

RIESGOS Y BENEFICIOS DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS VEGETALES PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL Y HUMANA

RISKS AND BENEFITS OF PLANT SECONDARY METABOLITES FOR ANIMAL AND HUMAN FEEDING

Iris Pérez-Almeida¹  Fanny Requena-Rondón²  Graciela Piñero² 

¹Universidad Tecnológica ECOTEC, Ecuador.

²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Maracay, estado Aragua, Venezuela

Correspondencia:

Iris Pérez Almeida
iperez@ecotec.edu.ec

Como citar este artículo: Pérez- Almeida, I., Requena-Rondón, F., & Pínero, G. (2022). Riesgos y beneficios de los metabolitos secundarios vegetales para la alimentación animal y humana. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 1(2), 127 - 142. <https://doi.org/10.57107/hyw.v1i2.30>

RESUMEN

Los alimentos no solo deben tener valor por su rendimiento productivo sostenible o su aporte nutricional, sino que también deben ser seguros para el consumidor y de bajo impacto ambiental. Los Metabolitos Secundarios Vegetales son compuestos químicos que no solamente tienen una gran importancia ecológica porque participan en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente. sino que también, les confieren propiedades organolépticas, terapéuticas o antinutricionales a los alimentos vegetales que los contienen, por lo que podrían jugar un papel protagónico en la salud integral de los seres vivos tan fuertemente amenazados por el Cambio Climático o las pandemias, El presente trabajo revisa los aspectos generales de estos compuestos y su atributo como factores antinutricionales, sustancias bioactivas o prebióticas, según el contexto alimentario animal o humano.

Palabras clave: fitoquímicos, inocuidad alimentaria, antinutricionales, sustancias bioactivas

ABSTRACT

Food must not only have value due to its sustainable productive yield or its nutritional contribution, but it must also be safe for the consumer and have a low environmental impact. Plant Secondary Metabolites are chemical compounds that not only have great ecological importance because they participate in the adaptation processes of plants to their environment. but also, they confer organoleptic, therapeutic or anti-nutritional properties to the plant foods that contain them, so they could play a leading role in the integral health of living beings so strongly threatened by Climate Change or pandemics, The present work reviews the general aspects of these compounds and their attribute as anti-nutritional factors, bioactive substances or prebiotics, depending on the animal or human food context.

Key words: phytochemicals, food safety, anti-nutritional, bioactive substances



INTRODUCCIÓN

Cada día cobra mayor importancia el conocimiento relacionado con los efectos positivos o, por el contrario, los riesgos que puedan aportar a la salud humana el consumo de alimentos, los cuales no sólo deben tener un valor por su rendimiento productivo sostenible o por su aporte nutricional, sino que también deben cumplir ciertos cánones que los hagan inocuos al consumidor y de bajo impacto al equilibrio ambiental. Tales consideraciones son válidas tanto para los alimentos de origen vegetal y animal, como para su empleo en la alimentación animal y humana.

Según el Informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) "El estado de la Seguridad Alimentaria y Nutrición en el Mundo 2021", se deben implementar estrategias innovadoras para la búsqueda de alimentos ideales que puedan ayudar a contribuir con los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS). En el mismo informe se señala la importancia de pasar a dietas saludables las cuales reducirían en un 97 % los costos sanitarios y entre un 41 % y el 74 % de los costos sociales de la emisión de los Gases Invernadero (GEI) (FAO et al., 2020).

Los Metabolitos Secundarios de las Plantas (MSP) podrían tener un rol protagónico, sobre la salud integral de los seres vivos y en el equilibrio ambiental tan fuertemente amenazado hoy día por las causas y consecuencias del Cambio Climático y por la pandemia del COVID 19. Los MSP son compuestos químicos que no solamente tienen una gran importancia ecológica porque participan en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente, como es el establecimiento de la simbiosis con otros organismos, en la atracción de insectos polinizadores y dispersores de las semillas y frutos, (Sepúlveda et al., 2004), sino que también, les confieren propiedades organolépticas, terapéuticas o antinutricionales a los alimentos vegetales que los contienen.

Estas propiedades, añaden un enorme valor desde el punto de vista económico, ya que se utilizan como productos químicos especiales, fármacos, aromatizantes, cosméticos, fragancias, insecticidas y colorantes. (Verpoorte & Alfermann, 2000).

En el ámbito de la producción relacionada con las plantas aromáticas y medicinales (PAM), y con base a los datos de las diferentes áreas de consumo en el mercado mundial relacionadas con el uso de plantas y sus futuras transformaciones, se puede agrupar el mercado de las PAM en cuatro grandes sectores, dependiendo de los productos derivados de ellas:

- Hierbas y especias
 - Aceites esenciales
 - Extractos (principios activos, medicina y suplementos)
 - Productos de material vegetal en fresco (de la Torre & López, 2010). esta revisión se referirá únicamente a los productos de material vegetal en fresco.
- Según el *Botanical Supplements Market Size Report* (2020), el tamaño del mercado global de suplementos botánicos se valoró en USD 27,47 mil millones en 2020 y se espera que se expanda a una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) del 9,1% de 2020 a 2028. Esto debido entre otras cosas a que la pandemia del COVID 19 ha alentado a los consumidores a realizar cambios en la dieta y consumo de suplementos herbales.

Sin embargo, el consumo de alimentos con MSP puede acarrear riesgos a la salud tal como lo documentan las evaluaciones a los ingredientes de origen vegetal utilizadas para la alimentación de animales de monogástricos (León et al., 1993; González et al., 2019) y en rumiantes (Reed et al., 1995), situación a la que no escapa el humano, quien debe poner particular atención en el consumo de ciertas dietas consideradas saludables.

Es así como, dependiendo del contexto alimentario bajo el cual los MSP sean consumidos se les podrá entonces catalogar de beneficiosos o riesgosos ya que se pueden comportar como factores antinutricionales (FAN), fitoquímicos, sustancias tóxicas, bioactivas o prebióticas.

