

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas
Segunda Especialidad en Fruticultura de Exportación



**Biofortificación Agronómica en frutales como estrategia para la
previsión de microelementos en la dieta de la población: Revisión
Sistémica y Meta-Análisis**

Trabajo Académico presentado por el Ingeniero:

Zegarra Flores, Jorge Arturo

ORCID: 0000-0002-5430-4283

Para optar el Título de la Segunda Especialidad en Fruticultura de Exportación

Asesor (a):

Mgs. Coloma Dongo, Froy Engelbert

ORCID: 0000-0003-1308-9860

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
SEGUNDA ESPECIALIDAD EN FRUTICULTURA DE EXPORTACION
SEGUNDA ESPECIALIDAD CON TRABAJO ACADÉMICO
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 30 de Julio del 2024

Dictamen: 004358-C--2024

Visto el borrador del expediente 004358, presentado por:

2015973321 - ZEGARRA FLORES JORGE ARTURO

Titulado:

**BIOFORTIFICACIÓN AGRONÓMICA EN FRUTALES COMO ESTRATEGIA PARA LA
PREVISIÓN DE MICROELEMENTOS EN LA DIETA DE LA POBLACIÓN: REVISIÓN SISTÉMICA
Y META-ANÁLISIS**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

FRUTICULTURA DE EXPORTACIÓN

**30675663 - STRETZ CHAVEZ HUMBERTO JOSE
DICTAMINADOR**



**29603349 - MAMANI GUTIERREZ DINA BEATRIZ
DICTAMINADOR**



**29500662 - DIAZ VENTO INGRIND MIRNA
DICTAMINADOR**



Biofortificación Agronómica en frutales como estrategia para la previsión de microelementos en la dieta de la población: Revisión Sistémica y Meta-Análisis

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	17%	5%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	www.underutilized-species.org Fuente de Internet	1%
3	pt.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	pdfs.semanticscholar.org Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	www.cochrane.es Fuente de Internet	<1%
7	vdocuments.com.br Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%

"El problema con el mundo es que la gente inteligente está llena de dudas, mientras que los estúpidos están llenos de confianza."

Bukowski, C. (1994). *Pulp*. Black Sparrow Press.

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por Su guía, sabiduría y amor incondicional, que han sido mi fortaleza en cada momento.

A la memoria de mis padres Elva y Armando y mi hermana Mariela

Con eterno amor y gratitud, dedico este trabajo a ustedes. Su recuerdo y enseñanzas me guían siempre.

Con todo mi corazón.

A mi amada esposa Milena y a mis queridos hijos, Nicolás y Luciana.

Su apoyo y cariño son mi mayor fuente de inspiración y fortaleza.

Con amor.



RESUMEN

La biofortificación agronómica se presenta como una estrategia novedosa y prometedora para incrementar la presencia de micronutrientes esenciales en los cultivos agrícolas, con el propósito de combatir la carencia de estos elementos que impacta a más de 2 mil millones de individuos a nivel global, fenómeno conocido como "hambre oculta". Esta problemática afecta a diversos grupos poblacionales, como niños, mujeres embarazadas, lactantes, deportistas y trabajadores, tanto en naciones desarrolladas como en vías de desarrollo. En este contexto, el presente estudio se centra en la biofortificación agronómica de frutales como una medida para enriquecer la ingesta de micronutrientes en la alimentación de la población. Los objetivos específicos de la investigación abarcan el análisis de la estrategia de biofortificación agronómica para elevar la concentración de micronutrientes en frutales, la revisión bibliográfica orientada a identificar los microelementos y los frutales con mayor capacidad de absorción para mejorar el estado nutricional en la dieta de la población, y la evaluación del potencial de cultivos subutilizados como alternativa para la implementación de la biofortificación en la Región Arequipa.

Se realizó inicialmente un análisis exhaustivo de la estrategia de biofortificación agronómica. Los resultados del metaanálisis indican que la biofortificación agronómica tiene un impacto significativo en la concentración de micronutrientes en frutas, con un tamaño de efecto combinado "g" de Hedges de 5,13 (IC 95%: 3,83 - 6,43). En particular, se observaron aumentos en la pitahaya tratada con nanoselenio en ácidos fenólicos (169-942%), fenoles totales (157%), flavonoides totales (295%) y betacianinas (341%). Por otro lado, la aplicación de soluciones de $ZnSO_4$ en plátanos triplicó el contenido de zinc, logrando niveles adecuados para cubrir el 100% de la ingesta diaria recomendada para niños pequeños con el consumo de tres plátanos biofortificados al día.

En segundo lugar, se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica con el fin de identificar los microelementos y frutales que presentan una mayor capacidad de adsorción. Entre los frutales identificados como altamente receptivos a la biofortificación se encuentran la pitahaya, el banano y la manzana. Estos frutales, además de mejorar su contenido nutricional mediante la biofortificación, proporcionan ventajas adicionales como una mayor resistencia a plagas y enfermedades.

En la Región Arequipa, se llevó a cabo una evaluación del potencial de cultivos subutilizados, como la papaya arequipeña, con el propósito de integrarlos en programas de biofortificación. Se identificó que la papaya arequipeña posee un alto potencial para contribuir a la mejora del

estado nutricional de la población local, al ser una fuente significativa de micronutrientes como la vitamina C y el β -caroteno.

La biofortificación agronómica en frutales se presenta como una estrategia viable y efectiva para mejorar la nutrición humana. Se sugiere la puesta en marcha de programas regionales y nacionales de biofortificación, la mejora de técnicas y prácticas agronómicas, así como la promoción de cultivos poco utilizados. Es fundamental establecer sistemas de monitoreo y evaluación para medir el impacto a largo plazo de estas intervenciones. La colaboración entre gobiernos, instituciones académicas y el sector privado se vuelve crucial para maximizar los beneficios de la biofortificación y garantizar su éxito a largo plazo.

Palabras claves: Biofortificación agronómica, frutales, micronutrientes, selenio (Se) y Zinc (Zn)



ABSTRACT

Agronomic biofortification is presented as a novel and promising strategy to increase the presence of essential micronutrients in agricultural crops, with the purpose of combating the lack of these elements that impacts more than 2 billion individuals globally, a phenomenon known as "hidden hunger". This problem affects a number of demographic groups, including children, pregnant and lactating women, athletes and workers, in both developed and developing countries. In this context, the present study focuses on the agronomic biofortification of fruit trees as a means of enhancing the population's micronutrient intake. The research has three specific objectives. The first is to analyse the agronomic biofortification strategy to increase the concentration of micronutrients in fruit trees. The second is to conduct a bibliographic review with the aim of identifying the microelements and fruit trees with the greatest absorption capacity, with a view to improving the nutritional status of the population's diet. The third is to evaluate the potential of underutilised crops as an alternative for the implementation of biofortification in the Arequipa Region.

An exhaustive analysis of the agronomic biofortification strategy was initially conducted. The results of the meta-analysis indicate that agronomic biofortification has a significant impact on the concentration of micronutrients in fruits, with a combined Hedges "g" effect size of 5.13 (95% CI: 3.83 - 6.43). Notably, significant increases were observed in dragon fruit treated with nanoselenium, particularly in phenolic acids (169-942%), total phenols (157%), total flavonoids (295%), and betacyanins (341%). Conversely, the application of $ZnSO_4$ solutions in bananas resulted in a threefold increase in zinc content, achieving levels sufficient to meet 100% of the recommended daily intake for young children with the consumption of three biofortified bananas per day.

Secondly, a comprehensive bibliographic review was conducted to identify the microelements and fruit trees with the greatest adsorption capacity. Among the fruit trees identified as highly receptive to biofortification are pitahaya, banana and apple. In addition to improving their nutritional content through biofortification, these fruit trees offer further benefits, including greater resistance to pests and diseases.

In the Arequipa Region, an evaluation of the potential of underutilised crops, such as the Arequipa papaya, was conducted with the objective of integrating them into biofortification programmes. It was determined that the Arequipa papaya has the potential to significantly contribute to the improvement of the nutritional status of the local population, serving as a primary source of essential micronutrients such as vitamin C and β -carotene.

The strategy of agronomic biofortification in fruit trees is presented as a viable and effective approach to improving human nutrition. It is recommended that regional and national biofortification programmes be implemented, that agronomic techniques and practices be improved, and that underused crops be promoted. It is essential to establish monitoring and evaluation systems to measure the long-term impact of these interventions. Collaboration between governments, academic institutions and the private sector is crucial to maximize the benefits of biofortification and ensure its long-term success.

Keywords: Agronomic biofortification, fruit trees, micronutrients, selenium (Se) and Zinc (Zn)



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.2 Objetivos	2
CAPITULO II	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Enfoques de la biofortificación	4
2.1 Biofortificación en cultivos frutales por mejoramiento	7
2.2 Revisión Sistémica y Metaanálisis	7
CAPITULO III	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Búsqueda de Literatura.....	13
3.2 Criterios de inclusión y exclusión	13
3.3 Extracción de datos	14
3.4 Metaanálisis.....	15
3.5 Metodología de evaluación de cultivo subutilizado	18
CAPITULO IV	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 Analizar la estrategia de biofortificación agronómica para aumentar la concentración de micronutrientes en frutales	23
4.2 Realizar la búsqueda bibliográfica que permita determinar los microelementos y los frutales que mejor respuesta de adsorción tienen para mejorar el estado nutricional en la dieta de la población.	30
4.3 Ejecución del meta análisis	32
4.4 Diagramas de Bosque.....	34
4.5 Representación de los Efectos Individuales	35
4.6 Estimación Combinada del Efecto	35
4.7 Evaluación de la Heterogeneidad	35
4.8 Gráfico de Embudo (Funnel Plot)	35
4.9 Gráfico radial.....	37

4.10 Determinar el potencial de los cultivos sub utilizados para ser incorporados como estrategia de biofortificación para ser sembrados y consumidos en la Región Arequipa. Retos y Posibilidades del uso de la papaya arequipeña o de montaña (<i>Vasconcellea pubescens</i> A.DC.) como especie subutilizada en un programa de biofortificación	39
CAPITULO V	48
5. CONCLUSIONES	48
CAPITULO VI.....	49
6. RECOMENDACIONES	49
Referencias Bibliográficas	50



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de Evidencia en Aplicaciones de Biofortificación: Clasificación y ejemplos.	8
Tabla 2. Efectos de Intervenciones en Diferentes Cultivos Medidos por el Valor 'g' de Hedges	32
Tabla 3. Efectos General del Meta análisis Medido por el Valor 'g' de Hedges	33
Tabla 4. Estimaciones del Efecto de la Biofortificación en Frutales	33



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes enfoques utilizados para mitigar la desnutrición a través de intervenciones directas, como la administración de suplementos o la modificación de la dieta, y de intervenciones indirectas, como la biofortificación.....	5
Figura 2. Representación de los cultivos biofortificados informados por medios transgénicos, agronómicos y de mejoramiento.	6
Figura 3. Flujo de la revisión sistemática en bases de datos especializadas.	14
Figura 4. Mejora de la calidad de la fruta de pitaya roja mediante biofortificación con nanoselenio para mejorar la biosíntesis de fenilpropanoides y betalaína.....	24
Figura 5. Ejemplos de árboles frutales incluidos en el segundo experimento de campo y apariencia del fruto poco después de la cosecha.	28
Figura 6. Evaluación del Sesgo de Publicación y Precisión en el Metaanálisis de Biofortificación de Frutales.....	36
Figura 7. Evaluación de la Precisión y Sesgo de Publicación en el Metaanálisis de Biofortificación de Frutales: Gráfico de Embudo Invertido"	37
Figura 8. Evaluación de la Heterogeneidad y Precisión en el Metaanálisis de Biofortificación de Frutales: Gráfico de Galbraith"	38
Figura 9. Mapa genético del genoma del cloroplasto de <i>Vasconcellea pubescens</i> ADC.	41
Figura 10. Mapa de distribución y posibles líneas de evolución en las Caricaceae.....	45
Figura 11. Partes de la planta completa de <i>Vasconcellea pubescens</i> A.DC. “Papaya Arequipeña o Papaya de altura”	46

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

Se estima que más de 2 mil millones de personas en todo el mundo, lo que equivale a una de cada tres, padecen deficiencias de micronutrientes, fenómeno conocido como "hambre oculta". Estas carencias son comunes en países altamente desarrollados y afectan principalmente a niños en etapa de crecimiento, mujeres embarazadas y lactantes, deportistas y trabajadores. Entre los micronutrientes más vinculados a la desnutrición por falta de nutrientes a nivel global se encuentran el zinc (Zn), el selenio (Se) y el hierro (Fe) (Prom-u-thai et al., 2020).

