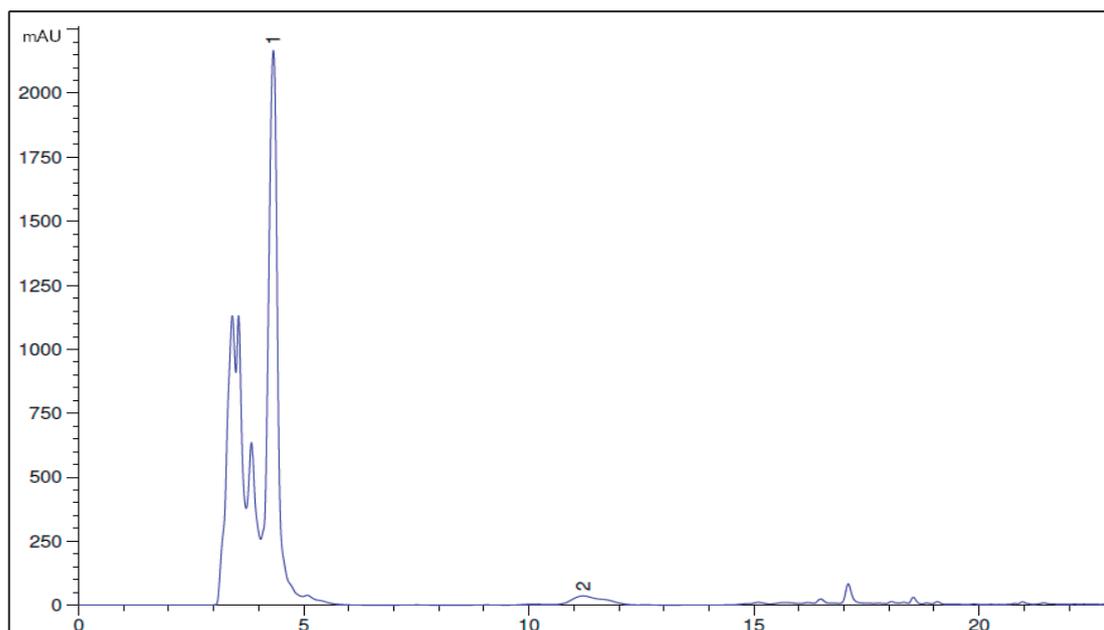


Figura 22. Ejemplo de cromatograma obtenido por HPLC a 280nm de la composición de los ácidos fenólicos en tubérculos (oca).

Los resultados mostraron que los tres tubérculos analizados poseen el mismo número de ácidos fenólicos, es decir dos. La cantidad en mg de estos ácidos fenólicos/100g de PS de cada tubérculo se evidencia en la tabla 6. Cabe mencionar que en este caso el tubérculo de la oca es el tubérculo que contiene mayor concentración de ácidos fenólicos totales.

Teniendo en cuenta el contenido total de ácido gálico, no hubo diferencias significativas entre los tubérculos que se detectó a este ácido; el ácido clorogénico únicamente se detectó en la oca ($194,25 \pm 2,21$ mg/100d de PS); el ácido siríngico no se detectó en los tubérculos; para el ácido ferúlico fue la oca ($11,81 \pm 0,69$ mg/100g de PS) y en el p-cumárico tampoco se detectó en los tubérculos (véase Tabla 6).

Tabla 6.

Contenido de cada ácido fenólico en g/100g PS de tubérculos.

Tubérculos	Ácidos Fenólicos (mg/100g de PS)				
	Gálico	Clorogénico	Siríngico	Ferúlico	P-Cumárico
Jícama	48,66±1,73 ^a	nd	nd	2,34±0,03 ^b	nd
Meloco	53,89±3,41 ^a	nd	nd	5,37±0,09 ^b	nd
Oca	nd	194,25±2,21 ^a	nd	11,81±0,69 ^a	nd

Nota: Los valores se expresan como medias \pm desviación estándar (SD). Los valores medios dentro de una columna con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$). Las muestras se analizaron por triplicado. nd = no detectado. a, b, c, d, e, f = diferencias significativas.

Por investigaciones previas se conoce que el tubérculo de la oca, al realizar una caracterización de sus ácidos fenólicos por HPLC y un método de detección UV-Vis, contiene los ácidos cafeico, vanílico y cinámico. En el caso que no se detecten estos ácidos, puede ser por que el tubérculo empleado no pertenecen a la genotipos de oca COC-450 y M-2032 (Chirinos et al., 2009). Por la presencia de los ácidos fenólicos que posee la oca se la ha destacado como el segundo tubérculo en el mundo de poseer capacidad antioxidantes, solo por detrás de la papa (Villares, García-Lafuente, Guillamón, & Ramos, 2012).