Es importante destacar que gracias al avance del conocimiento científico de diversas disciplinas y al desarrollo de diversas técnicas analíticas, como la cromatografía, resonancia magnética, espectrometría de masas; los cultivos *in vitro* de plantas, órganos y células, y las técnicas moleculares, aunado a tecnologías de procesamiento, se ha facilitado el manejo y dosificación de estos compuestos (Almaraz –Abarca et al., 2006.).

El presente trabajo se plantea como objetivo revisar y actualizar el conocimiento de las propiedades de los MSP, haciendo especial énfasis en los riesgos y beneficios que para la alimentación humana y animal puede representar su consumo, esto en aras de contribuir a la difusión del conocimiento y de incentivar la investigación sobre estos importantes compuestos presentes en el reino vegetal.

GENERALIDADES DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS DE PLANTAS

Son muchas y variadas las definiciones que sobre MSP se pueden encontrar en la literatura. Sin embargo, muchas de estas se podrán resumir en la que los cataloga como el resultado del anabolismo y catabolismo de compuestos bioquímicos originados en el metabolismo primario y que poseen funciones especializadas dependiendo de su origen celular. (Camacho-Escobar et al., 2020).

Entre los antecedentes sobre la definición y características de los MSP, se tiene que fue el médico alemán Alberto Kossel el primero que se refirió a ellos como metabolitos secundarios en 1981 y que los investigadores Rothschild & Harborne, fueron los pioneros en encontrar la relación entre

la concentración de los metabolitos secundarios y la capacidad de las plantas para protegerse contra el ataque de herbívoros y patógenos. (Almaraz-Abarca et al., 2006). Esto dio el primer giro a la apreciación que se tenía de esos compuestos y fue cuando entonces se les reconoció un papel importante en el establecimiento de las relaciones de las plantas con su ambiente.

Esta relación con el ambiente fue clasificada como una interacción química de varias categorías; interacción planta-animal, interacción planta-microorganismo, interacción planta-planta. La interacción planta-animal se da a través de la síntesis de sustancias como taninos, sistemas polifenólicos que inhiben el crecimiento de otras plantas, o a través de la producción de toxinas que interfieren en el metabolismo de los organismos herbívoros. En cambio, la interacción planta-microorganismo se logra mediante la producción de compuestos en respuesta a microorganismos patógenos o infecciones bacterianas. El último tipo de interacción que se puede considerar es la interacción planta-planta. Todos los organismos para crecer y reproducirse tienen la necesidad de sintetizar y transformar un gran número de compuestos orgánicos (Nini. 2014).

Clasificación de metabolitos secundarios

Con relación a la clasificación de los MSP, existen también diferentes categorías que van a depender de las características químicas, el origen vegetal o biosintético. (Verpoorte & Alfermann, 2000).

Generalmente se encuentra en la literatura que los MSP se pueden clasificar en cuatro grupos: fenoles, terpenos, glucósidos y alcaloides. En la Tabla 1 se presentan los principales grupos y subgrupos de MSP presentes en alimentos.

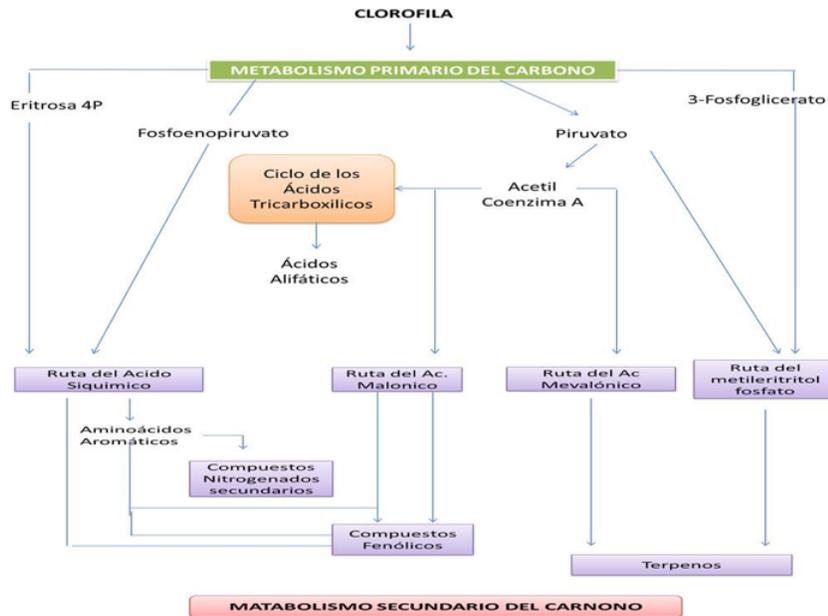
TABLA 1*Clasificación de Metabolitos Secundarios presentes en alimentos vegetales*

Grupo Msp	Subgrupo de ms	Alimento que lo contiene	Referencia
FENOLES	Acido Fenólico: Flavonoides Taninos	Mora, frambuesa, fresa, grosella negra, arándano, arándano rojo, pera, cereza dulce, manzana, naranja, pomelo, limón y melocotón. Manzanas, albaricoques, uvas, ciruelas, arándanos, arándanos, aceitunas, bayas de saúco, grosellas, cerezas, moras y arándanos Limon, naranja, grapefruit y tangerine Semilla/piel de uva, jugo de manzana, fresas, frambuesas, granada, nueces, melocotón, mora y ciruela	Bruce, S. (2022)
TERPENOS	Monoterpenos (alfa-pineno Limoneno) Sesquiterpenos (Gosipol Ácido abscísico) Diterpenos (Tanshinones Cafetol) Triterpenos (Saponina) Tetraterpenos (Alfacaroteno Betacaroteno Epsilon-caroteno)	Pino Frutos cítricos Algodón Margaritas Girasoles Salvia china Café Piel de las plantas Zanahoria Tomate Toronjas rojas	FITFORBEACH, (2022)
GLUCOSIDOS	Saponinas Glicósidos cianogénicos Glucosinolatos	Leguminosas semillas de almendra, albaricoque, cereza, melocotón, mandioca o yuca, col de bruselas, brócoli, coliflor y repollo,	Ávalos, A. & Pérez-Urria, E. (2009)
OTROS	Ácido Fítico, ácido Oxálico; ácido tartárico, ácido quínico	Maíz, soya, frutos secos Espinaca, remolacha, maní Uvas, manzana, plátanos Quina, granos de café	Egbuna, E. et al., (2019).