La investigación a nivel mundial continúa con esfuerzos para desarrollar alimentos enriquecidos con selenio, zinc y hierro con el fin de reducir los trastornos de deficiencia asociados. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), una nutrición adecuada es fundamental para la salud humana y está estrechamente ligada a la agricultura sostenible. Lamentablemente, los sistemas agrícolas actuales priorizan altos rendimientos de cultivos sobre la calidad nutricional, lo que ha generado la necesidad de mejorar las concentraciones de micronutrientes minerales en la producción agrícola. No obstante, surge el desafío de incrementar la producción de alimentos enriquecidos con micronutrientes esenciales sin afectar negativamente el crecimiento y la productividad de las plantas (Athar et al., 2020).

La escasez de micronutrientes en los cultivos puede ser el resultado de diversas limitaciones, como la baja concentración o disponibilidad limitada de elementos esenciales en el suelo (Manojlović et al., 2019). Las condiciones ambientales desfavorables, como temperaturas extremadamente altas o bajas, variaciones en el pH, escasez de agua, ambientes anaeróbicos y la presencia de elementos como micro y macroelementos y metales pesados, pueden afectar el crecimiento de las plantas. Se ha observado que aproximadamente la mitad de los suelos destinados al cultivo de cereales presentan deficiencia de zinc, mientras que la deficiencia de hierro es más común en suelos calcáreos (Jalal et al., 2020). En las regiones tropicales y templadas húmedas, las deficiencias de micronutrientes son frecuentes debido a la intensa lixiviación provocada por las altas precipitaciones. Además, el uso de especies vegetales con limitada capacidad de acumulación de micronutrientes en sus partes comestibles también contribuye a este fenómeno.

La biofortificación es una estrategia utilizada para incrementar la concentración de micronutrientes en los cultivos (Huang et al., 2020). La investigación ha evidenciado que los cultivos biofortificados incrementan la absorción de micronutrientes y generan un impacto

positivo considerable en la salud de las personas (Bouis & Saltzman, 2017; Praharaj et al., 2021). La biofortificación se aborda a través de tres enfoques principales: agronómico, fitomejoramiento convencional y fitomejoramiento mediante ingeniería genética. Se destaca la relevancia de la biofortificación agronómica, cuyo propósito es proporcionar micronutrientes directamente absorbibles por la planta. Esto se logra mediante la aplicación de fertilizantes minerales y/o foliares, así como mejorando la solubilización y movilización de elementos minerales en el suelo. Este enfoque se considera el método más sencillo para incrementar los niveles de microelementos en los cultivos (Garg et al., 2018).

La biofortificación agronómica es reconocida como una estrategia económica para combatir la deficiencia de minerales en la alimentación humana. Diversos informes señalan que esta técnica no solo aumenta los micronutrientes en las plantas, sino que también influye en la síntesis de otros compuestos con propiedades nutricionales (Newman et al., 2021; Puccinelli et al., 2019, 2021; Skrypnik et al., 2019). Para las plantas, la aplicación de Zn, Se y Fe también apoya eficazmente la lucha contra el estrés biótico (Adrees et al., 2021).

El metanálisis es una técnica utilizada en investigación para combinar y analizar de manera sistemática los resultados cuantitativos de múltiples estudios independientes sobre un tema específico. Su objetivo es proporcionar una visión global y coherente de la información disponible, permitiendo identificar posibles fuentes de variabilidad en los resultados obtenidos. (Ellenberg, 1988; Gurevitch et al., 2018). Su riguroso proceso analítico y resultados cuantitativos han llevado a su extenso uso en la investigación agrícola. (Lu et al., 2021; Ma et al., 2021), llevó a cabo un metanálisis con el fin de investigar el efecto del riego deficitario en la calidad de la fruta en diversas texturas del suelo, densidades aparentes del suelo y variedades de tomate. Este estudio proporcionó información relevante sobre la obtención de tomates de alta calidad. A través de un metanálisis, se investigó que la aplicación profunda de fertilizantes debajo de la superficie podría representar una estrategia efectiva para contrarrestar los impactos adversos derivados de las crecientes temperaturas elevadas y la escasez de lluvias, las cuales ponen en riesgo la producción alimentaria a escala global (Nkebiwe et al., 2016).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Realizar una revisión sistémica y meta-análisis de la biofortificación agronómica en frutales como estrategia para la previsión de microelementos en la dieta de la población

1.2.2 Objetivos Específicos

Realizar una revisión de información para fundamentar y analizar a los siguientes objetivos

- Analizar la estrategia de biofortificación agronómica para aumentar la concentración de micronutrientes en frutales
- Realizar la búsqueda bibliográfica que permita determinar los microelementos y los frutales que mejor respuesta de adsorción tienen para mejorar el estado nutricional en la dieta de la población.
- Determinar el potencial de los cultivos sub utilizados para ser incorporados como estrategia de biofortificación para ser sembrados y consumidos en la Región Arequipa.



CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El aporte de vitaminas y minerales a la dieta es esencial a través del consumo de frutas y verduras, que también son valiosas fuentes de fibra dietética debido a los polisacáridos que contienen. Estos alimentos son especialmente ricos en minerales como calcio (Ca), fósforo (P) y potasio (K), aunque su contenido de micronutrientes en general es limitado. (Zhu et al., 2007). La falta de micronutrientes puede causar deficiencias nutricionales, ya que una parte significativa de los nutrientes ingeridos por las personas proviene de dietas de origen vegetal. (Díaz-Gómez et al., 2017).

Para reducir las deficiencias de nutrientes en los alimentos, se pueden emplear diversas estrategias, entre las cuales se destaca el enriquecimiento de los alimentos. Esta práctica consiste en aumentar de manera intencional el contenido de vitaminas y nutrientes en los alimentos. El enriquecimiento se utiliza con el propósito de mejorar la calidad de los nutrientes presentes en los alimentos y fomentar beneficios para la salud, todo ello con un riesgo mínimo para los consumidores (Organization, 2003). La biofortificación se distingue de la fortificación convencional en su enfoque en aumentar el contenido de nutrientes durante el crecimiento de la planta, mejorando así la calidad nutricional a través de métodos biológicos, como el mejoramiento convencional. A diferencia de la fortificación, este proceso no ocurre durante el procesamiento de alimentos. Por lo tanto, la biofortificación puede beneficiar a poblaciones donde la suplementación y fortificación convencionales son difíciles de llevar a cabo o están limitadas (Organization, 2003). Por lo tanto, la biofortificación se ha utilizado para aumentar el contenido de hierro (Fe) en arroz, frijoles, batatas y yuca; Zn en trigo, arroz, frijoles, batatas y maíz (Bouis et al., 2011); provitamina A en batatas, maíz, yuca y arroz (Saltzman et al., 2013), entre otros ejemplos.

2.1 Enfoques de la biofortificación

La biofortificación se enfoca principalmente en cultivos como cereales básicos, legumbres, semillas oleaginosas, verduras y frutas. Los métodos utilizados están dirigidos principalmente a aumentar los niveles de zinc (Zn), hierro (Fe), magnesio (Mg), selenio (Se), yodo (I), ácido fólico, carotenoides y vitamina A. Para lograr una biofortificación sostenible y sustancial, diferentes enfoques como el mejoramiento vegetal convencional, el mejoramiento molecular, la ingeniería genética y los enfoques agronómicos proporcionan una solución duradera (Figura 1). Estos métodos son a largo plazo, con una inversión única para implementar genes

objetivo para micronutrientes esenciales. De esta manera, la ingeniería molecular y genética son enfoques rentables, precisos y exactos que mejoran el valor nutritivo de los cultivos básicos (Garg et al., 2018)

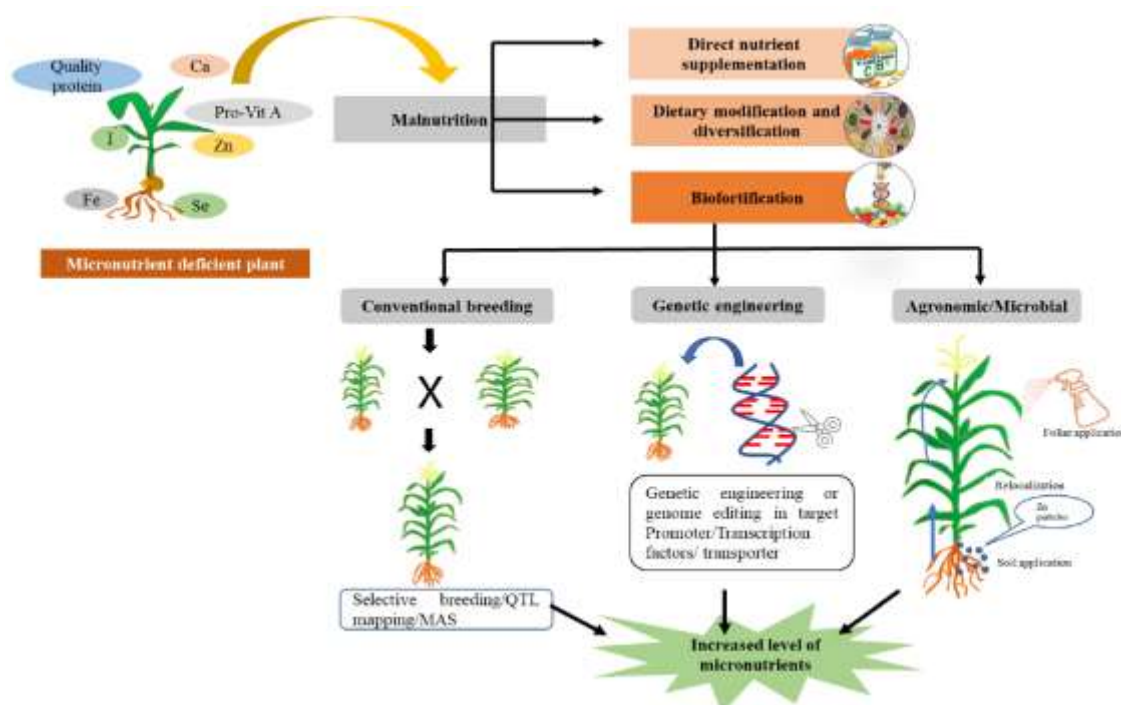


Figura 1. Diferentes enfoques utilizados para mitigar la desnutrición a través de intervenciones directas, como la administración de suplementos o la modificación de la dieta, y de intervenciones indirectas, como la biofortificación.

<https://www.mdpi.com/2071-1050/14/6/3301#B44-sustainability-14-03301>

Tomado de: (Sheoran et al., 2022)

La utilización de medios transgénicos ha permitido abordar un mayor número de cultivos, en contraste, la biofortificación se emplea de manera más extendida a través de métodos de mejoramiento genético. (Figuras 3 A, B). Los cereales, legumbres y hortalizas, cultivos fundamentales, han sido objeto de atención en tres enfoques distintos. En el caso de las semillas oleaginosas, la biofortificación se ha logrado mediante técnicas transgénicas, debido a la escasa diversidad genética disponible para el componente específico, la baja heredabilidad y el arrastre de ligamiento en dicho cultivo. (Figura 3 B).