Cabe destacar que no existe información disponible sobre la caracterización de los ácidos fenólicos que contiene el tubérculo de la jícama y el meloco. Sin embargo, se ha logrado determinar que los tratamientos a baja temperatura ayudan o mejoran la producción de compuestos fenólicos totales (Cantwell, Peiser, & Mercado-Silva, 2002). Lo que podría significar un aumento de concentración de los ácidos fenólicos presentes en estos tubérculos por la zona climática en donde se cultivaron.

4.4. Contenido total de ácidos fenólicos evaluados en frutos, granos y tubérculos

El contenido total de ácidos fenólicos se calculó mediante la suma de las concentraciones de cada ácido fenólico que posee cada muestra. Al evaluar la concentración total de ácidos fenólicos de las 33 muestras se obtuvo que la vainilla fue el producto vegetal con mayor contenido ($486,45 \pm 133,28$ mg/100g de PS). No obstante, otros frutos, granos y tubérculos también son ricos en estos compuestos como son el babaco, frejol blanco, granadilla, mortiño, pitahaya amarilla y oca. Los productos que su concentración es nula o casi nula de ácidos fenólicos analizados son la guaba, guayaba, taxo y uvilla (véase Figura 22).

Como se expresó varias condiciones afectan el contenido de fitoquímicos en estos alimentos. Existen propiedades físicas que reflejan el contenido de antioxidantes que poseen, como la forma y el color. Sin embargo, existen otras variables a tener en cuenta para conocer porque varía la concentración de fruto a fruto, así sea el mismo. Entre estas podemos considerar el genotipo, clima, métodos de recolección, condiciones de crecimiento de la planta, forma de almacenamiento, presencia de patógenos (Telles et al., 2017). Muchas plantas producen compuestos químicos en respuesta de defensa, como el ácido fenólico que pueden inhibir el crecimiento de algunos microorganismos invasores y hongos (*Fusarium sp.*, *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*) (Gonçalves Tavares, Viana Lessa Barbosa, Lopes Ferreira, Ferreira Duarte, & Gomes Cardoso, 2018).

Hay que tener en cuenta que existen dos formas en las que se encuentran en la naturaleza los ácidos fenólicos, que son su forma libre y conjugada, la segunda se caracteriza por estar ligada a otras moléculas más grandes (De la Rosa et al., 2018). Este punto es importante al determinar el perfil fenólico de las muestras,

porque si se desea hacer un análisis más específico, es necesario realizar dos procesos, uno que extraiga los ácidos fenólicos libres y otro que se base en algún proceso de hidrólisis para extraer los ácidos fenólicos conjugados (Urszula Gawlik-Dziki, Michał Świeca, 2012).