Esta clasificación de los metabolitos secundarios se establece a partir de la vía biosintética requerida para su síntesis (por ejemplo, vía del shikimato: compuestos fenólicos, vía acetato – mevalónico: terpenoides), ya que cada uno de ellos es producido a través de una vía metabólica/biogenética que incluye la expresión de enzimas para un sustrato específico (Suárez-Medina & Coy-Barrera, 2016). En la Figura 1 se muestran las principales rutas metabólicas para la biosíntesis de los MSP.

FIGURA 1

Rutas Metabólicas para la Biosíntesis de Metabolitos Secundarios



Nota: Adaptado de: Taiz et al., (2015). Plant Physiology and Development. APPENDIX 4 Secondary. <http://6e.plantphys.net/PlantPhys6e-appendix04.pdf> (p A4-3).

La síntesis de MSP depende de la etapa de desarrollo de la planta y sus niveles

constitutivos sólo se incrementan como parte de la respuesta al estrés abiótico o biótico. Este aumento en los niveles de MSP, es importante para la supervivencia de las plantas, ya que su síntesis se deriva del

metabolismo primario y porque algunos compuestos son tóxicos para la misma planta (Sepúlveda et al., 2003).

En la actualidad, una gran parte de los pasos que conducen a la síntesis de la mayoría de los

compuestos secundarios es ya conocida; del mismo modo, la mayoría de las enzimas participantes en el metabolismo secundario de las plantas ya ha sido caracterizada y secuenciada. La manipulación genética de las enzimas del metabolismo secundario, principalmente el asociado a la determinación del color de las flores se trabaja muy intensamente por el valor económico que esto representa (Almaraz-Abarca et al., 2006)

Factores que Influencian la biosíntesis de MSP

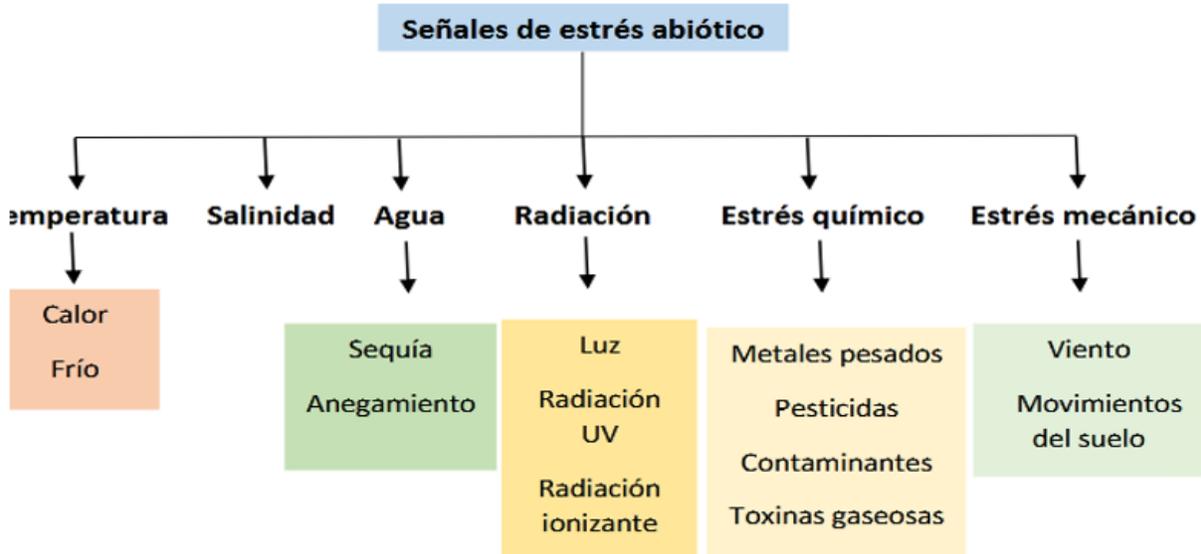
El contenido de varios tipos de metabolitos secundarios está influenciado por el genotipo de la planta (la especie y la variedad), los factores ambientales (la radiación solar y la disponibilidad

de agua, la madurez, la condición nutricional del suelo, y la depredación y las enfermedades. (Santacoloma & Granados, 2012). En la Figura 2, se

pueden observar los principales factores abióticos que pueden influenciar la biosíntesis de MSP.

FIGURA 2

Principales factores abióticos que influyen la biosíntesis de metabolitos secundarios de plantas



Nota: Adaptado de “La influencia del estrés abiótico en la síntesis de metabolitos secundarios de plantas medicinales” (p. 6), por Molina A. (2018). Revista Mexicana de Fitopatología, 21 (3).

En los últimos años, la elicitación ha sido una estrategia biotecnológica ampliamente usada para inducir la biosíntesis de compuestos bioactivos en sistemas de cultivo in vitro de células, órganos y plantas. Los estudios se han enfocado en analizar el tipo de elicitor, la dosis y la frecuencia de aplicación para inducir vías metabólicas específicas que dan como resultado la producción de los metabolitos secundarios de interés (García-Morales & León-Morales, 2021).