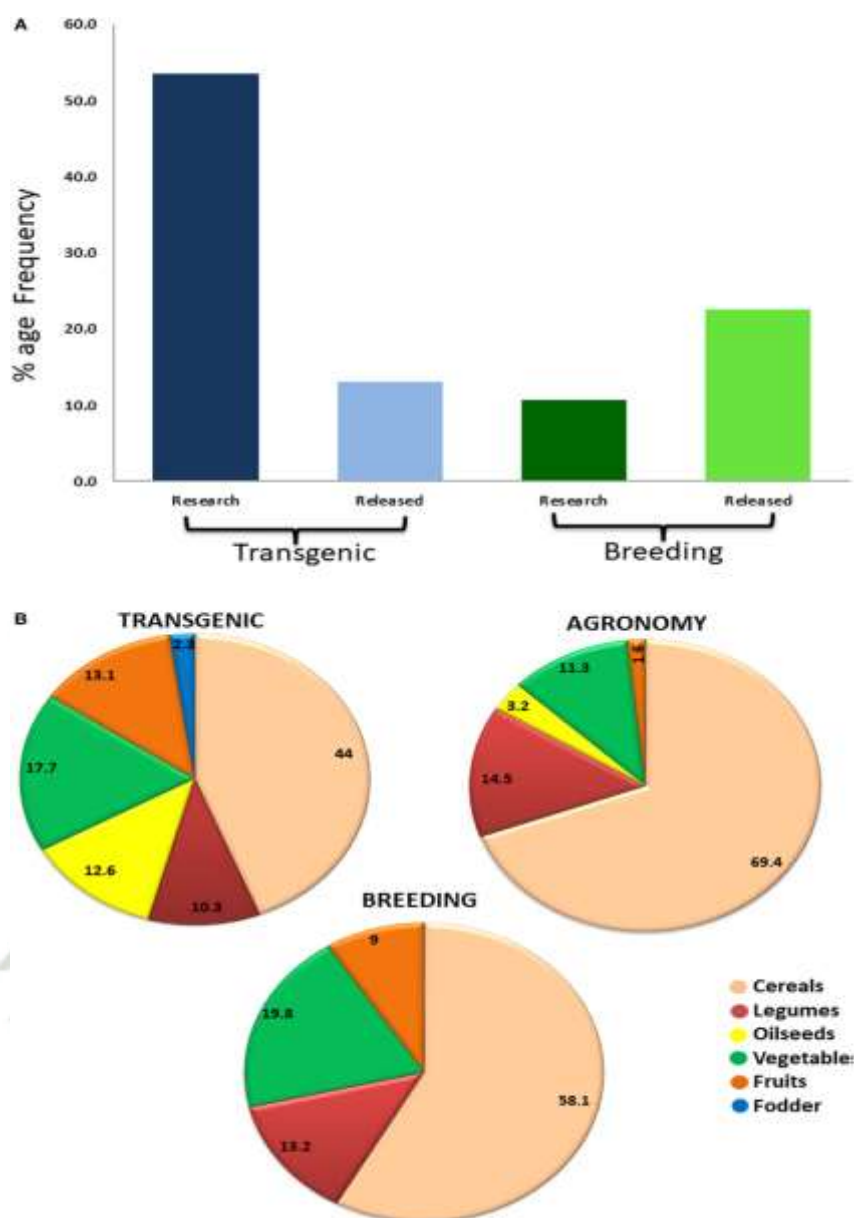


Figura 2. Representación de los cultivos biofortificados informados por medios transgénicos, agronómicos y de mejoramiento.

(A) Comparación de los enfoques transgénicos y de mejoramiento de la biofortificación en términos de investigación relativa y liberación de cultivos comerciales. Si bien se está haciendo mayor énfasis en la biofortificación basada en transgénicos, la tasa de éxito en términos de liberación de cultivares es mayor para el enfoque basado en el mejoramiento. **(B)** Porcentaje de diferentes cultivos biofortificados por diferentes enfoques. Los cereales han sido biofortificados en mayor número por los tres enfoques de biofortificación. Las legumbres y los vegetales también han sido el objetivo de todos los enfoques en un porcentaje casi igual. El enfoque

transgénico cubre el mayor número de cultivos. Los cultivos de semillas oleaginosas han sido el objetivo principal de los enfoques transgénicos debido a la variabilidad genética limitada.

<https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2018.00012/full>

Tomado de :(Garg et al., 2018)

2.1 Biofortificación en cultivos frutales por mejoramiento

Manzana (Malus × domestica): Las variedades de manzana (Malus × domestica) que muestran un aumento en los niveles de antioxidantes, como compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas, han sido identificadas. Estos compuestos se han asociado con diversos beneficios para la salud, como sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Investigaciones han demostrado que prácticas de manejo nutricional, como la fertilización equilibrada con macronutrientes y micronutrientes, pueden influir en el contenido de nutrientes en las manzanas (Tagliavini et al., 2000). Los esfuerzos de biofortificación tienen como objetivo mejorar la calidad nutricional de los cultivos de manzana mediante la optimización de la disponibilidad y absorción de nutrientes. Para lograr esto, se ha investigado la inserción de genes específicos en los manzanos con el propósito de potenciar la producción de compuestos deseables, como antioxidantes u otros fitoquímicos beneficiosos (Sharma et al., 2023).

La biofortificación de la manzana implica la introducción de un gen de estilbeno sintasa de la vid (Vitis vinifera L.) en plantas de manzano. Esto resulta en la síntesis de resveratrol, un compuesto antioxidante altamente efectivo (Zheng et al., 2021). El propósito de esta manipulación genética es incrementar la capacidad antioxidante de las manzanas, lo cual podría ser ventajoso para la salud de los consumidores. Los trabajos de biofortificación se enfocan en el mejoramiento de las propiedades antioxidantes de las manzanas.

2.2 Revisión Sistemática y Metaanálisis

2.2.1 Revisión Sistemática

Una revisión sistemática es un proceso que recopila exhaustivamente todos los estudios relevantes relacionados con un tema y diseño específicos, para posteriormente revisar y analizar detenidamente sus resultados (Kang, 2015). En el proceso de revisión sistemática, se lleva a cabo la evaluación de la calidad de los estudios y se realiza un metanálisis estadístico de los resultados en base a dicha calidad. El metanálisis, un método válido, objetivo y científico, se emplea para analizar y combinar diversos resultados. Por lo general, se prioriza la realización

de metanálisis en ensayos controlados aleatorios (ECA) debido a su alto nivel de evidencia, con el fin de obtener resultados más confiables. (Uetani et al., 2009)(Tabla 1). Desde 1999, se han publicado diversos documentos que establecen pautas para la elaboración de metanálisis de Ensayos Clínicos Aleatorizados (ECA). Posteriormente a la creación de la Declaración de Calidad de Informes de Metanálisis (QUORUM) (Moher et al., 1999) y la aparición del Registro de Metodología de la Biblioteca Cochrane ha propiciado un notable incremento en la cantidad de revisiones sistemáticas de la literatura. En 2009, se difundió la declaración de elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas y metanálisis (PRISMA).(Liberati: G0tzsche PC, Ioannidis JP, et al. The PRISMA... - Google Académico, s. f.), que ayudó enormemente a estandarizar y mejorar la calidad de las revisiones sistemáticas y los metanálisis (Willis & Quigley, 2011).

Tabla 1. Niveles de Evidencia en Aplicaciones de Biofortificación: Clasificación y ejemplos.

Revisión sistemática y metaanálisis	Revisiones sistemáticas de estudios de alta calidad sobre biofortificación, metaanálisis combinando resultados.	Revisión sistemática de la eficacia de la biofortificación de cultivos con zinc y hierro.	↑ Alta
Ensayos controlados aleatorizados doble ciego	Estudios en los que ni los participantes ni los investigadores saben quién recibe el tratamiento de biofortificación.	Ensayo doble ciego de biofortificación con yodo en manzanas frente a placebo.	↑
Estudios de cohortes	Estudios observacionales que siguen a un grupo de personas o cultivos biofortificados a lo largo del tiempo.	Seguimiento de cultivos biofortificados con selenio durante varias temporadas de crecimiento.	↑
Estudios de casos y controles	Estudios que comparan cultivos biofortificados con cultivos no biofortificados.	Comparación de rendimiento y calidad entre cultivos de arroz biofortificados y no biofortificados.	↑
Serie de casos	Informes que describen un grupo de cultivos biofortificados con resultados similares.	Serie de casos de cultivos de trigo biofortificados con zinc mostrando mejoras en el contenido nutricional.	↑
Informes de casos	Descripciones detalladas de un solo caso o de unos pocos casos de cultivos biofortificados.	Informe detallado de un caso exitoso de biofortificación de maíz con vitamina A.	↑
Ideas, editoriales, opiniones	Publicaciones que expresan opiniones o interpretaciones de expertos sobre la biofortificación.	Editorial sobre los beneficios potenciales de la biofortificación en la seguridad alimentaria.	↑

Investigación con animal	Estudios de biofortificación realizados en modelos animales.	Experimentos con ratones alimentados con cultivos biofortificados para estudiar la absorción de nutrientes.	↑
Investigación in vitro	Estudios de biofortificación realizados en células o tejidos en laboratorio.	Estudios in vitro de absorción de nutrientes en células de plantas biofortificadas.	↓ Baja

Fuente: *Elaboración propia modificado de (Uetani et al., 2009)*

2.2.2 Planificación del estudio

Es fácil confundir revisiones sistemáticas y metanálisis. Una revisión sistemática es un método objetivo y reproducible para encontrar respuestas a una determinada pregunta de investigación, recopilando todos los estudios disponibles relacionados con esa pregunta y revisando y analizando sus resultados. Un metanálisis se diferencia de una revisión sistemática en que utiliza métodos estadísticos sobre estimaciones de dos o más estudios diferentes para formar una estimación agrupada (Kang, 2015). En el caso de que una revisión sistemática no permita realizar una estimación agrupada, el estudio puede ser publicado sin la necesidad de llevar a cabo un metanálisis. Por otro lado, si es factible realizar una estimación agrupada a partir de los datos recopilados, se puede considerar la realización de un metanálisis. Tanto las revisiones sistemáticas como los metanálisis suelen seguir una estructura específica.

2.2.3 Formulación de preguntas de investigación

Una revisión sistemática tiene como objetivo recopilar de manera exhaustiva todos los datos empíricos disponibles. La investigación se lleva a cabo a través de la aplicación de métodos sistemáticos y bien definidos con el fin de obtener respuestas a una pregunta concreta. Por otro lado, un metaanálisis es el proceso estadístico que implica el análisis y la combinación de resultados provenientes de diversos estudios similares. En el ámbito académico, resulta fundamental garantizar que los estudios seleccionados para un metanálisis presenten datos compatibles entre sí. Es necesario verificar que los diferentes estudios aborden el mismo tema y aporten información que pueda ser analizada en conjunto. La definición precisa del término "similar" no se aborda claramente en este contexto, pero es un aspecto relevante a considerar en el proceso de selección de estudios para la investigación. Incluso es factible combinarlos, llegando incluso a la posibilidad de llevar a cabo un metanálisis con la información proveniente únicamente de los dos estudios. No obstante, es fundamental seleccionar los estudios de manera sistemática. La revisión previa es un requisito indispensable para llevar a cabo un metanálisis, ya que resulta crucial definir de manera precisa la Población, la Intervención, los Parámetros de Comparación de Resultados (PICO), elementos fundamentales en la investigación basada en

evidencia. Asimismo, la selección de los estudios a incluir es un paso crucial en este proceso. Es fundamental elegir un tema familiar para los lectores al basarse en evidencia lógica, sin embargo, es importante no confirmar claramente dicha evidencia. (Stewart et al., 2015)

2.2.4 Protocolos y registro

En las revisiones sistemáticas, es fundamental llevar a cabo un registro exhaustivo de la investigación previa. Es crucial contar con un plan detallado. Para llevar a cabo el proceso de investigación, es necesario establecer de manera clara los resultados y métodos primarios y secundarios. En caso de que sea necesario modificar el método, es importante informar a otros investigadores y lectores sobre cuándo, cómo y por qué se realizaron dichos cambios. Los estudios están registrados en una organización como PROSPERO (<http://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/>), y se asigna un número de registro al informar el estudio, con el propósito de compartir el protocolo durante la etapa de planificación.

2.2.5 Definición de criterios de inclusión y exclusión

En el documento se detalla el diseño del estudio, las características de los cultivos biofortificados, el estado de publicación (publicada o no publicada), el idioma utilizado y el período de investigación. En caso de existir una discrepancia entre la cantidad de cultivos y métodos de biofortificación incluidos en el estudio para el análisis, es fundamental proporcionar una explicación detallada, con el fin de prevenir posibles confusiones en el lector.

2.2.6 Búsqueda de literatura y selección de estudios.

Para garantizar una base sólida para la investigación basada en evidencia, es esencial llevar a cabo una búsqueda exhaustiva que abarque la mayor cantidad posible de estudios que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión. Se debe dedicar un esfuerzo considerable a la identificación no solo de los estudios publicados, sino también de los resúmenes, estudios en curso y estudios pendientes de publicación. Una vez recuperados los estudios en la búsqueda, se procede a eliminar los duplicados y seleccionar aquellos que cumplan con los criterios establecidos basándose en los resultados, para posteriormente realizar una selección final basada en el texto completo. Con el objetivo de mantener la transparencia y la objetividad a lo largo de este proceso, al menos dos investigadores llevan a cabo de forma independiente la selección de los estudios. Cuando se presentan discrepancias en las opiniones, es necesario intervenir mediante el debate o la intervención de un tercer revisor. Es fundamental planificar con antelación los métodos para este procedimiento, asegurando la reproducibilidad del proceso de selección de literatura (Kang, 2016).

2.2.7 Calidad de la evidencia

No obstante, es importante destacar que la calidad de un metanálisis se ve afectada negativamente por la baja calidad de la evidencia presente en los estudios incluidos, lo que puede conducir a la obtención de resultados inexactos. Por lo tanto, es fundamental realizar una revisión sistemática o metanálisis cuidadosamente planificado (Guyatt et al., 2008). La precisión en la evaluación de la calidad de la evidencia es fundamental para determinar la solidez de las recomendaciones en un metanálisis, incluso al emplear estudios aleatorios de alta calidad. Al emplear el sistema Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluations (GRADE), se procede a valorar la calidad de la evidencia. Dicha valoración se fundamenta en las limitaciones del estudio, las imprecisiones, la incompletitud de los datos de resultados, la falta de consistencia en la evidencia y el riesgo de sesgo de publicación. Estos criterios se aplican para establecer la solidez de las recomendaciones (Dijkers, 2013).