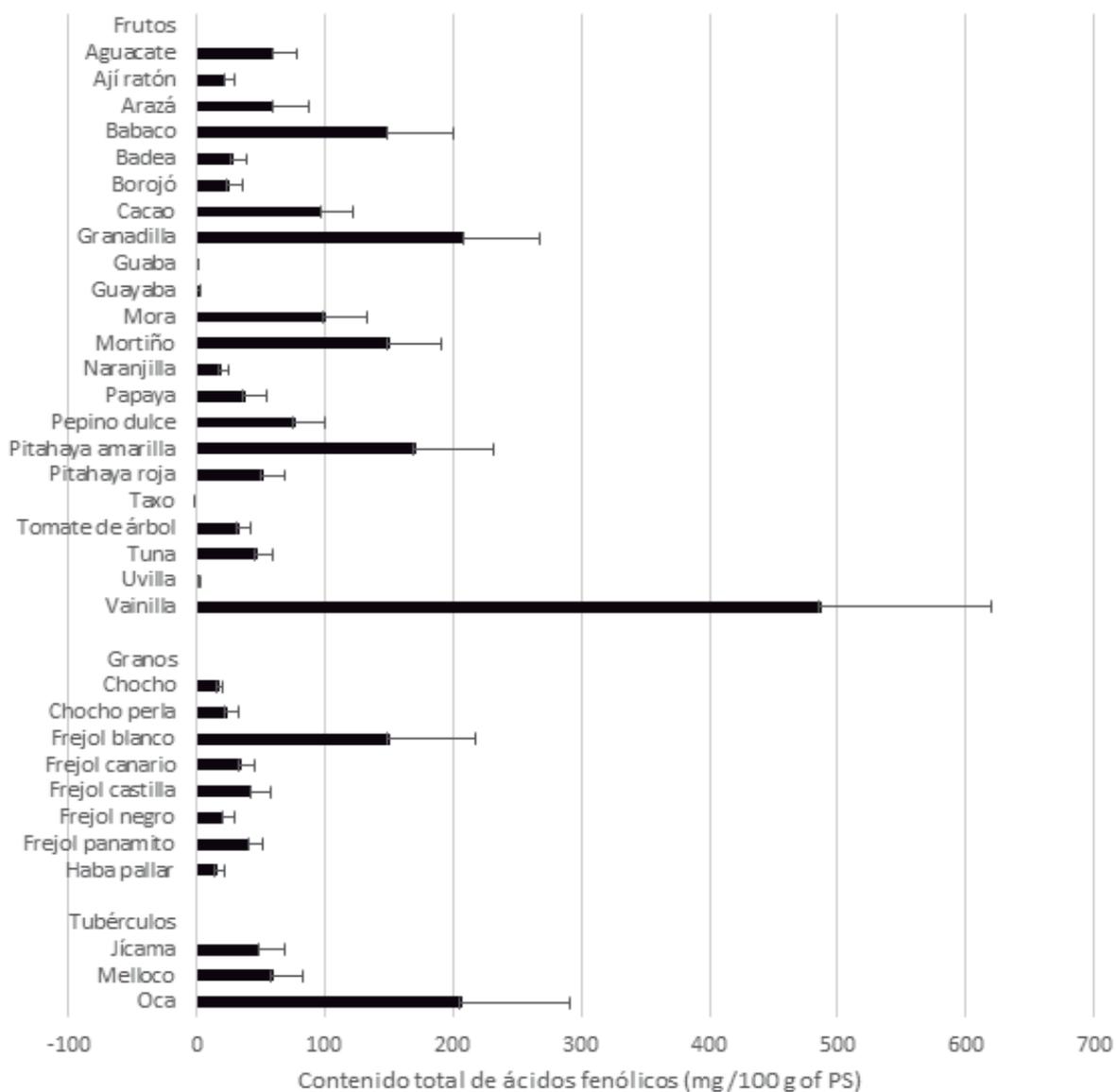


Figura 19. Contenido total de ácidos fenólicos, clasificados por frutos, granos y tubérculos.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

En el estudio presente se determinó el perfil fenólico de 5 ácidos de los principales frutos, granos y tubérculos consumidos en la región sierra de Ecuador.

Se determinó que el babaco, cacao y tomate de árbol fueron los frutos con mayor variedad de ácidos fenólicos (4). El chocho es el grano que cuenta con mayor variedad (4) y los tres tubérculos tuvieron el mismo número de ácidos fenólicos (2).

Entre frutos, granos y tubérculos se evidenció diferencias significativas del contenido de los distintos ácidos fenólicos, siendo los frutos los productos vegetales que presentaron la mayor concentración de ácidos fenólicos, entre estos tuvimos a la vainilla, babaco, granadilla, mortiño y pitahaya amarilla. Sin embargo, el frejol blanco como grano y la oca como tubérculo, también presentaron una elevada concentración de ácidos fenólicos. Por otro lado, se tuvo que la concentración de ácidos fenólicos de la guaba, guayaba, taxo y uvilla es nula o casi nula.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda un análisis más amplio, es decir con un mayor número de estándares, con distintas variedades de una única especie y con una recolección de la misma muestra en distintas regiones del país.

Es importante tener en cuenta la etapa de maduración del fruto, grano y tubérculo o incluso se recomienda obtener las muestras en varias etapas de maduración de cada una, para establecer que etapa conserva de mejor manera los ácidos fenólicos.

Se recomienda realizar un análisis más a fondo sobre los ácidos fenólicos libres y conjugados que posee cada muestra.