Determinación y Cuantificación de los MSP

La determinación de los MSP es muy compleja dado su relativa baja concentración en el material vegetal y a causa de la complejidad de la matriz orgánica de la cual se extraen y purifican. Por otra parte, estas sustancias están mezcladas con otros compuestos y esto comporta el uso de técnicas particulares que permiten su separación además

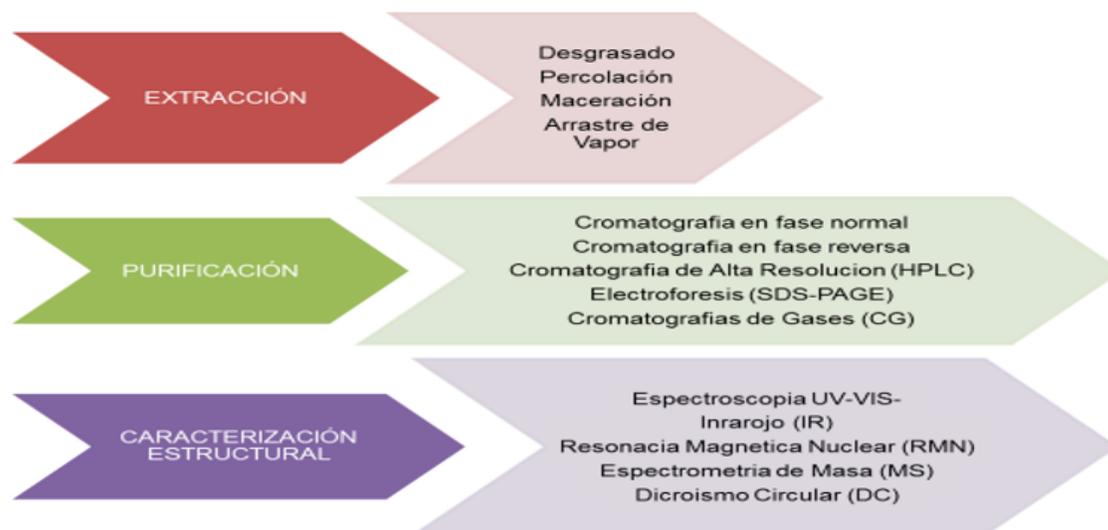
de su caracterización y cuantificación.

Existe una diversidad de técnicas que se usan para elucidar la naturaleza química de los MSP, que van desde los llamados análisis de screening (análisis preliminar) o tamiz fotoquímico, hasta los más avanzados, que utilizan equipos muy específicos. El tamizaje fotoquímico consiste en la extracción de la planta con solventes apropiados y la aplicación de reacciones de coloración y precipitación (Castillo et al., 2017).

Mientras los procesos analíticos para determinar el tipo y cantidad de metabolito secundario presente en un alimento de origen vegetal se pueden agrupar en tres fases: extracción, purificación y caracterización estructural. En la Figura 3, se muestran las fases de análisis y las principales herramientas analíticas utilizadas.

FIGURA 3

Principales técnicas analíticas utilizadas para el análisis cualitativo, cuantitativo y estructural de los Metabolitos Secundarios de Plantas



En un análisis tipo, la extracción por lo general se realiza utilizando solventes a partir del material vegetal deshidratado a bajas temperaturas o liofilizado. Del extracto crudo se procede a la purificación de varios metabolitos mediante cromatografía en fase normal (sílica gel) o en fase inversa (RP 18), mientras que para la evaluación cuali-cuantitativa se utilizan técnicas cromatográficas, tales como la cromatografía líquida de alta precisión (HPLC) o la cromatografía de gases acoplada a la espectrofotometría de masas (GC/MS). La caracterización de la estructura química generalmente se realiza mediante técnicas fisicoquímicas y espectroscópicas, como la Resonancia Magnética Nuclear (NMR), Espectroscopia Infra Red (IR) y Espectroscopia Ultravioleta Visible (UV-VIS) y la difracción de rayos X (DRX) entre otras (Tava, 2007).

Mediante estas técnicas se han determinado más de 50.000 estructuras, estimándose que más de un 20% de las plantas se encuentran sin ser estudiadas (Suárez-Medina & Coy-Barrera, 2016), lo que representa un gran reto para las nuevas generaciones de investigadores.

LOS METABOLITOS SECUNDARIOS EN LA ALIMENTACION ANIMAL

La alimentación animal se caracteriza por la utilización de muchos ingredientes de origen vegetal, donde el maíz y la soya son los preponderantes, aunque también se ha querido introducir la utilización de fuentes vegetales alternativas, como las leguminosas o follajes; sin embargo, todos los ingredientes vegetales contienen una gran variedad de metabolitos secundarios (Requena – Rondón, 2014). Estos MSP presentes, tienden a ejercer una acción anti nutricional que afecta la salud y los parámetros productivos de diversas especies de interés zootécnico, si no se toman medidas correctivas pertinentes.

Los animales monogástricos (aves y cerdos) criados en sistemas intensivos tienen mayores desventajas que los poligástricos quienes gracias a la microflora presente en el rumen pueden inactivar los componentes tóxicos presentes en granos y forrajes. En la Tabla 2 se muestran los principales efectos de los MSP sobre la salud de aves y cerdos.

TABLA 2

Principales efectos de los MSP sobre la salud de aves y cerdos.

Ingrediente (granos integrales)	Principales metabolitos secundarios presentes	Efectos sobre salud de aves y cerdos
SOYA	INHIBIDORES DE PROTEASAS oligosacáridos, saponinas, factores anti-pancreática, secreción tiroideos, fitohemoaglutininas lectinas, lipasas, lipoxidasas	Reducción de la actividad de las proteasas, hipertrofia/hiperplasia secreción incrementada de enzimas opancreáticas, nódulos hacinares, depresión del crecimiento Daño de la pared intestinal, respuesta inmune
MAIZ	ACIDO FITICO	Disminución de la biodisponibilidad de minerales inhibición de enzimas digestivas como la pepsina, pancreatina y α -amilasa;
SORGO	TANINOS CONDENSADOS	Formación de complejo proteína-carbohidrato, interferencia con digestibilidad de proteínas y carbohidratos
LEGUMINOSAS	LECTINAS	Daño de la pared intestinal, respuesta inmune, pérdidas incrementadas de proteína endógena, depresión del crecimiento, muerte

Nota: Adaptado de "Factores Antinutricionales de Animales Monogástricos (p. 52) de Belmar & Nava (2005). VIII Encuentro de Nutrición y producción de Monogástricos. UNELLEZ-Venezuela