2.2.8 Cultivos subutilizados

En épocas pasadas, la humanidad solía consumir diversos cultivos con alto valor nutricional. Sin embargo, debido a la práctica de la domesticación selectiva, la mayoría de estos cultivos se limitaban a regiones específicas. Según diversos estudios sobre la alimentación humana, se estima que alrededor de 80.000 especies de plantas han sido empleadas por los seres humanos para diversos fines, como alimentación, forraje, fibras, medicamentos e industria. De estas especies, más de 25.000 son aptas para el consumo humano, y aproximadamente 7.000 han sido domesticadas o recolectadas de la naturaleza con ese propósito en algún momento (Muthamilarasan et al., 2019). En la actualidad, se cultiva un número limitado de 30 especies para la alimentación. De estas, seis cultivos, incluyendo el arroz, el trigo, el maíz, la papa, la soja y la caña de azúcar, representan más del 75% de la ingesta total de energía proveniente de plantas.

Las plantas subutilizadas y desatendidas (NUS), son aquellas especies vegetales que se encuentran adaptadas a los entornos locales, poseen un valor cultural y tradicional significativo, pero son subestimadas por la sociedad y carecen de atención en términos de investigación y conservación (Dansi et al., 2012). A pesar de su estatus, las NUS han ganado atención como cultivos potenciales para la seguridad alimentaria y nutricional que ayudan a la reducción de la pobreza (Chivenge et al., 2015) y promueven la adaptación al cambio climático. Los cultivos subutilizados y desatendidos (NUS) se destacan por su adaptabilidad, atributos nutricionales y potencial socioeconómico, lo que las posiciona como cultivos idóneos para su cultivo y aprovechamiento en áreas con recursos limitados, caracterizadas por altos índices de pobreza,

inseguridad alimentaria y nutricional. A pesar de su capacidad para impulsar la agricultura transformadora, su contribución a la agricultura convencional aún no está claramente definida. (Mayes et al., 2012)

2.2.9 Identificación de cultivos subutilizados con potencial ¿un enfoque basado en características?

¿Cuál es la mejor manera de identificar las especies de cultivos descuidadas o subutilizadas que poseen un potencial prometedor para justificar la asignación de recursos limitados disponibles para su mejora, dada la amplia variedad de estas especies?

En la búsqueda de mejorar la seguridad alimentaria en medio de desafíos climáticos y la necesidad de aumentar la producción con menos recursos, una estrategia viable es identificar cultivos con características superiores a los cultivos principales, especialmente en ambientes adversos como la sequía y el estrés térmico. Es esencial que estos cultivos no solo sean resistentes a condiciones ambientales extremas, sino que también tengan atributos que los hagan atractivos en mercados de alto valor, ya sea por su calidad funcional, contenido de nutrientes o valor cultural. La clave radica en identificar una selección limitada de cultivos que destaquen por su potencial en términos de rasgos distintivos y su viabilidad en el mercado, con el objetivo de mejorar la seguridad alimentaria (Mayes et al., 2012).

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Búsqueda de Literatura

Se utilizó las bases de datos Science Direct y Google Scholar para la búsqueda preliminar de estudios con las palabras clave de los criterios de inclusión y posterior tamizaje y exclusión.

3.2 Criterios de inclusión y exclusión

Para los criterios de inclusión se consideraron los siguientes criterios de elegibilidad para la caracterización de los estudios mediante una revisión sistemática que consideró los siguientes términos de búsqueda: frutas, biofortificación, estudios originales, efectos en el contenido y/o concentración de macro o microelementos, etc.

En primera instancia se realizó una primera búsqueda con el término “biofortication”, posteriormente se consideró una búsqueda específica para obtener artículos con mayor relevancia con nuestros objetivos de investigación, para ello se elaboró un constructor de búsqueda específica P-I-O (Población – Intervención – Resultado) la cual fue (*“fruit”*) AND (*“biofortification”*) AND (*“concentration”* OR *“content”*). Este constructor de búsqueda permitió la obtención de un gran volumen de estudios con las características de tema deseables para proceder con el tamizaje de los estudios según los criterios de exclusión.

De acuerdo a la declaración PRISMA la realización de una revisión sistemática es un proceso complejo que implica numerosas consideraciones y decisiones por parte de los autores. Para reducir el riesgo de sesgo durante el proceso de revisión, es esencial que estos juicios y decisiones no se vean influidos por los resultados de los estudios incluidos en la revisión (Urrútia & Bonfill, 2010). De igual forma, Higgins et al. (2019) aclara que el alcance de una revisión viene definido por los tipos de población, los tipos de intervenciones y los tipos de resultados que son de interés. El acrónimo PIO (población, intervenciones y resultados) sirve para recordar estos elementos a los investigadores. Los componentes de población, intervención y comparación de la pregunta, con la especificación adicional de los tipos de estudio que se incluirán, forman la base de los criterios de elegibilidad preespecificados para la revisión, no es habitual utilizar los resultados como criterios de elegibilidad. Los estudios deben incluirse independientemente de si informan datos de resultados, pero pueden excluirse legítimamente si no miden los resultados de interés o si pretenden explícitamente prevenir un resultado concreto.

Para los criterios de exclusión se consideró eliminar los artículos de revisión, capítulos de libros y resúmenes de conferencias. Adicionalmente no se consideró la biofortificación de organismos distintos de plantas frutales ni tampoco técnicas de biofortificación distintas a la biofortificación agronómica. Se excluyó los artículos solo incluían un análisis económico o que no presentaran datos acerca de la concentración de nutrientes producto de la intervención. Además, se descartaron los estudios con la falta de acceso al texto completo o que permitan acceso parcial. No se consideró al idioma de los artículos como un criterio de peso abarcando mayoritariamente los idiomas inglés y español. El diagrama de flujo de la revisión sistemática realiza se puede observar en la Figura N°3.

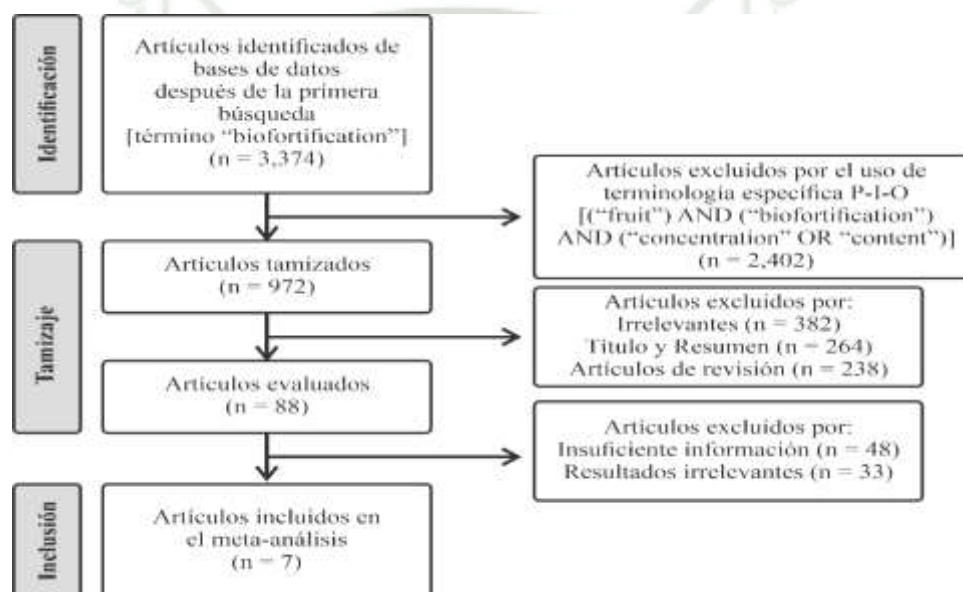


Figura 3. Flujo de la revisión sistemática en bases de datos especializadas.

3.3 Extracción de datos

Los trabajos adjuntos fueron leídos atentamente hasta en dos ocasiones diferentes en momentos de tiempo diferentes. Se compararon los resultados de la lectura preliminar. Sobre la base de la revisión, se revisó los factores que influyen en la biofortificación de las plantas en nutrientes: dosis de fertilizante, tipo de aplicación de fertilizante, forma del elemento, presencia de otros elementos y su influencia, genotipo/fenotipo, fertilizantes especiales. El estudio se redactó de acuerdo a los objetivos del proyecto de investigación.

Los datos recopilados de los estudios fueron el autor, el año y país de publicación, el cultivo desarrollado, el elemento aplicado en la técnica de biofortificación agronómica y la cantidad de repeticiones por tratamiento. De igual forma se buscó los datos numéricos del efecto apuntando

a la media del tratamiento y el testigo junto con las desviaciones estándar o en su ausencia el error estándar de las medias tanto del testigo como el tratamiento de intervención.

En este estudio primario, la precisión de la estimación de la media de la muestra depende de dos factores. El primero es el grado de dispersión de las puntuaciones en la población, representado por la desviación estándar. Si las puntuaciones están muy dispersas (una desviación estándar elevada), la estimación tenderá a ser menos precisa. Por el contrario, si las puntuaciones se agrupan en un rango estrecho (una desviación estándar pequeña), la estimación tenderá a ser más precisa. El segundo factor es el tamaño de la muestra. A medida que aumenta el tamaño de la muestra, la media muestral tenderá a aproximarse a la media real (Borenstein et al., 2010).

Los datos recopilados fueron almacenados en una hoja de cálculo de Excel para su posterior análisis en software R y RStudio.

3.4 Metaanálisis

3.4.1 Cálculo del efecto y la varianza

La diferencia de medias estandarizada del tamaño del efecto (“g” de Hedges) se utiliza ampliamente en el meta análisis y, generalmente, como estadística descriptiva en estudios primarios. La relación fundamental representada por este tamaño del efecto es una variable independiente dicotómica y una variable dependiente continua, es decir, el efecto “g” sería un índice de tamaño del efecto apropiado para un estudio con dos condiciones experimentales (tratamiento comparado con un testigo de control) o una medida escalada de respuesta.

A comparación de otras medidas de efecto, el efecto “g” de Hedges es más precisa para tamaños de efecto basados en tamaños de muestra pequeños; la estandarización permite la comparación de tamaños de efecto entre estudios con diferentes operacionalizaciones del mismo constructo (Wilson, 2017).

Borenstein (2013) en base a la literatura presentada por Hedges propone las siguientes ecuaciones para el cálculo del efecto “g” a partir del cálculo de la “d” de Cohen:

1) Calculamos la desviación estándar de los grupos

$$S_u = \sqrt{\frac{(n_t - 1)S_t^2 + (n_c - 1)S_c^2}{n_t + n_c - 2}}$$

S_u = Desviación estándar de los grupos

n_t = tamaño de la muestra del tratamiento

n_c = tamaño de la muestra del control

S^2_t = variabilidad del tratamiento

S^2_c = variabilidad del control

2) Calculamos la “d” de Cohen

$$d = \frac{\bar{Y}_t - \bar{Y}_c}{S_u}$$

Se utilizan las medias de ambos grupos (tratamiento y control).

3) Calculamos la varianza

$$V_d = \frac{n_t + n_c}{n_t n_c} + \frac{d^2}{2(n_t + n_c)}$$

4) Calculamos el error estándar a partir de la varianza

$$SE_d = \sqrt{V_d}$$

5) Calculamos el factor de corrección “J”

$$J = 1 - \frac{3}{4df - 1}$$

Donde df = grados de libertad de los grupos representada por:

$$df = n_t + n_c - 2$$

6) Calculamos el efecto “g” corregido

$$g = Jd$$

De igual forma se corrige la varianza y el error estándar

$$V_g = J^2 V_d$$

Y

$$SE_g = \sqrt{V_g}$$

3.4.2 Modelo de efectos aleatorios

Los modelos de efectos aleatorios/mixtos proporcionan una inferencia incondicional sobre un conjunto más grande de estudios a partir de los cuales se supone que los k estudios incluidos en el meta análisis son una muestra aleatoria (Viechtbauer, 2010). Por lo general, no debe asumirse que este conjunto más amplio se compone únicamente de estudios que realmente se han realizado, sino que debe proyectarse una población hipotética que comprende estudios que se han realizado, que podrían haberse realizado o que pueden realizarse en el futuro. Luego, el modelo de efectos aleatorios para nuestra investigación aborda la siguiente pregunta: ¿Qué tan grande es el efecto verdadero promedio de la biofortificación agronómica en una población más grande y variada de estudios con frutales (es decir, ¿qué tan grande es el efecto de la biofortificación?).