REFERENCIAS

- Ahmad, N., Zuo, Y., Lu, X., Anwar, F., & Hameed, S. (2016). *Characterization of free and conjugated phenolic compounds in fruits of selected wild plants*. *Food Chemistry*, 190, 80–89. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.05.077>
- Al Jitan, S., Alkhoori, S. A., & Yousef, L. F. (2018). *Chapter 13 - Phenolic Acids From Plants: Extraction and Application to Human Health* (B. T.-S. in N. P. C. Atta-ur-Rahman, Ed.). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64056-7.00013-1>
- Aladedunye, F., & Przybylski, R. (2014). *Phosphatidylcholine and dihydrocaffeic acid amide mixture enhanced the thermo-oxidative stability of canola oil*. *Food Chemistry*, 150, 494–499. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.10.165>
- Alonso-Castro, A. J., Domínguez, F., & García-Carrancá, A. (2013). *Rutin Exerts Antitumor Effects on Nude Mice Bearing SW480 Tumor*. *Archives of Medical Research*, 44(5), 346–351. <https://doi.org/10.1016/J.ARCMED.2013.06.002>
- Amombo Noa, F. M., & Jacobs, A. (2016). *Salts of phenylacetic acid and 4-hydroxyphenylacetic acid with Cinchona alkaloids: Crystal structures, thermal analysis and FTIR spectroscopy*. *Journal of Molecular Structure*, 1114, 30–37. <https://doi.org/10.1016/J.MOLSTRUC.2016.02.011>
- Arslan, R., Aydin, S., Nemetlu Samur, D., & Bektas, N. (2018). *The possible mechanisms of protocatechuic acid-induced central analgesia*. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 26(4), 541–545. <https://doi.org/10.1016/J.JSPS.2018.02.001>
- Atta-ur-Rahman. (2018). *Studies in Natural Products Chemistry, Volumen 59*.
- Baluchová, S., Barek, J., Tomé, L. I. N., Brett, C. M. A., & Schwarzová-Pecková, K. (2018). *Vanillylmandelic and Homovanillic acid: Electroanalysis at non-modified and polymer-modified carbon-based electrodes*. *Journal of*

- Electroanalytical Chemistry*, 821, 22–32.
<https://doi.org/10.1016/J.JELECHEM.2018.03.011>
- Cantwell, M. I., Peiser, G., & Mercado-Silva, E. (2002). *Induction of chilling injury in jicama (Pachyrhizus erosus) roots: changes in texture, color and phenolics. Postharvest Biology and Technology*, 25(3), 311–320.
[https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00193-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00193-4)
- Chen, Y.-P., Chen, Y.-M., & Tang, M. (2009). *Solubilities of cinnamic acid, phenoxyacetic acid and 4-methoxyphenylacetic acid in supercritical carbon dioxide. Fluid Phase Equilibria*, 275(1), 33–38.
<https://doi.org/10.1016/J.FLUID.2008.09.009>
- Chirinos, R., Betalleluz-Pallardel, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R., & Campos, D. (2009). *HPLC-DAD characterisation of phenolic compounds from Andean oca (Oxalis tuberosa Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. Food Chemistry*, 113(4), 1243–1251.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.015>
- Chung, I.-M., Seo, S.-H., Ahn, J.-K., & Kim, S.-H. (2011). *Effect of processing, fermentation, and aging treatment to content and profile of phenolic compounds in soybean seed, soy curd and soy paste. Food Chemistry*, 127(3), 960–967. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.01.065>
- Condict, L., Kaur, J., Hung, A., Ashton, J., & Kasapis, S. (2019). *Combined spectroscopic, molecular docking and quantum mechanics study of β -casein and ferulic acid interactions following UHT-like treatment. Food Hydrocolloids*, 89, 351–359. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.10.055>
- Crowder, N. (2009). *CultureShock! Ecuador: A Survival Guide to Customs and Etiquette*.
- De, B. S., Wasewar, K. L., Dhongde, V. R., Ingle, A. A., & Mondal, H. (2018).

- Experimental and modeling of reactive separation of protocatechuic acid. Chemical Engineering Research and Design*, 132, 593–605.
<https://doi.org/10.1016/J.CHERD.2018.01.054>
- De la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2018). *Chapter 12 - Phenolic Compounds* (E. M. B. T.-P. P. and B. of F. and V. Yahia, Ed.). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00012-9>
- Devulapelli, V. G., & Weng, H.-S. (2009). *Esterification of 4-methoxyphenylacetic acid with dimethyl carbonate over mesoporous sulfated zirconia. Catalysis Communications*, 10(13), 1711–1717.
<https://doi.org/10.1016/J.CATCOM.2009.05.012>
- Esquivel, P., & Stintzing, F. C. (2007). *Pigment pattern and expression of colour in fruits from different Hylocereus sp. genotypes. Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(3), 451–457.
<https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2007.03.022>
- Fan, Y., Piao, C. H., Hyeon, E., Jung, S. Y., Eom, J.-E., Shin, H. S., ... Chai, O. H. (2019). *Gallic acid alleviates nasal inflammation via activation of Th1 and inhibition of Th2 and Th17 in a mouse model of allergic rhinitis. International Immunopharmacology*, 70, 512–519.
<https://doi.org/10.1016/J.INTIMP.2019.02.025>
- Fathordoobady, F., Mirhosseini, H., Selamat, J., & Manap, M. Y. A. (2016). *Effect of solvent type and ratio on betacyanins and antioxidant activity of extracts from Hylocereus polyrhizus flesh and peel by supercritical fluid extraction and solvent extraction. Food Chemistry*, 202, 70–80.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.01.121>
- Flores, N., Sirés, I., Rodríguez, R. M., Centellas, F., Cabot, P. L., Garrido, J. A., & Brillas, E. (2017). *Removal of 4-hydroxyphenylacetic acid from aqueous*