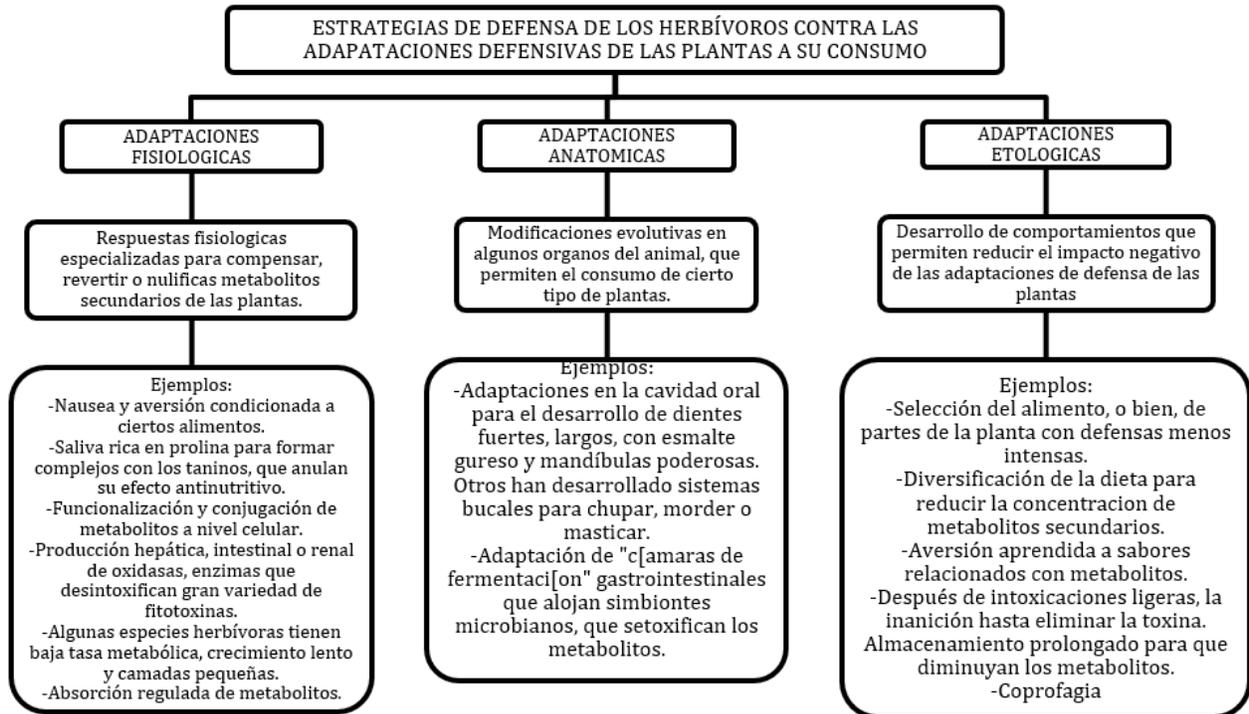
Existen un gran número de métodos disponibles para la inactivación o remoción de los FAN. El cruzamiento y la manipulación genética constituyen métodos cuyos resultados se alcanzan a largo plazo y se deben trabajar con cautela ya que los FAN representan una barrera de defensa ante el ataque de plagas y enfermedades. Sin embargo, es necesario tratar de lograr establecer el umbral óptimo de acción de estas sustancias. Algunos procesos utilizados para la reducción o eliminación de los factores antinutricionales son: remojo en agua; selección de ingredientes; suplementación con aminoácidos, tratamientos químicos: álcalis, ácidos y solventes; tratamientos enzimáticos,

tratamientos físicos, ruptura mecánica: molido, descascarado, pulverización, granulación, picado; extrusión calor húmedo o seco presión radiaciones procesos de germinación y fermentación cruzamiento y manipulación genética (Savón & Scull, 2006).

Como ya se ha señalado los animales poligástricos (rumiantes) bajo sistemas de producción extensivo, poseen cierta ventaja dado su sistema digestivo, pero además adoptan algunos mecanismos que les permiten contrarrestar la ingesta de los FAN presentes en forrajes (Fig..4).

FIGURA 4

Estrategias de defensa de los herbívoros contra las adaptaciones defensivas de las plantas a su consumo



Nota: Adaptado de "Las defensas fisicoquímicas de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes (p. 448), por Camacho-Escobar et al., (2020), Terra Latinoamericana Número Especial 38-2: 443-453. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.629>

No obstante, los ya probados y conocidos efectos negativos de ciertos FAN en la alimentación animal, estudios recientes han demostrado los beneficios de otros tantos no solo para la nutrición y producción animal sino también para la salud y para contrarrestar los efectos negativos que sobre el Cambio Climático pueden tener estas producciones. En este sentido, son importante los hallazgos relacionados con la utilización de los glucósidos de la Estevia (*Stevia rebaudiana*) en combinación con la *Saphora flavences*, en la disminución de enteritis por rotavirus en el ganado porcino; así como, el aumento sobre la ganancia de peso diaria y el índice de conversión de pollos de engorde suplementados con ajo y pimienta negra (Blanch, 2017).

Mientras que una alternativa de mitigación natural de Gases Invernadero es el uso de metabolitos secundarios de las plantas ya que, según algunos

estudios, la combinación de follajes de la *Leucaena leucocephala* con plantas con altos contenidos de taninos condensados, saponinas o almidón en la dieta de rumiantes permite reducir las emisiones de metano entérico sin afectar la fermentación en el rumen (Ku- Vera, 2018).

Estos importantes hallazgos deben ser profundizados para aportar soluciones a la tan cuestionada cría de bovinos y sus efectos reales sobre el Cambio Climático.

METABOLITOS SECUNDARIOS DE PLANTAS EN LA ALIMENTACION HUMANA

En el contexto de la alimentación humana los MSP cobran un papel beneficioso, aunque también pueden representar riesgos a la salud. Es así como se le denomina sustancias bioactivas o fitoquímicos presentes en los alimentos funcionales. Se define

como alimentos funcionales los productos alimenticios de origen animal o vegetal, consumidos en la dieta diaria, que además de aportar nutrientes poseen componentes bioactivos. Estos compuestos ejercen efectos farmacológicos que modulan funciones terapéuticas en el cuerpo que resultan benéficas para la salud. (Drago et al., 2006).