3.4.3 Uso del software R para meta análisis, uso de las librerías “esc” y “metafor”

A partir del procedimiento presentado en el apartado anterior, Lüdtke (2019) desarrolló una librería de apoyo en el código de libre acceso R para poder computar el tamaño del efecto a partir de datos recolectados, esta librería lleva el nombre de “esc” donde según la entrada de datos, el tamaño del efecto se puede devolver como g de Hedges, flexibilizando y dando más precisión al cálculo del tamaño del efecto para proceder posteriormente con el proceso de meta análisis.

Viechtbauer et al. (2015) indica que un meta análisis es una forma de revisión sistemática que utiliza métodos estadísticos para integrar los resultados de un conjunto de estudios relacionados sobre un tema determinado. Para lograr este objetivo, se obtienen estudios que cumplen ciertos criterios de inclusión y de cada estudio se extrae una estimación del tamaño del efecto. Luego se puede calcular un tamaño del efecto general/promedio que combine todas las estimaciones individuales. Sin embargo, en la práctica, las estimaciones del tamaño del efecto suelen ser más variables de lo que se esperaría basándose únicamente en la variabilidad del muestreo. Esto sugiere que existen diferencias (heterogeneidad) en los verdaderos tamaños del efecto de los estudios individuales. La heterogeneidad puede ser puramente aleatoria o, al menos en parte, resultado de diferencias sistemáticas entre los estudios (en términos de diseño o características de la muestra) que están relacionadas con el tamaño del efecto.

Hedges propuso un estimador en el modelo de efectos aleatorios basado en la estimación de mínimos cuadrados ordinarios. La estimación se obtiene calculando la diferencia entre una estimación no ponderada de la varianza total de los tamaños del efecto y una estimación no ponderada de la varianza promedio dentro del estudio (Hedges & Olkin, 1985).

Viechtbauer (2010) indica que la mayoría de los meta análisis se basan en conjuntos de estudios que no son exactamente idénticos en sus métodos y/o en las características de las muestras incluidas. Las diferencias en los métodos y las características de las muestras pueden introducir variabilidad (heterogeneidad) entre los efectos reales. Una forma de modelar la heterogeneidad es tratarla como puramente aleatoria.

Este modelo se puede realizar con el código R (R Project for Statistical Computing, 2023) a través de la librería “metafor” (Viechtbauer, 2024) que requiere los efectos y varianza calculados de cada estudio analizado en la revisión sistemática, a partir del modelo de efectos aleatorios propuesto se obtendrá un efecto general y las variables de heterogeneidad de los mismos, la representación gráfica de este modelo puede crearse con la misma librería.

3.5 Metodología de evaluación de cultivo subutilizado

Para evaluar un cultivo subutilizado, es esencial seguir una metodología integral que combine diferentes enfoques. A continuación, se presenta una metodología basada en varios estudios científicos:

3.5.1 Marco Metodológico General: Integración de Conocimientos Locales y Evaluación Genética

Utilizar conocimientos locales junto con evaluaciones genéticas y estudios en campo, invernaderos y laboratorios para establecer el potencial del cultivo. Este enfoque puede incluir el uso de modelos de simulación de cultivos para refinar recomendaciones según las condiciones locales.(Azam-Ali et al., 2001)

3.5.2 Evaluación de la Viabilidad Económica: Análisis de Viabilidad Económica usando Máquinas de Soporte Vectorial (SVM)

Implementar métodos de SVM junto con algoritmos genéticos para evaluar el potencial de comercialización de cultivos subutilizados en áreas que actualmente no son aptas para cultivos comerciales debido a condiciones climáticas o características del suelo(Oh et al., 2020).

3.5.3 Análisis de la Adecuación del Suelo: Métodos de Conjuntos Difusos

Evaluar la adecuación del suelo mediante métodos como el análisis de conjuntos difusos, considerando características del suelo como la profundidad de enraizamiento, contenido de carbono orgánico, pH, y gradiente de pendiente para determinar la idoneidad del suelo para diferentes cultivos (Sharififar et al., 2016).

3.5.4 Conservación y Uso de Recursos Genéticos: Análisis de Recursos Genéticos y Políticas

Examinar la situación de los cultivos subutilizados en diferentes regiones y analizar cómo las políticas y marcos legales internacionales apoyan o no la conservación y el uso sostenible de estos cultivos (Galluzzi & Noriega, 2014)

3.5.5 Mejora Genética y Breeding Participativo: Uso de Marcadores Moleculares y Programas de Breeding Participativo

Emplear tecnologías de marcadores moleculares y métodos participativos de breeding para mejorar la genética de los cultivos subutilizados y adaptarlos mejor a condiciones marginales (Cheng et al., 2017).

3.5.6 Evaluación de la Productividad y Uso de Recursos: Plataforma CropBASE

Utilizar plataformas como CropBASE para comparar la productividad y eficiencia en el uso de recursos de cultivos subutilizados con cultivos principales, considerando escenarios climáticos actuales y futuro (Karunaratne et al., 2015).

3.5.7 Análisis Bibliométrico y Cientométrico: Análisis de Investigación y Colaboraciones Internacionales

Realizar análisis bibliométricos para evaluar las tendencias y colaboraciones en la investigación de cultivos subutilizados, identificando áreas clave y oportunidades para mejorar la seguridad alimentaria (Adelabu & Franke, 2022)

Estas metodologías proporcionan un marco integral para la evaluación de cultivos subutilizados, permitiendo una mejor comprensión y explotación de su potencial para contribuir a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola.

3.6 Metodología de evaluación de papaya arequipeña o de montaña (*Vasconcellea pubescens* A.DC.) como especie subutilizada para programas de biofortificación

a. Recolección y Documentación de Conocimientos locales: se tiene como objetivo recopilar y documentar los conocimientos tradicionales y locales sobre el cultivo, uso y beneficios de la papaya arequipeña o de montaña (*Vasconcellea pubescens* A.DC.), para lo cual se siguió con el siguiente procedimiento:

- **Revisión Bibliográfica:** Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura etnobotánica y etnográfica existente para recopilar información sobre las prácticas tradicionales de cultivo, usos medicinales y culinarios, así como conocimientos sobre las propiedades nutricionales y nutraceuticas de la papaya arequipeña.
- **Sistematización de Datos:** La información recopilada se organizó sistemáticamente y se documentaron los métodos de cultivo, las variedades de la planta y las formas tradicionales de preparación y consumo.

b. Evaluación Genética y Caracterización Biotecnológica: Caracterizar genéticamente la papaya arequipeña y desarrollar programas de mejoramiento.

- **Análisis Genéticos:** A partir de la revisión bibliográfica, se identificaron estudios que utilizan tecnologías avanzadas de secuenciación del genoma del cloroplasto y marcadores moleculares. Estos análisis permiten identificar la variabilidad genética y potencial de mejoramiento en rasgos específicos como resistencia a enfermedades, tolerancia al frío y características organolépticas.
- **Establecimiento de un Banco de Germoplasma:** La revisión bibliográfica también subrayó la importancia de desarrollar y mantener un banco de germoplasma de *Vasconcellea pubescens* para apoyar futuros programas de mejoramiento genético.

c. Evaluación de Propiedades Nutricionales y Nutraceuticas: Analizar y documentar las propiedades nutricionales y beneficios nutraceuticos de la papaya arequipeña.

- **Revisión de Estudios Químicos:** Se revisaron estudios que analizan el contenido de macronutrientes y micronutrientes de la papaya arequipeña, incluyendo vitamina C y β -caroteno.
- **Evaluación de Propiedades Nutraceuticas:** Se documentaron estudios que evaluaron las propiedades antibacterianas, antioxidantes, antihipertensivas y otros efectos beneficiosos para la salud mediante ensayos en laboratorio.

d. Desarrollo de Sistemas de Provisión de Semillas. Establecer un sistema eficiente para la producción y distribución de semillas de alta calidad.

- **Revisión de Sistemas Existentes:** Se revisaron estudios y casos de éxito en la creación de sistemas de certificación y distribución de semillas.
- **Propuesta de Mejora:** Con base en la revisión bibliográfica, se propusieron mejoras para la capacitación de agricultores en la producción y conservación de semillas.

e. Evaluación de la Adecuación del Suelo y Clima. Determinar las condiciones óptimas de suelo y clima para el cultivo de la papaya arequipeña.

- **Estudios de Suelo:** A partir de la revisión bibliográfica, se identificaron estudios que evalúan características del suelo como la profundidad de enraizamiento, contenido de carbono orgánico, pH y gradiente de pendiente.
- **Análisis de Conjuntos Difusos:** Se documentaron metodologías de conjuntos difusos utilizadas en la literatura para clasificar la adecuación del suelo.
- **Modelos de Simulación de Cultivos:** Se revisaron modelos de simulación de cultivos para predecir el rendimiento bajo diferentes condiciones climáticas y de suelo.

f. Desarrollo de Productos Procesados y Valor Agregado. Ampliar la gama de productos procesados derivados de la papaya arequipeña y aumentar su valor en el mercado.

- **Desarrollo de Métodos de Procesamiento:** A partir de la revisión bibliográfica, se identificaron y documentaron métodos de procesamiento para la papaya arequipeña, incluyendo conservas, bebidas y productos farmacéuticos.
- **Talleres de Capacitación:** Se revisaron programas de capacitación existentes y se propusieron mejoras basadas en las mejores prácticas documentadas.

g. Comercialización y Organización de la Cadena de Valor. Optimizar la organización de la cadena de valor desde el productor hasta el consumidor final.

- **Establecimiento de Cooperativas:** A partir de la revisión bibliográfica, se documentaron casos exitosos de cooperativas y asociaciones de productores.
- **Desarrollo de Estrategias de Marketing:** Se identificaron estrategias de marketing efectivas y se adaptaron para promover los beneficios nutricionales y nutraceuticos de la papaya arequipeña.

h. Monitoreo y Evaluación Continua. Realizar un seguimiento continuo de las actividades y evaluar el impacto de las intervenciones.

- Establecimiento de Indicadores de Rendimiento: A partir de la revisión bibliográfica, se establecieron indicadores para monitorear el progreso de las actividades de cultivo, procesamiento y comercialización.
- Evaluaciones Periódicas: Se documentaron metodologías para realizar evaluaciones periódicas y ajustar las estrategias basadas en los resultados obtenidos.



CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Analizar la estrategia de biofortificación agronómica para aumentar la concentración de micronutrientes en frutales

a. Pitahaya

La pitaya (*Hylocereus undatus*), conocida comúnmente como fruta del dragón, es un fruto de gran valor económico en zonas tropicales y subtropicales. Su pulpa puede presentar tonalidades que van desde el blanco hasta el rojo y el morado. Además de sus características visuales y gustativas atractivas, las pitayas son ricas en vitaminas, aminoácidos, fenoles totales (TP) y betalaínas. (Ding et al., 2021). Las pitayas de pulpa roja (*Hylocereus polyrhizus*) se caracterizan por presentar niveles más elevados de antioxidantes importantes, tales como fenoles, flavonoides y betacianinas, en comparación con otras variedades de pulpa. (Kim et al., 2011; Paško, Galanty, Zagrodzki, Ku, et al., 2021), los compuestos presentes en esta sustancia están asociados con la disminución de la presión arterial y la diabetes, además de contar con propiedades citotóxicas, en particular los fenoles y las betacianinas (Paško, Galanty, Zagrodzki, Luksirikul, et al., 2021). Sin embargo, la calidad de los frutos puede degradarse debido a un manejo inadecuado con el uso adicional de pesticidas o a la infestación por plagas y enfermedades en condiciones de alta temperatura y alta humedad (HTHH). En la biofortificación de cultivos, el nanoselenio (Nano-Se) ha demostrado tener efectos positivos para contrarrestar esta problemática. En este estudio, se investigó la posibilidad de enriquecer el selenio en pitayas rojas de manera eficiente a través de la aplicación de Nano-Se tanto en la raíz como en las hojas. La aplicación de Nano-Se indujo un aumento significativo en la acumulación de ácidos fenólicos (16,9–94,2%), fenoles totales (15,7%), flavonoides totales (29,5%) y betacianinas (34,1%) en la pulpa de las pitayas. Además, se observó un incremento en las propiedades antioxidantes, como las actividades de las enzimas SOD (25,2%), CAT (33,8%), POD (77,2%), así como los niveles de AsA (25,7%) y DPPH (14,7%) en las pitayas tratadas con Nano-Se, lo que también se reflejó en una prolongación de la vida útil de 4 a 8 días. El análisis de metabolómica no dirigida reveló un aumento en los aminoácidos, lo que estimuló la biosíntesis de fenilpropanoides y betalaínas. En resumen, el mecanismo de biofortificación con Nano-Se en pitayas rojas implica el fortalecimiento de los pigmentos y la formación de sustancias antioxidantes, tanto enzimáticas como no enzimáticas, a través de la

regulación del metabolismo primario y secundario facilitado por la acumulación de selenio.(Yu et al., 2023a)