- medium by electrochemical oxidation with a BDD anode: Mineralization, kinetics and oxidation products. Journal of Electroanalytical Chemistry, 793, 58–65. <https://doi.org/10.1016/J.JELECHEM.2016.07.042>*
- Francisco, U. S. (2018). Lista de alimentos, preparaciones y bebidas que se consumen en Ecuador según la clasificación NOVA 2017. Bitácora Académica, 5.
- García-Cruz, L., Dueñas, M., Santos-Buelgas, C., Valle-Guadarrama, S., & Salinas-Moreno, Y. (2017). *Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (Stenocereus spp.) fruit from two species (S. Prinosus and S. stellatus). Food Chemistry, 234, 111–118. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.04.174>*
- García-Jimenez, A., García-Molina, F., Teruel-Puche, J. A., Saura-Sanmartin, A., García-Ruiz, P. A., Ortiz-Lopez, A., ... Muñoz-Munoz, J. (2018). *Catalysis and inhibition of tyrosinase in the presence of cinnamic acid and some of its derivatives. International Journal of Biological Macromolecules, 119, 548–554. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.07.173>*
- Ghaffari, S., & Roshanravan, N. (2019). *Saffron; An updated review on biological properties with special focus on cardiovascular effects. Biomedicine & Pharmacotherapy, 109, 21–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.10.031>*
- Giambanelli, E., D'Antuono, L. F., Ferioli, F., Frenich, A. G., & Romero-González, R. (2018). *Sesquiterpene lactones and inositol 4-hydroxyphenylacetic acid derivatives in wild edible leafy vegetables from Central Italy. Journal of Food Composition and Analysis, 72, 1–6. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2018.06.003>*
- Gonçalves Tavares, D., Viana Lessa Barbosa, B., Lopes Ferreira, R., Ferreira Duarte, W., & Gomes Cardoso, P. (2018). *Antioxidant activity and phenolic*

- compounds of the extract from pigment-producing fungi isolated from Brazilian caves. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 148–154. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2018.07.031>
- Han, M., Li, G., Liu, X., Li, A., Mao, P., Liu, P., & Li, H. (2019). *Phenolic Profile, Antioxidant Activity and Anti-proliferative Activity of Crabapple Fruits. Horticultural Plant Journal*. <https://doi.org/10.1016/J.HPJ.2019.01.003>
- Jo, E.-R., Youn, C. K., Jun, Y., & Cho, S. II. (2019). *The protective role of ferulic acid against cisplatin-induced ototoxicity. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 120, 30–35. <https://doi.org/10.1016/J.IJPORL.2019.02.001>
- Kumar, N., & Pruthi, V. (2014). *Potential applications of ferulic acid from natural sources. Biotechnology Reports*, 4, 86–93. <https://doi.org/10.1016/J.BTRE.2014.09.002>
- Lee, J., Chan, B. L. S., & Mitchell, A. E. (2017). *Identification/quantification of free and bound phenolic acids in peel and pulp of apples (Malus domestica) using high resolution mass spectrometry (HRMS). Food Chemistry*, 215, 301–310. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.07.166>
- LI, H., XIAN, H., & ZHAO, G. (2010). *Synthesis and crystal structures of La(III), Y(III) complexes of homoveratric acid with 1,10-phenanthroline. Journal of Rare Earths*, 28(1), 7–11. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(09\)60039-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(09)60039-9)
- Li, X., Liu, G., Tu, Y., Li, J., & Yan, S. (2019). *Ferulic acid pretreatment alleviates the decrease in hardness of cooked Chinese radish (Raphanus sativus L. var. longipinnatus Bailey). Food Chemistry*, 278, 502–508. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.10.086>
- Liang, Y., Zhao, X., Ma, P. X., Guo, B., Du, Y., & Han, X. (2019). *pH-responsive injectable hydrogels with mucosal adhesiveness based on chitosan-grafted-*