El comité de expertos FAO/OMS sobre dieta, alimentación y prevención de enfermedades crónicas, propone metas nutricionales enfocadas a contribuir al desarrollo de estrategias regionales y nacionales a fin de reducir la carga de enfermedades relacionadas con la alimentación,

tales como obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares y diversas formas de cáncer entre otras. Dentro de estas metas nutricionales se incluye la recomendación de consumo de al menos 400 g de verduras y frutas al día por persona (Zacarías et al., 2020).

Las sustancias bioactivas se encuentran principalmente en las frutas y hortalizas, aunque también en semillas de cereales y leguminosas. Una forma singular de clasificar MS presentes en frutas y hortalizas es el de relacionarlo con los colores o pigmentos de las frutas y vegetales (Tabla 3).

TABLA 3

Colores asociados a frutas y verduras con propiedades benéficas sobre la salud humana

COLOR	PROPIEDADES	EJEMPLOS
Purpura/azul	Antioxidantes que pueden reducir los riesgos de cáncer, accidentes cardiovasculares y enfermedades cardíacas	Betarraga (remolacha), repollo colorado, berenjena, Mora, arándano, uva morada, ciruela, masracuyá.
Rojo	Ayuda a disminuir el riesgo de cáncer y mejora la salud cardiovascular.	Betarraga (remolacha), pimiento rojo, rábano, tomate, Manzana roja, tuna, cereza, uva roja, pomelo rojo y rosado, guaba roja, frambuesa, frutilla, sandía.
Anaranjado/amarillo	Contienen carotenoides que ayudan a la salud ocular	Zanahoria, calabaza, calabacín, Damasco (albaricoque), pomelo, limón, mango, melón, nectarina, naranja, papaya, durazno, melocotón, piña (ananás).
Marrón/ blanco	Fitoquímicos con propiedades antivirales y antibacterianas y potasio.	Coliflor, endivia, ajo, gengibre, puerro, cebolla. Banana (plátano), durian, jaca, durazno (melocotón) blanquillo, pera marrón.
Verde	Fitoquímicos con propiedades anticancerígenos	Espárragos, judías (frijol verde), col china, brócoli, repollo (col)

Nota: Adaptado de FAO. (2020). Frutas y verduras – esenciales en tu dieta. Año Internacional de las Frutas y Verduras, 2021.

Es así como, entre estos compuestos se encuentran pigmentos como las antocianinas (encargados de los tonos rojizos-azulados) o los flavonoles (tonos amarillentos), sustancias que transmiten el sabor amargo de algunos cítricos (la naringina en los pomelos o la neohesperidina en naranjas amargas) o del aroma intenso de los plátanos (debido al eugenol), por ejemplo. Otros, como los derivados de los ácidos hidroxicinámicos, son susceptibles de ser oxidados por las enzimas presentes en los tejidos vegetales, y dar lugar a productos pardos (Martínez-Navarrete et al., 2008).

La acción protectora contra las enfermedades de las sustancias bioactivas presentes en los alimentos está relacionada con propiedades bioquímicas específicas. Tales como la capacidad de unirse a polímeros biológicos, como enzimas, transportadores de hormonas, y ADN; quelar iones metálicos transitorios, tales como hierros, cobre, zinc; catalizar el transporte de electrones, y depurar radicales libres. (Cárdenas et al., 2015).

Sin embargo, este poder de acción está sujeto a la biodisponibilidad del metabolito. Los antioxidantes, por su naturaleza y función, son susceptibles a la oxidación y esto puede limitar su estabilidad durante el almacenamiento, procesado o digestión del alimento. Muchos fitoquímicos están presentes en el alimento como precursores, pero deben hidrolizarse previamente para ser absorbidos. Los sistemas enzimáticos responsables de esta hidrólisis pueden condicionar su biodisponibilidad. (Carbajal, 2018) y por ende su eficiencia frente a las enfermedades.

Estudios recientes le confieren a algunos MSP una condición de prebióticos ya que, el metabolismo microbiano de los fitoquímicos genera metabolitos bioactivos que determinan algunos de los efectos saludables de las dietas ricas en frutas y verduras. Sin embargo, es importante destacar que existe una variabilidad interindividual importante en este

metabolismo, de acuerdo con la composición de la Microflora Intestinal (MI) (Gasaly et al., 2020).

RIESGOS EN EL CONSUMO DE MSP

En Tabla 4 se muestran los principales MSP que pueden tener efectos tóxicos en los humanos presentes en algunos alimentos vegetales. En su mayoría estos efectos son causados por el consumo crudo de los mismos.

Entre otros MSP de potencial riesgo para la salud también se encuentran los glucósidos cianogénicos; estos son un grupo conocido y se presentan en las especies del género *Prunus*, es decir, almendros, damascos, durazneros, nectarinos, cerezos, entre otros. Los cultivares del género *Prunus* tienen la capacidad de acumular amigdalina, cianógeno que está relacionado con el amargor y producción de ácido cianhídrico. Dos plantas tropicales ampliamente cultivadas, el maracuyá, *Passiflora edulis* Sims (*Passifloraceae*) y la papaya, *Carica papaya* L. (*Caricaceae*), han sido previamente examinadas en búsqueda de compuestos cianogénicos, pero siguen existiendo dudas sobre la presencia e identidad de estos compuestos en sus semillas (Arrázola et al., 2013).

En el caso de la yuca, mandioca o cassava, (*Manihot esculenta*), el glucósido cianogénico presente es la linamarina. Esta última y otros glucósidos en proporciones menores, se encuentran en la raíz, que es la principal parte comestible, lo que hace necesario un procesado específico para eliminar su toxicidad (Calvo, 2022).