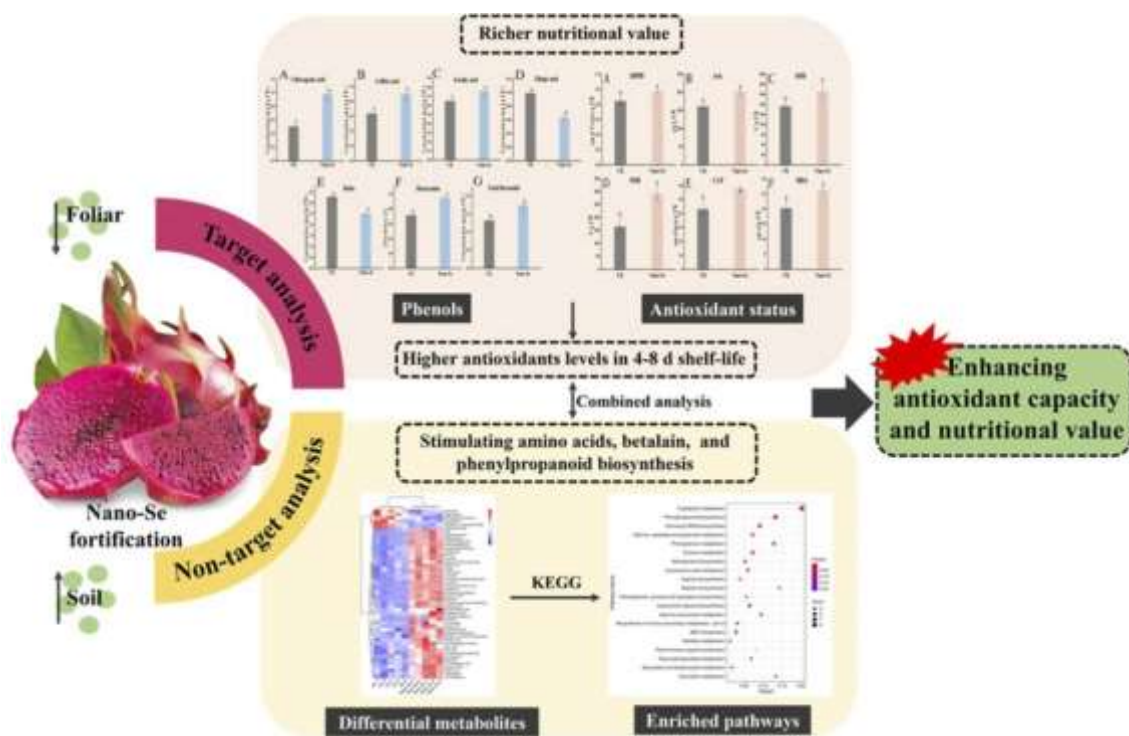


Figura 4. Mejora de la calidad de la fruta de pitaya roja mediante biofortificación con nanoselenio para mejorar la biosíntesis de fenilpropanoides y betalaína

b. Banano

Los bananos¹ y los plátanos son ampliamente consumidos en los países en desarrollo y son considerados alimentos fundamentales en diversas naciones de América del Sur y África. Se encuentran entre las especies de plantas más populares en dichas regiones (Churchill, 2011). Los plátanos se caracterizan por tener una baja concentración de zinc, con solo 0,17 mg por cada 100 g⁻¹. Por lo tanto, se les considera una fuente deficiente de este mineral. El consumo de plátanos no proporciona la cantidad diaria recomendada de zinc para niños de 1 a 3 años, que es de 3,0 mg al día⁻¹ (Padovani et al., 2006). Sin embargo, debido a la importancia del consumo de esta fruta en los países en desarrollo, existen grandes posibilidades de suministrar banano biofortificado con Zn a estas poblaciones. Por lo tanto, el objetivo general de este

¹ Los bananos y plátanos, aunque pertenecen al género *Musa*, difieren en su uso, composición y maduración. Los plátanos son ricos en almidón y se utilizan principalmente cocidos, mientras que los bananos son más dulces y se consumen frescos (K, 2022). Los plátanos mantienen más almidón durante la maduración, resultando en una textura más firme (Marriott et al., 1981). Ambos frutos ofrecen beneficios para la salud, incluyendo propiedades antidiabéticas y antiulcerosas (Pushpangadan et al., 1989)

estudio fue verificar la viabilidad de la fortificación y biofortificación del fruto del banano con el objetivo de alcanzar la dosis diaria recomendada de Zn para niños de 1 a 3 años ($3,0 \text{ mg día}^{-1}$) y como objetivos específicos; *a.* comparar la efectividad de las estrategias de enriquecimiento de Zn mediante inmersión de frutos de banano (fortificación) e inyecciones de sulfato de zinc en el pseudotallo del banano, y *b.* verificar el efecto de la aplicación de sulfato de zinc sobre la vida útil poscosecha y la calidad de la fruta. La inmersión de plátanos en soluciones que contienen zinc no sería un buen método de fortificación debido a la baja internalización del colorante ácido azul 9 en los frutos, que se utilizó para predecir la absorción de sulfato de zinc. Por otro lado, fue factible biofortificar los frutos de plátano mediante la inyección de soluciones de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ en el pseudotallo, triplicando el contenido de Zn en los frutos. El consumo de 81,9 u 88,5 g de plátano deshidratado tratado con 20 y 40 g L^{-1} de sulfato de zinc, respectivamente, suministra el 100 % de la CDR de Zn para niños de 1 a 3 años ($3,0 \text{ mg día}^{-1}$). Asimismo, el consumo de 454,5 y 441,2 g de plátano fresco tratado con las mismas soluciones abastece esta CDR, lo que representa el consumo de tres frutas biofortificadas por día. La vida útil poscosecha de los frutos biofortificados con sulfato de zinc no se vio afectada por la aplicación de las soluciones, pero la calidad de los frutos mostró algunos cambios, notablemente por la disminución en el contenido de ácidos orgánicos (AT) y un aumento en la relación, lo que podría mejorar la aceptación de frutas biofortificadas debido al aumento de sabor. (Mayorquín Guevara et al., 2021a).

c. Manzana

c.1 Contenido de proteínas y proteínas alérgicas

El estudio aborda la biofortificación con selenio en diferentes variedades de manzana y su influencia en el contenido de proteínas y alérgenos Mal d 1 y Mal d 3. La alergia a las manzanas, especialmente debido al alérgeno Mal d 1, es común en Europa del Norte y Central, mientras que Mal d 3 es más frecuente en el sur de Europa. Este trabajo evalúa cómo la biofortificación con selenio puede modificar estos alérgenos y mejorar la calidad de las manzanas. Se seleccionaron siete variedades de manzana cultivadas en tres años consecutivos en dos ubicaciones en el norte de Alemania. Se aplicaron diferentes formulaciones de selenio mediante pulverización foliar en diversas dosis. Los parámetros analizados incluyeron el contenido de selenio, el patrón de proteínas mediante SDS-PAGE, y el contenido específico de Mal d 1 y Mal d 3 utilizando ELISA y LC-MS/MS. La biofortificación aumentó significativamente el contenido de selenio en las manzanas, con incrementos de hasta 40 veces en comparación con las muestras de control. Se observó una reducción general en el contenido de Mal d 1 en las

manzanas biofortificadas, con variaciones dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas. El contenido de Mal d 3 tendió a aumentar en respuesta a la biofortificación, indicando un efecto de estrés abiótico inducido por el selenio. El análisis separado de la piel y la pulpa mostró que Mal d 1 se encontraba predominantemente en la piel, mientras que Mal d 3 se localizaba principalmente en la piel con una presencia mínima en la pulpa. Variedades como 'Fiesta' y 'Golden Delicious' mostraron una reducción significativa de Mal d 1 con la biofortificación. Sin embargo, no todas las variedades respondieron de la misma manera, lo que sugiere la necesidad de seleccionar variedades específicas para la biofortificación.

La biofortificación con selenio tiene el potencial de reducir el contenido de alérgenos en algunas variedades de manzana, mejorando su tolerancia para consumidores sensibles. No obstante, la eficacia de esta intervención varía según la variedad y las condiciones de cultivo. Se recomienda continuar con estudios adicionales para identificar las combinaciones óptimas de variedades y técnicas de cultivo para minimizar el potencial alergénico de las manzanas (Groth et al., 2021a).

c.2 Biofortificación con Yodo, Selenio y Calcio en Manzanas aumento en su calidad y almacenabilidad

Las manzanas son consideradas como candidatas ideales para la biofortificación, ya que son ampliamente consumidas a nivel global y poseen un elevado contenido de antioxidantes dietéticos, los cuales juegan un papel crucial en la salud humana. (Boyer & Liu, 2004). Los experimentos realizados en manzanos han demostrado que las pulverizaciones foliares de I o Se lograron enriquecer la fruta con esos micronutrientes (BABALAR et al., 2019) . La ingesta deficiente de yodo (I) y selenio (Se) en la dieta humana puede causar problemas graves de salud y socioeconómicos. Este estudio investiga el impacto de la pulverización combinada de I, Se y calcio (Ca) en la biofortificación de manzanas 'Red Jonaprince', así como en la calidad de los frutos y su capacidad de almacenamiento. Los objetivos propuestos es la evaluación de la efectividad de la pulverización combinada de I, Se y Ca en la biofortificación de manzanas; determinar los efectos de estos tratamientos en la calidad externa e interna de las manzanas y analizar la capacidad de almacenamiento de las manzanas tratadas. Se realizaron pulverizaciones pre-cosecha de yoduro (KI) o yodato (KIO₃), selenito (Na₂SeO₃) o selenato (Na₂SeO₄), y cloruro de calcio (CaCl₂) en manzanas 'Red Jonaprince', las pulverizaciones se realizaron dos semanas antes de la cosecha, utilizando 0.5 kg de I, 0.25 kg de Se y 7 kg de Ca por hectárea. Se midió la calidad de las manzanas en términos de firmeza, contenido de ácidos orgánicos, y resistencia a desórdenes fisiológicos y enfermedades fúngicas durante el almacenamiento.

Las manzanas tratadas con I, Se y Ca contenían aproximadamente 50 veces más I y Se, y 30% más Ca en comparación con los frutos de control. Las pulverizaciones no afectaron el rendimiento, tamaño, coloración ni la incidencia de russeting en las manzanas. Después del almacenamiento, las manzanas tratadas fueron más firmes, tenían más ácidos orgánicos y eran menos susceptibles a desórdenes como el bitter pit y la descomposición interna. Las pulverizaciones también redujeron la incidencia de enfermedades como la podredumbre de *Neofabraea* spp. Las pulverizaciones pre-cosecha de soluciones combinadas de I, Se y Ca a altas tasas son recomendables para enriquecer eficazmente las manzanas con I y Se y mejorar simultáneamente su capacidad de almacenamiento. Estos tratamientos no afectan negativamente la apariencia y las características internas de las manzanas al momento de la cosecha, proporcionando un método efectivo para mejorar el contenido de micronutrientes esenciales y la calidad post-cosecha de las manzanas. (Wójcik, 2023a)

c.3 Biofortificación de Manzanas y Peras con Yodo mediante pulverización foliar

La deficiencia de yodo es un problema global que afecta a alrededor de dos mil millones de individuos. La biofortificación agronómica se plantea como una estrategia para incrementar el contenido de yodo en alimentos de origen vegetal. En este estudio se analiza la viabilidad de biofortificar manzanas y peras a través de la aplicación de fertilizantes foliares en condiciones de cultivo. Los objetivos específicos incluyen evaluar la acumulación de yodo en manzanas y peras mediante diferentes composiciones de pulverizaciones foliares, así como determinar el impacto de la biofortificación en la calidad de los frutos y su capacidad de almacenamiento. Se llevaron a cabo dos experimentos de campo en un huerto con árboles frutales de manzana y pera con el propósito de investigar el impacto de la aplicación conjunta de nitrato de potasio (KNO_3) y selenato de sodio (Na_2SeO_4) en la acumulación de yodo. Durante estos experimentos, se realizaron pulverizaciones foliares con soluciones de yodo (KI y KIO_3) en diversas concentraciones. Se evaluó el efecto de la coaplicación de KNO_3 y Na_2SeO_4 en la acumulación de yodo y selenio en los frutos, así como en la calidad externa e interna de los mismos y su capacidad de almacenamiento.