- dihydrocaffeic acid and oxidized pullulan for localized drug delivery. Journal of Colloid and Interface Science*, 536, 224–234. <https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2018.10.056>
- Lourenço Neto, M., Agra, K. L., Suassuna Filho, J., & Jorge, F. E. (2018). *TDDFT calculations and photoacoustic spectroscopy experiments used to identify phenolic acid functional biomolecules in Brazilian tropical fruits in natura. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 193, 249–257. <https://doi.org/10.1016/J.SAA.2017.12.036>
- Lucia De la Torre, Hugo Navarrete, Priscilla Muriel, Manuela Macía, Henrik Balslev, H. (2008). *Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador. Herbario QCA & Herbario AAU.*
- Madureira, A. R., Pereira, A., & Pintado, M. (2016). *Chitosan nanoparticles loaded with 2,5-dihydroxybenzoic acid and protocatechuic acid: Properties and digestion. Journal of Food Engineering*, 174, 8–14. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2015.11.007>
- Maslov, L. N., Naryzhnaya, N. V, Boshchenko, A. A., Popov, S. V, Ivanov, V. V, & Oeltgen, P. R. (2018). *Is oxidative stress of adipocytes a cause or a consequence of the metabolic syndrome? Journal of Clinical & Translational Endocrinology*, 15, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jcte.2018.11.001>
- Medina, S., Gil-Izquierdo, Á., Durand, T., Ferreres, F., & Domínguez-Perles, R. (2018). *Structural/Functional Matches and Divergences of Phytoprostanes and Phytofurans with Bioactive Human Oxylipins. Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 7(11), 165. <https://doi.org/10.3390/antiox7110165>
- Meinhart, A. D., Damin, F. M., Caldeirão, L., de Jesus Filho, M., da Silva, L. C., da Silva Constant, L., Godoy, H. T. (2019). *Chlorogenic and caffeic acids in 64 fruits consumed in Brazil. Food Chemistry*, 286, 51–63. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.02.004>

- Nematollahi, D., Ghorbani, A., Amani, A., Salehzadeh, H., & Beiginejad, H. (2013). *Oxidative Diels–Alder reaction of 2,5-dihydroxybenzoic acid with 1,3-cyclopentadiene*. *Chinese Chemical Letters*, 24(3), 205–207. <https://doi.org/10.1016/J.CCLET.2013.01.040>
- NIH. (2019). PubChem. Recuperado el 18 de Mayo de 2019 de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Obenchain, Janel Spark, A. (2015). *Food Policy: Looking Forward from the Past*.
- Ogawa, S., & Kunugi, H. (2019). *Evidence for reduced homovanillic acid (HVA) in the cerebrospinal fluid of patients with depression*. *Journal of Affective Disorders*, 255, 182–184. <https://doi.org/10.1016/J.JAD.2019.04.028>
- OMS. (2014). Enfermedades no transmisibles. Recuperado el 05 de Marzo de 2019 de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Panda, H. (2013). *The Complete Book on Fruits, Vegetables and Food Processing*.
- Pfeifer, R., Tamiasso Martinhon, P., Sousa, C., Moreira, J. C., Nascimento, M. A. C., Barek, J., & Vyskočil, V. (2019). *The role of 3,4-dihydroxyphenylacetic acid adsorption in the oxidation of homovanillic acid at a glassy carbon rotating disc electrode*. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 838, 129–135. <https://doi.org/10.1016/J.JELECHEM.2019.01.059>
- Poquet, L., Clifford, M. N., & Williamson, G. (2008a). *Effect of dihydrocaffeic acid on UV irradiation of human keratinocyte HaCaT cells*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 476(2), 196–204. <https://doi.org/10.1016/J.ABB.2008.01.019>
- Poquet, L., Clifford, M. N., & Williamson, G. (2008b). *Investigation of the metabolic fate of dihydrocaffeic acid*. *Biochemical Pharmacology*, 75(5), 1218–1229. <https://doi.org/10.1016/J.BCP.2007.11.009>
- Qin, Y., Wang, L., Liu, Y., Zhang, Q., Li, Y., & Wu, Z. (2018). *Release of phenolics*