TABLA 4

Principales MSP que pueden tener efectos tóxicos en los humanos presentes en algunos alimentos vegetales

TOXICOS NATURALES DE ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL	ALIMENTOS	EFFECTOS
Inhibidores de la Tripsina	Semillas de Soja, cacahuete. Avena. Garbanzos, judías, cebada, batata, lentejas, arroz, guisantes, habas, trigo, maíz.	Retraso en el crecimiento (no obstante, este efecto desaparece con el calor)
Fito-hemaglutininas; lectinas	Semillas, hojas, cortezas, raíces (ricino)	Destruída gran parte de la actividad tóxica en el intestino.
Saponinas. Empleadas en tecnología de alimentos por su capacidad emulsionante	en 400 especies de vegetales distintas (soja, alfalfa, espinacas y espárragos)	Efectos a nivel de mitosis con manifestación de inflamaciones hemorrágicas Inhibidores de las proteínas Efectos hemolíticos
Oxalildiamino-propiónico	Especies del género <i>Lathyrus</i> : almorita y altramuz amargo	Latirismo: enfermedad que causa parálisis muscular por lesiones en las vías piramidales laterales
Vecina y otros diamino-B-D- glucopiranosos	Polen de la habas o vicias, judías crudas o cocidas	Favismos: hemolisis de glóbulos rojos en individuos sensibles (mediterráneos, asiáticos)
Alcaloides tóxicos y micotoxinas	Planta del género <i>Senecio</i> , que accidentalmente se utilizan en infusiones	Hepatoxinas y cáncer del aparato digestivo
Tioglucósidos	Plantas del género <i>Brassica</i> : coles, nabos, repollos, grelos, rábanos, semillas de soja y cacahuete	Bocio, Hipotiroidismo e hipertrofia de la tiroides
Nitratos y Nitritos: sustrato base de nitrosaminas Solanina y chacomina	Tallos y hojas excesos de abonos Papas crudas verdes y germinadas	Importancia en los lactantes fundamentalmente $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$ Intoxicación (inhibición de la coles-terasa, desórdenes neurológicos, hemorragias de tracto intestinal) edema cerebral y muerte

Nota: Adaptado de (López, 2018, Diapositiva 3)

Entre otros MSP de potencial riesgo para la salud también se encuentran los glucósidos cianogénicos; estos son un grupo conocido y se presentan en las especies del género *Prunus*, es decir, almendros, damascos, durazneros, nectarinos, cerezos, entre otros. Los cultivares del género *Prunus* tienen la capacidad de acumular amigdalina, cianógeno que está relacionado con el amargor y producción de ácido cianhídrico.

Dos plantas tropicales ampliamente cultivadas, el maracuyá, *Passiflora edulis* Sims (Passifloraceae) y la papaya, *Carica papaya* L. (Caricaceae), han sido previamente examinadas en búsqueda de compuestos cianogénicos, pero siguen existiendo dudas sobre la presencia e identidad de estos compuestos en sus semillas (Arrázola et al., 2013).

En el caso de la yuca, mandioca o cassava, (*Manihot esculenta*), el glucósido cianogénico presente es la linamarina. Esta última y otros glucósidos en proporciones menores, se encuentran en la raíz, que es la principal parte comestible, lo que hace necesario un procesado específico para eliminar su toxicidad (Calvo, 2022).

CONCLUSIONES

Los MSP presentes en muchos alimentos son compuestos importantes, los cuales, dependiendo de su naturaleza, dosis y tipo de procesamiento tecnológico, pueden conferir propiedades beneficiosas a la salud animal y humana, o, por el contrario, ser un riesgo si éstos son consumidos sin tomar medidas correctivas de inactivación de los potenciales tóxicos o dosificación excesiva.

Se requieren profundizar los estudios para conocer más sobre la biodisponibilidad de estas sustancias, los reales mecanismos en contra de diversas enfermedades y sus posibles beneficios para mitigar los efectos que sobre el ambiente puedan tener sobre los desechos del metabolismo digestivo de animales y humanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almaraz-Abarca, N., Ávila-Reyes, J., Delgado-Alvarado, E., Naranjo-Jiménez, N., & Herrera-Corral, J. (2006). El metabolismo secundario de las plantas, un nuevo concepto. *Vid supra*, 1 (2), 39-50. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/8292>
- Arrázola, G., Grané, N., Martín, M., & Dicenta, F. (2013). Determinación de los compuestos cianogénicos amigdalina y prunasina en semillas de almendras (*Prunus dulcis* L.) mediante cromatografía líquida de alta resolución. *Revista Colombiana de Química*, 42(3): 1-22 <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309032110004.pdf>.
- Ávalos, A., & Pérez-Urria, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología) Serie Fisiología Vegetal*, 2: 119-145 <http://www.revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/798/814>
- Belmar, R., & Nava, R. (2005, 17-18 de noviembre). *Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos [Conferencia]*. Asociación Venezolana de Producción Animal. Guanare, Portuguesa. http://www.avpa.ula.ve/eventos/viii_encuentro_monogasticos/curso_alimentacion_no_convencional/conferencia-5.pdf
- Blanch, A. (2017). Productos filogenéticos en nutrición y salud intestinal. *NutriNews* <https://nutrinews.com/como-funcionan-los-fitogenicos-en-la-produccion-y-salud-intestinal/>
- Botanical Supplements Market Size Report, 2020-2028. (2020) <https://www.grandviewreserch.com>
- Bruce, S. (2022). *Secondary Metabolites from Natural Products*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102222>