La acumulación de yodo en los frutos fue influenciada por la dosis y la forma de yodo aplicada, siendo más efectivo el uso de KI en lugar de KIO_3 . En frutas como manzanas y peras recién cosechadas, se observó que el 51% y el 75% del yodo biofortificado se concentró en la piel de los frutos, respectivamente. Además, se encontró que el contenido de yodo en los frutos disminuyó en un 14% al ser lavados con agua desionizada. Para lograr una acumulación deseada

de 50-100 μg de yodo por cada 100 g de masa fresca, se determinó que era necesario aplicar una fertilización foliar de 1.5 kg de yodo por hectárea y metro de altura del dosel al utilizar KIO_3 . Por otro lado, la adición de KNO_3 resultó en un aumento del contenido de sólidos solubles totales en los frutos, llegando a incrementar hasta 1.0 °Brix en comparación con el grupo de control. Finalmente, la aplicación de Na_2SeO_4 resultó en un aumento del contenido de selenio en los frutos. Las pulverizaciones de yodo provocaron necrosis en las hojas, sin embargo, no incidieron en el crecimiento ni en la calidad comercial de los frutos. Tras un periodo de tres meses de almacenamiento en condiciones de frío, no se detectaron consecuencias negativas derivadas de la aplicación de yodo en la fertilización en los atributos generales de los frutos, a pesar de una disminución del 20% en el contenido de yodo en las manzanas.

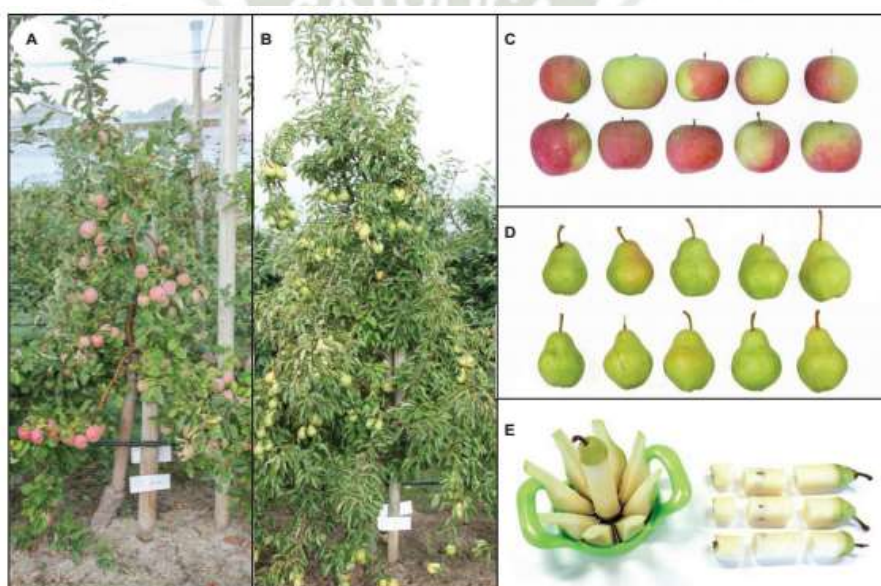


Figura 5. Ejemplos de árboles frutales incluidos en el segundo experimento de campo y apariencia del fruto poco después de la cosecha.

Manzano cv. 'Fuji' (A), peral cv. 'Williams Cristo' (B). Selección de 10 frutos cosechados de manzana (C) y pera (D) del tratamiento no. 5 consistente en una aspersión foliar combinada con KNO_3 , KIO_3 y Na_2SeO_4 que no afectó negativamente las características externas del fruto. Partición de frutas para posteriores pasos de preparación y análisis (E).

Tomado de: Biofortificación de Manzanas y Peras con Yodo mediante pulverización foliar (Budke et al., 2021a).

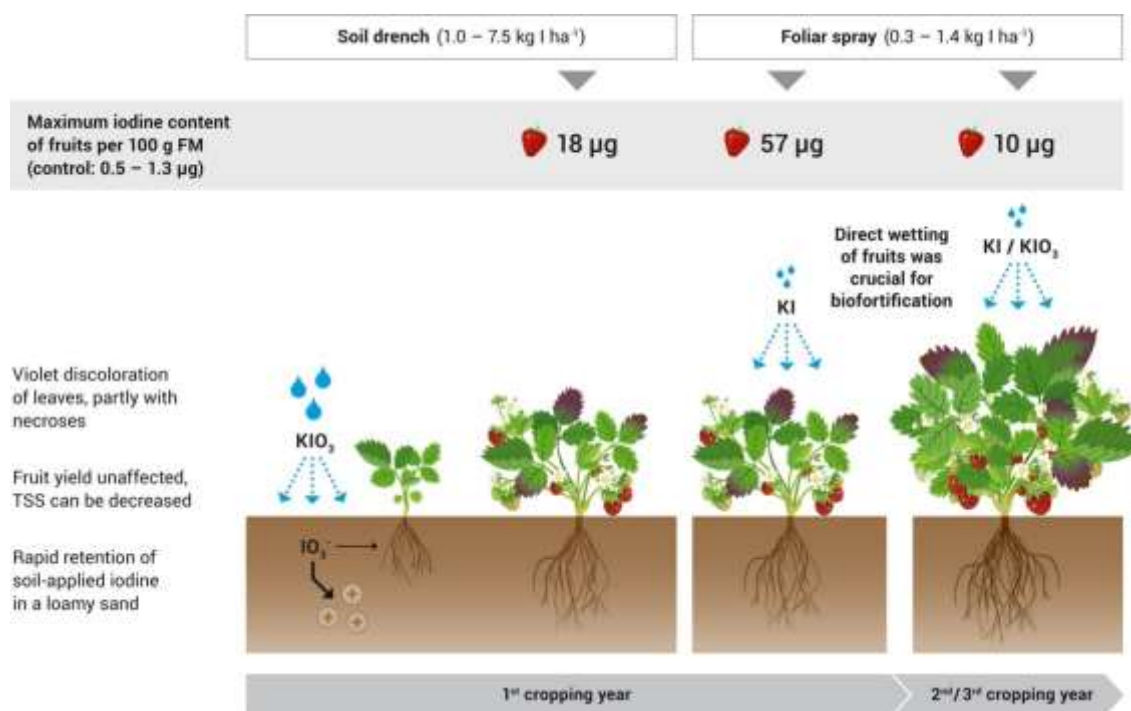
La biofortificación de manzanas y peras a través de la aplicación de yodo mediante pulverizaciones foliares ha demostrado ser eficaz para incrementar su contenido de yodo y mejorar la calidad postcosecha de los frutos. La incorporación de KNO_3 y Na_2SeO_4 a las soluciones de pulverización puede potenciar la calidad nutricional y sensorial de los frutos sin

impactos adversos significativos en su desarrollo o capacidad de almacenamiento. La biofortificación agronómica de estos frutos se presenta como una estrategia viable para combatir la deficiencia de yodo en la alimentación humana.(Budke et al., 2021a)

d. Biofortificación de Fresas con Yodo Mediante Pulverización Foliar y Fertilización del Suelo

La deficiencia de yodo es un problema global que afecta a aproximadamente un tercio de la población infantil. A pesar de la utilización de sal yodada, existe la necesidad de implementar estrategias alternativas para mejorar la ingesta de yodo. Una de estas estrategias es la biofortificación agronómica, la cual consiste en enriquecer alimentos con yodo a través de la fertilización del suelo y la pulverización foliar. En este estudio, se investigó la biofortificación de fresas cultivadas en campo con el objetivo de evaluar la acumulación de yodo en las fresas mediante estas técnicas, determinar su impacto en el rendimiento y la calidad de las fresas, y analizar la dinámica del yodo en el suelo tras la fertilización con KIO_3 . Se llevaron a cabo tres experimentos de campo y una prueba preliminar de fitotoxicidad en invernadero con fresas (*Fragaria x ananassa*). Se aplicaron fertilizantes de yodato de potasio (KIO_3) al suelo y de yoduro de potasio (KI) mediante pulverización foliar. Posteriormente, se midió la acumulación de yodo en los frutos, el rendimiento del cultivo y parámetros de calidad como los sólidos solubles totales y la acidez.

La aplicación de KIO_3 en el suelo resultó en una disminución en la acumulación de yodo en los frutos, atribuible a la rápida reducción de la concentración de yodo disponible en el suelo. Por otro lado, la pulverización foliar con KI durante la etapa de floración condujo a una mayor acumulación de yodo en los frutos. El rendimiento, la firmeza y la acidez total de las fresas no mostraron diferencias significativas tras la aplicación de yodo. Sin embargo, las pulverizaciones repetidas de KI provocaron una ligera disminución en la concentración de sólidos solubles en los frutos. A pesar de intentos adicionales en el segundo y tercer año de cultivo, no se logró aumentar de manera sustancial el contenido de yodo en las fresas, incluso con pulverizaciones frecuentes. Los resultados indican que solo una pequeña proporción del yodo aplicado externamente se transfiere a los frutos de fresas cultivadas en campo, debido a su alta retención en el suelo y a la baja movilidad en el floema de las plantas. La biofortificación efectiva de fresas con yodo se logra de manera óptima a través de la pulverización foliar en lugar de la fertilización del suelo. No obstante, constituye un desafío mantener niveles adecuados de yodo en los frutos a lo largo de todo el período de cosecha, especialmente en cultivos más avanzados con un dosel más denso (Budke, thor Straten, et al., 2020).



4.2 Realizar la búsqueda bibliográfica que permita determinar los microelementos y los frutales que mejor respuesta de adsorción tienen para mejorar el estado nutricional en la dieta de la población.

4.2.1 Artículos revisados para el meta análisis

A partir de la revisión sistemática representada en el diagrama de flujo (Figura 3) se presenta la lista de los artículos admitidos a evaluación:

- 1) “Mejora de la calidad de la fruta de pitaya roja mediante biofortificación con nanoselenio para mejorar la biosíntesis de fenilpropanoides y betalaína.” (Yu et al., 2023b)
- 2) “La inyección de sulfato de zinc en pseudotallo de banano puede triplicar el contenido de zinc y es un método eficaz para la biofortificación de frutos.” (Mayorquín Guevara et al., 2021b).
- 3) “Biofortificación con selenio de diferentes variedades de manzanas (*Malus domestica*) – Influencia sobre el contenido proteico y las proteínas alergénicas Mal d 1 y Mal d 3.” (Groth et al., 2021b)
- 4) “Efectos de las aspersiones de yodo, selenio y calcio antes de la cosecha sobre la biofortificación de la manzana y su calidad y capacidad de almacenamiento.” (Wójcik, 2023b)

- 5) “Biofortificación con yodo de manzanas y peras en un huerto mediante pulverización foliar de diferente composición”. (Budke et al., 2021b)
- 6) “Biofortificación con yodo de fresas cultivadas en el campo: enfoques y sus limitaciones”. (Budke, Thor Straten, et al., 2020)

4.2.2 Cálculo de los efectos de los estudios

El valor del efecto "g" de Hedges es una medida estadística utilizada en metaanálisis para estimar el tamaño del efecto de una intervención o tratamiento, ajustando el tamaño del efecto para estudios con diferentes tamaños de muestra. Es particularmente útil en metaanálisis porque: Ajusta para el sesgo de tamaño de muestra, proporcionando una estimación más precisa del tamaño del efecto y permite comparar y combinar resultados de diferentes estudios, incluso si tienen tamaños de muestra diferentes.