- compounds from Rubus idaeus L. dried fruits and seeds during simulated in vitro digestion and their bio-activities. Journal of Functional Foods, 46, 57–65.*
<https://doi.org/10.1016/J.JFF.2018.04.046>
- Ramírez-Garza, S. L., Laveriano-Santos, E. P., Marhuenda-Muñoz, M., Storniolo, C. E., Tresserra-Rimbau, A., Vallverdú-Queralt, A., & Lamuela-Raventós, R. M. (2018). *Health Effects of Resveratrol: Results from Human Intervention Trials. Nutrients, 10(12).* <https://doi.org/10.3390/nu10121892>
- Rosa, L. de S., Jordão, N. A., da Costa Pereira Soares, N., deMesquita, J. F., Monteiro, M., & Teodoro, A. J. (2018). *Pharmacokinetic, Antiproliferative and Apoptotic Effects of Phenolic Acids in Human Colon Adenocarcinoma Cells Using In Vitro and In Silico Approaches. Molecules, 23(10).*
<https://doi.org/10.3390/molecules23102569>
- Shahzad, S., Mateen, S., Naeem, S. S., Akhtar, K., Rizvi, W., & Moin, S. (2019). *Syringic acid protects from isoproterenol induced cardiotoxicity in rats. European Journal of Pharmacology, 849, 135–145.*
<https://doi.org/10.1016/J.EJPHAR.2019.01.056>
- Siebert, M., Berger, R. G., & Nieter, A. (2018). *Enzymatic mitigation of 5-O-chlorogenic acid for an improved digestibility of coffee. Food Chemistry, 258, 124–128.* <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.03.061>
- Singh, K., & Kumar, A. (2018). *Kinetics of complex formation of Fe(III) with syringic acid: Experimental and theoretical study. Food Chemistry, 265, 96–100.*
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.05.071>
- Spencer, Jeremy Crozier, A. (2012). *Flavonoids and Related Compounds: Bioavailability and Function.*
- Srinivasulu, C., Ramgopal, M., Ramanjaneyulu, G., Anuradha, C. M., & Suresh Kumar, C. (2018). *Syringic acid (SA) – A Review of Its Occurrence,*

- Biosynthesis, Pharmacological and Industrial Importance. Biomedicine & Pharmacotherapy*, 108, 547–557.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOPHA.2018.09.069>
- Stipanuk, Martha Caudill, M. (2013). *Biochemical, Physiological, and Molecular Aspects of Human Nutrition*.
- Suh, D. H., Lee, S., Heo, D. Y., Kim, Y.-S., Cho, S. K., Lee, S., & Lee, C. H. (2014). *Metabolite Profiling of Red and White Pitayas (Hylocereus polyrhizus and Hylocereus undatus) for Comparing Betalain Biosynthesis and Antioxidant Activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(34), 8764–8771.
<https://doi.org/10.1021/jf5020704>
- Tan, X., Li, Q., & Yang, J. (2019). *CdTe QDs based fluorescent sensor for the determination of gallic acid in tea. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 117356.
<https://doi.org/10.1016/J.SAA.2019.117356>
- Tang, S., Chia, G. H., & Lee, H. K. (2015). *Magnetic core-shell iron(II,III) oxide@layered double oxide microspheres for removal of 2,5-dihydroxybenzoic acid from aqueous solutions. Journal of Colloid and Interface Science*, 437, 316–323. <https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2014.09.038>
- Telles, A. C., Kupski, L., & Furlong, E. B. (2017). *Phenolic compound in beans as protection against mycotoxins. Food Chemistry*, 214, 293–299.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.079>
- Thakur, N., Kumar, V., Thakur, S., Sharma, N., Sheetal, & Bhalla, T. C. (2018). *Biotransformation of 4-hydroxyphenylacetonitrile to 4-hydroxyphenylacetic acid using whole cell arylacetonitrilase of Alcaligenes faecalis MTCC 12629. Process Biochemistry*, 73, 117–123.
<https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2018.07.012>