- Calvo, M. (2022). Glucósidos cianogénicos. Bioquímica de los alimentos. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/toxico/glucosidoscn.html>.
- Camacho-Escobar, M., Ramos-Ramos, N., Ávila-Serrano, E., Sánchez, E., & López, S. (2020). Las defensas fisicoquímicas de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes. *Terra Latinoamérica*, 38 (2), 443-453. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.629>
- Carbajal, Á. (2018). La Nutrición en la Red. Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid <https://www.ucm.es/nutricioncarbajal>
- Cárdenas G., Arrazola, G., & Villalba, M. (2015). Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. *Ingenium*, 17 (33), 29-40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5327083>
- Castillo, G., Zavala, D., & Carrillo, M. (2017). Análisis Fotoquímicos una Herramienta para develar el Potencial Biológico y Farmacológico de las Plantas. *Tlatemoani: Revista Académica de Investigación*, 8 (24), 71-86. <https://www.eumed.net/rev/tlatemoani/24/analisis-fitoquimico.html>
- de la Torre, R., & López J. (2010). Las plantas aromáticas y medicinales. Futuro y potencialidad en Extremadura. La agricultura y la ganadería extremeñas. Informe; 139-152. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3762781>
- Drago, M., López, M., & Sainz, T. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37 (4), 58-68. <https://www.redalyc.org/pdf/579/57937408.pdf>
- Egbuna, C., Chinenye, J., Chidi, S., & Kumar, S. (2019). *Phytochemistry: Volume 1: Fundamentals, Modern Techniques, and Applications*. Apple Academic Press/ Tylor & Francis. <https://www.routledge.com/Phytochemistry-Volume-1-Fundamentals-Modern-Techniques-and-Applications/Egbuna-Ifemeje-Udedi-Kumar/p/book/9781774634325>
- Elizalde, A., Porrilla, Y., & Chaparro, D. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 45-54. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/703>.
- FAO., FIDA., OMS., PMA., & UNICEF. (2020). Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9699es>.
- FAO. (2020). *Frutas y verduras – esenciales en tu dieta. Año Internacional de las Frutas y Verduras, 2021. Documento de antecedentes*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb2395es/>
- FITFORBEACH. (s.f.). Terpenos: ¿Qué son y para qué se utilizan? <https://www.fitforbeach.mx/terpenos/>
- García-Morales S., & León-Morales J. (2021). Estrategias para mejorar la producción de metabolitos secundarios en plantas. *CIENCIA UANL*, 24 (106., <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=10898>
- Gasaly, N., Riveros, K., & Gotteland, M. (2020). Fitoquímicos: una nueva clase de prebióticos. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(2): 317-327. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000200317>
- González, G., Cámara, L., Fernández, A., Aguirre, L., & Fondevilla, G. (2019). *Factores antinutricionales de los ingredientes y su Impacto en Alimentación de Aves y Porcino*

2019. XXXV Curso de especialización FEDNA (MOOC). https://oa.upm.es/64962/1/INVE_MEM_2019_322747.pdf
- Ku-Vera, J., Piñeiro-Vázquez, A., Valencia, S., & Ayala-Burgos, A. (2018). *Mitigación de las emisiones de metano entérico en rumiantes alimentados con leguminosas tropicales*. Avances de la Investigación Sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria en México. <https://www.researchgate.net/publication/336927391>
- León, A., Angulo, I., Jaramillo, M., Requena, F., & Calabrese, H.: (1993). Caracterización química y valor nutricional de granos de leguminosas tropicales para la alimentación de aves. *Zootecnia Tropical* 11 (2) 151-169.
- López G. (2018). Tóxicos naturales en alimentos vegetales y animales. [Diapositiva de PowerPoint]. https://es.slideshare.net/Gerardo_Lopez_Z/txicos-naturales-en-alimentos-vegetales-y-animales-86613813
- Lozada-Salcedo, E., Núñez-Torres, O., Rosero-Peñaherrera, M., & Aragadvay-Yungan, R. (2017). Efectos fisiopatológicos de los compuestos secundarios en la alimentación de monogástricos. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 4 (1):82-92 <http://ucbconocimiento.ucbca.edu.bo/index.php/JSAAS/article/view/51>
- Martínez-Navarrete, N., Camacho Vidala, M., & Martínez-Lahuerta, J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética*, 12 (2), 45-100 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3260143>
- Molina, A. (2018). La influencia del estrés abiótico en la síntesis de metabolitos secundarios de plantas medicinales. [Tesis de Licenciatura, Universidad de la Laguna]. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/10257>
- Nini, A. (2014). Análisis de metabolitos secundarios de origen natural: aislamiento, caracterización estructural e actividades biológicas. [Tesis Doctoral, Universidad de Molise]. https://iris.unimol.it/retrieve/handle/11695/66298/45550/Tesi_A_Nini.pdf
- Reed, J. (1995). Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of Animal Science*, 73:1516-1528. doi: 10.2527/1995.7351516x
- Requena-Rondón F. (2014, 8 de octubre). *Uso de Materias Primas para la preparación de Alimentos para la Avicultura Familiar y a Pequeña Escala*. [Conferencia]. FUNDACITE-CARABOBO, Valencia. Venezuela. <https://encuentroalimentosbalanceados.wordpress.com/2014/10/08/uso-de-materias-primas-alternativas-para-la-preparacion-de-alimentos-para-la-avicultura-familiar-y-a-pequena-escala/>
- Santacoloma, L., & Granados, J. (2012). Interrelación entre el contenido de metabolitos secundarios de las especies *Gliricidia sepium* y *Tithonia diversifolia* y algunas propiedades fisicoquímicas del suelo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(1), 53 DOI:10.22490/21456453.934
- Savón, L., & Scull, I. (2006). Avances en los métodos para disminuir el efecto de factores antinutricionales en alimentos para especies monogástricas. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 13 (suplemento 1), 25-29. <https://www.yumpu.com/es/document/view/38138245/avances-en-los-metodos-para-disminuir-el-efecto-de-factores->
- Sepúlveda, G., Porta, H., Rocha, M. (2003). La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las Plantas *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21 (3), 355-363. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61221317.pdf>
- Suárez-Medina, K., & Coy-Barrera, E. (2016).

Diversidad de los compuestos orgánicos bioactivos de origen natural: una singularidad manifestada por la plasticidad en el metabolismo secundario. Revista *Facultad de Ciencias Básicas*, 12 (2), 252-269 <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.2031>

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. APPENDIX 4. Secondary Metabolites. Cambridge University Press. <http://6e.plantphys.net/PlantPhys6e-appendix04>.

Tava, A. (2007). Metaboliti secondari in piante di interesse agrario: caratterizzazione e attività biológica. *Italian Journal of Agronomy*, 4, 441-450 <https://agronomy.it>.

Verpoorte, I., & Alfermann, R. (2000). Metabolic engineering of plant secondary metabolism. Springer Link. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-015-9423-3#:~:text=Plant%20secondary%20metabolism%20is%20an,also%20related%20to%20secondary%20metabolites>.

Zacarías, I., Speisky, H., Fuentes, G., González, G., Domper, R., Fonseca, M., & Olivares, S. (2020). Los Colores de la salud. 3 verduras y 2 frutas al día. Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Chile. <https://inta.cl/wp-content/uploads/2018/05/Los-colores-de-la-salud.pdf>