- Totaro, G., Sisti, L., Celli, A., Askanian, H., Hennous, M., Verney, V., & Leroux, F. (2017). *Chain extender effect of 3-(4-hydroxyphenyl)propionic acid/layered double hydroxide in PBS bionanocomposites*. *European Polymer Journal*, *94*, 20–32. <https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2017.06.031>
- Uleberg, E., Rohloff, J., Jaakola, L., Tröst, K., Junntila, O., Häggman, H., & Martinussen, I. (2012). *Effects of Temperature and Photoperiod on Yield and Chemical Composition of Northern and Southern Clones of Bilberry (Vaccinium myrtillus L.)*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(42), 10406–10414. <https://doi.org/10.1021/jf302924m>
- Umre, R., Ganeshpurkar, A., Ganeshpurkar, A., Pandey, S., Pandey, V., Shrivastava, A., & Dubey, N. (2018). *In vitro, in vivo and in silico antiulcer activity of ferulic acid*. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, *4*(2), 248–253. <https://doi.org/10.1016/J.FJPS.2018.08.001>
- Urszula Gawlik-Dziki, Michał Świeca, D. D. (2012). *Comparison of Phenolic Acids Profile and Antioxidant Potential of Six Varieties of Spelt (Triticum spelta L.)*. *AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY*, 4603–4612.
- Vasco, C., Ruales, J., & Kamal-Eldin, A. (2008). *Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador*. *Food Chemistry*, *111*(4), 816–823. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.054>
- Vázquez, Clotilde Cos, Ana López, C. (2015). *Alimentación y nutrición*.
- Villares, A., García-Lafuente, A., Guillamón, E., & Ramos, Á. (2012). *Identification and quantification of ergosterol and phenolic compounds occurring in Tuber spp. truffles*. *Journal of Food Composition and Analysis*, *26*(1–2), 177–182. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2011.12.003>
- Wallis, C. M., Chen, J., & Civerolo, E. L. (2012). *Zebra chip-diseased potato tubers are characterized by increased levels of host phenolics, amino acids, and*

- defense-related proteins. Physiological and Molecular Plant Pathology*, 78, 66–72. <https://doi.org/10.1016/J.PMPP.2012.02.001>
- Wang, X., Zeng, Z., Tian, Z., Sun, J., Li, Y., & Fan, X. (2019). *Validation of spectrophotometric determination of chlorogenic acid in fermentation broth and fruits. Food Chemistry*, 278, 170–177. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.11.041>
- Wen, X., Erşan, S., Li, M., Wang, K., Steingass, C. B., Schweiggert, R. M., ... Carle, R. (2019). *Physicochemical characteristics and phytochemical profiles of yellow and red Physalis (Physalis alkekengi L. and P. pubescens L.) fruits cultivated in China. Food Research International*, 120, 389–398. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2019.03.002>
- Wu, H.-S., & Tang, J.-F. (1999). *Formation and hydrolysis of 4-methoxyphenylacetic acid butyl ester reacting from 4-methoxyphenylacetic acid and n-bromobutane using triphase catalysis. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 145(1–2), 95–105. [https://doi.org/10.1016/S1381-1169\(99\)00027-8](https://doi.org/10.1016/S1381-1169(99)00027-8)
- Xu, R., Xue, J., Huang, C., & Zhao, H. (2019). *Remarks on “Solubilities of p-coumaric and caffeic acid in ionic liquids and organic solvents.” The Journal of Chemical Thermodynamics*, 131, 21–24. <https://doi.org/10.1016/J.JCT.2018.10.011>
- Xu, Z., Wang, T., & Zhang, S. (2019). *Extracellular secretion of feruloyl esterase derived from Lactobacillus crispatus in Escherichia coli and its application for ferulic acid production. Bioresource Technology*, 288, 121526. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2019.121526>
- Yamdeu Galani, J. H., Mankad, P. M., Shah, A. K., Patel, N. J., Acharya, R. R., & Talati, J. G. (2017). *Effect of Storage Temperature on Vitamin C, Total Phenolics, UPLC Phenolic Acid Profile and Antioxidant Capacity of Eleven Potato (Solanum tuberosum) Varieties. Horticultural Plant Journal*, 3(2), 73–89. <https://doi.org/10.1016/J.HPJ.2017.07.004>

- Ye, J.-H., Huang, L.-Y., Terefe, N. S., & Augustin, M. A. (2019). *Fermentation-based biotransformation of glucosinolates, phenolics and sugars in retorted broccoli puree by lactic acid bacteria*. *Food Chemistry*, 286, 616–623. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.02.030>
- Yrbas, M. de los A., Morucci, F., Alonso, R., & Gorzalczany, S. (2015). *Pharmacological mechanism underlying the antinociceptive activity of vanillic acid*. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 132, 88–95. <https://doi.org/10.1016/J.PBB.2015.02.016>
- Zhang, L., Li, Y., Liang, Y., Liang, K., Zhang, F., Xu, T., Lu, B. (2019). *Determination of phenolic acid profiles by HPLC-MS in vegetables commonly consumed in China*. *Food Chemistry*, 276, 538–546. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.10.074>