Valores cercanos a 0: Indican que no hay un efecto significativo del tratamiento o intervención. **Valores positivos:** Indican que el tratamiento o intervención tiene un efecto positivo. **Valores negativos:** Indican que el tratamiento o intervención tiene un efecto negativo. Tamaño del Efecto será **Pequeño:** $g \approx 0.2g$, **Moderado:** $g \approx 0.5 g$ y **Grande:** $g \approx 0.8 g$

Los valores más altos del efecto “g” de Hedges se observan en los estudios de Yu et al. (2023) y Wójcik (2023), con valores de 6.027 y 6.600 respectivamente, indicando un fuerte efecto en estos casos. El valor más bajo del efecto “g” se observa en el estudio de Budke et al. (2021) sobre peras, con un valor de 2.648. La varianza y el error estándar más bajos corresponden al estudio de Yu et al. (2023), lo que sugiere una mayor precisión en la estimación del efecto en este estudio. El Selenio (Se) se estudió en pitahaya y manzanas, mostrando efectos significativos, pero con diferentes precisiones. El Zinc (Zn) y el Calcio (Ca) fueron estudiados en bananas y manzanas respectivamente, ambos mostrando efectos relativamente altos. El Yodo (I) se investigó en manzanas, peras y fresas, con el efecto más significativo observado en fresas. En base a la librería “esc” (Lüdecke, 2019) se procedió al cálculo del efecto “g” de Hedges

Tabla 2. Efectos de Intervenciones en Diferentes Cultivos Medidos por el Valor 'g' de Hedges

Autor	Año	País	Cultivo	Elemento en estudio	Efecto "g"	Varianza	Error estándar
Yu et al.	2023	China	Pitahaya	Se	6.027	0.224	0.474
Groth et al.	2021	Alemania	Manzana	Se	3.774	1.677	1.295
Mayorquín Guevara et al.	2021	Brasil	Banana	Zn	4.973	1.543	1.242
Wójcik	2023	Polonia	Manzana	Ca	6.600	4.100	2.025
Budke et al.	2021	Alemania	Manzana	I	3.115	1.302	1.141
Budke et al.	2021	Alemania	Pera	I	2.648	1.080	1.039
Budke et al.	2020	Alemania	Fresa	I	6.843	4.370	2.091

4.3 Ejecución del meta análisis

Todas las investigaciones revisadas apuntan a un incremento significativo en los elementos aplicados a los cultivos mediante la biofortificación agronómica. Numéricamente, se encontró un aumento en el contenido del elemento en comparación con el tratamiento control en todos los estudios. Sin embargo, debido a la variabilidad en la cantidad de artículos encontrados, las diferentes técnicas utilizadas y las distintas fuentes de fertilización empleadas, se observó una heterogeneidad considerable entre los estudios.

El índice I^2 es una medida que describe el porcentaje de variabilidad total observada en un metaanálisis que es atribuible a la heterogeneidad entre los estudios en lugar de al azar. En otras palabras, I^2 indica cuánto de la variación en los resultados de los estudios se debe a las diferencias reales entre los estudios (como las diferencias en los métodos, las poblaciones estudiadas, las intervenciones, etc.) en lugar de al azar. La interpretación del I^2 : **0%**: No hay heterogeneidad observada, toda la variabilidad se debe al azar; **0% - 25%**: Baja heterogeneidad; **25% - 50%**: Heterogeneidad moderada; **50% - 75%**: Alta heterogeneidad y **75% - 100%**: Muy alta heterogeneidad.

El análisis de heterogeneidad mostró un índice I^2 de 42.1%, lo que indica que el 42.1% de la variabilidad observada en los efectos puede atribuirse a las diferencias entre los estudios, más que al azar. La presencia de esta heterogeneidad sugiere que los estudios varían en aspectos importantes como las técnicas de biofortificación, los tipos de cultivos, las condiciones de crecimiento, y otros factores metodológicos que influyen en los resultados.

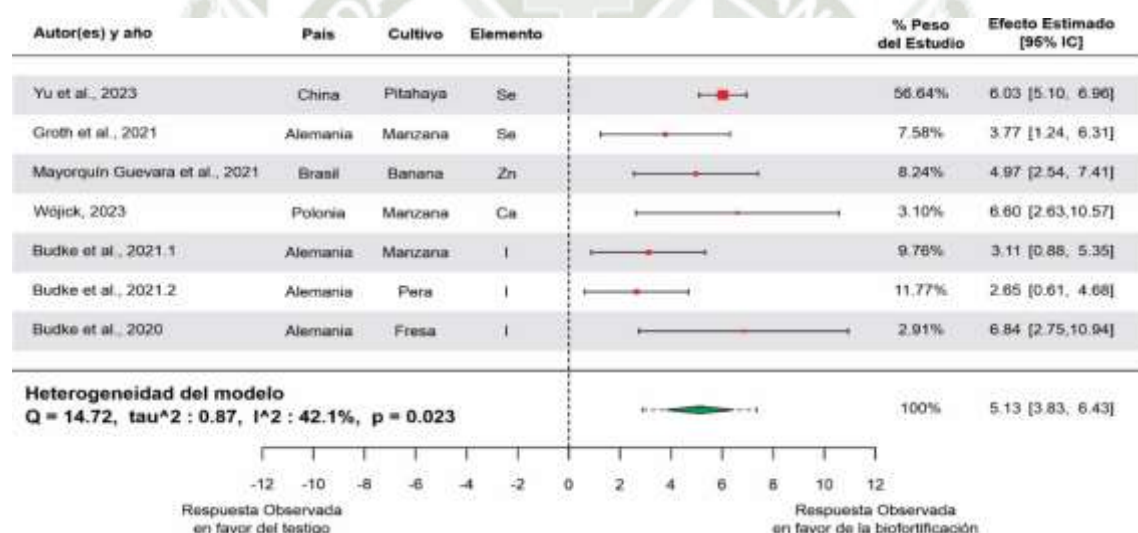
En base a los efectos computados se procedió a realizar un modelo de efectos aleatorios con moderador Hedges utilizando la librería “metafor” (Viechtbauer, 2024)

Tabla 3. Efectos General del Meta análisis Medido por el Valor 'g' de Hedges

Estimado	Error estándar	Valor z	Valor p	Interválo de Confianza 95%		Significancia
5.129	0.662	7.753	< 0.0001	[3.832	6.425]	***

Todas las investigaciones revisadas apuntan a un incremento significativo en los elementos aplicados a los cultivos mediante la biofortificación agronómica. Numéricamente, se encontró un aumento en el contenido del elemento en comparación con el tratamiento control en todos los estudios. Sin embargo, debido a la variabilidad en la cantidad de artículos encontrados, las diferentes técnicas utilizadas y las distintas fuentes de fertilización empleadas, se observó una heterogeneidad considerable entre los estudios.

Tabla 4. Estimaciones del Efecto de la Biofortificación en Frutales



La

estimación combinada es un aspecto fundamental en un metaanálisis, ya que constituye una síntesis estadística de los efectos individuales informados en diversos estudios. Esta síntesis proporciona una medida única del efecto que considera toda la evidencia disponible. La importancia de la estimación combinada en la síntesis de resultados radica en la capacidad de combinar los hallazgos de distintos estudios para obtener una estimación global del efecto de interés. Además, ayuda a superar las limitaciones inherentes a los estudios individuales, como el tamaño reducido de la muestra o la variabilidad en los resultados. Al fusionar los datos de múltiples estudios, se logra incrementar la precisión de la estimación del efecto, lo que se traduce en una reducción del margen de error y del intervalo de confianza. Al considerar un mayor volumen de datos, se puede obtener una estimación del efecto que sea más generalizable a diversas poblaciones y contextos.

La estimación combinada en un metaanálisis se calcula mediante métodos estadísticos que ponderan los efectos individuales de cada estudio según su tamaño y precisión. Los dos métodos más comunes son:

Modelo de Efectos Fijos: Asume que todos los estudios están estimando el mismo efecto verdadero y los estudios se ponderan en función del tamaño de la muestra y la precisión (inverso de la varianza).

Modelo de Efectos Aleatorios: Asume que los estudios están estimando efectos verdaderos diferentes pero relacionados. Introduce una componente adicional de variabilidad (heterogeneidad) entre los estudios y los estudios se ponderan considerando tanto la variabilidad dentro de los estudios como la variabilidad entre los estudios.

En el gráfico presentado, la estimación combinada se muestra al final como un diamante verde. Los detalles son los siguientes:

Efecto Combinado [95% IC]: 5.13 [3.83, 6.43]. La estimación combinada del metaanálisis indica que, en promedio, la biofortificación tiene un efecto positivo significativo en los cultivos frutales. **Intervalo de Confianza (IC):** El intervalo de confianza del 95% no incluye el cero, lo que confirma la significancia estadística del efecto y **precisión:** el intervalo de confianza es relativamente estrecho, lo que sugiere una estimación precisa del efecto combinado.

La estimación combinada es crucial para obtener una visión general y robusta del efecto de la biofortificación en los cultivos frutales. A pesar de la heterogeneidad moderada entre los estudios, la estimación combinada en este metaanálisis proporciona evidencia sólida de que la biofortificación tiene un impacto positivo significativo en el contenido de micronutrientes en los cultivos frutales. Este resultado tiene importantes implicaciones para la agricultura y la salud pública, apoyando el uso de la biofortificación como una estrategia eficaz para mejorar la nutrición.

4.4 Diagramas de Bosque

Los diagramas de bosque (Forest Plots) son herramientas visuales esenciales en los metaanálisis, ya que permiten sintetizar y presentar los resultados de múltiples estudios individuales de manera clara y comprensible. En el contexto del metaanálisis sobre la biofortificación de frutales, cada estudio está representado por un cuadrado que indica la estimación puntual del efecto y una línea horizontal que se extiende a ambos lados del cuadrado, representando el intervalo de confianza del 95%. La magnitud del área del cuadrado es proporcional al peso asignado a ese estudio en el metaanálisis. Los estudios con mayor precisión y menor varianza tienen un mayor peso, lo que se refleja en cuadrados más grandes. Esta

visualización atrae la atención hacia los estudios con mayor influencia en la estimación combinada del efecto.

Una característica clave de los diagramas de bosque es la representación de la medida del efecto en el eje horizontal. Este enfoque, contrario a la convención habitual de representar las variables dependientes en el eje vertical, ofrece varias ventajas. Permite que los identificadores del estudio y los datos detallados se presenten junto a los resultados, facilitando la comparación directa entre los efectos de los estudios individuales y el efecto global. Además, esta disposición mejora la claridad del gráfico y la interpretación de los resultados.

4.5 Representación de los Efectos Individuales

Cada estudio sobre la biofortificación de frutales muestra su estimación puntual y el intervalo de confianza del 95%, lo que permite evaluar la precisión y la variabilidad de los resultados individuales. Estudios como el de Yu et al. (2023) destacan por su gran peso y precisión, indicando un efecto significativo y robusto de la biofortificación con Selenio en la pitahaya.

4.6 Estimación Combinada del Efecto

La estimación combinada, representada por un diamante en la parte inferior del gráfico, muestra un efecto positivo significativo de la biofortificación en los cultivos frutales, con un intervalo de confianza estrecho que indica alta precisión.

4.7 Evaluación de la Heterogeneidad

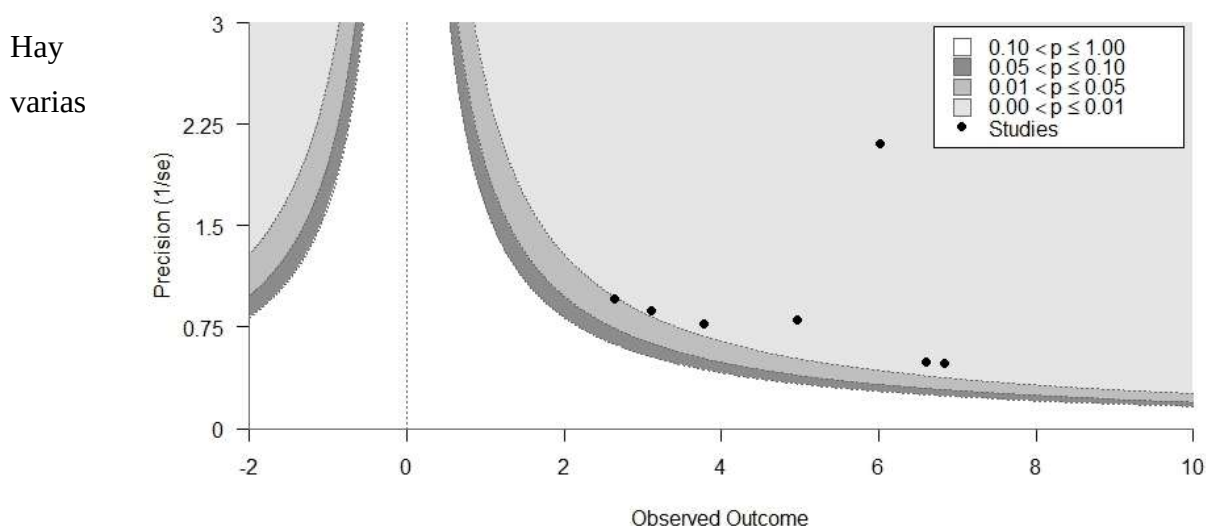
La variabilidad entre los estudios, reflejada en la dispersión de los cuadrados y las longitudes de sus intervalos de confianza, sugiere una heterogeneidad moderada. Esto es consistente con el valor I^2 del 42.1%, que indica que una parte significativa de la variabilidad se debe a diferencias reales entre los estudios. (Anzures-Cabrera & Higgins, 2010).

4.8 Gráfico de Embudo (Funnel Plot)

El gráfico de embudo proporciona una visualización de la relación entre la precisión de los estudios y los resultados observados en el metaanálisis sobre la biofortificación de frutales. Matemáticamente, traza el tamaño del efecto frente a alguna función de error estándar (Anzures-Cabrera & Higgins, 2010). La relativa simetría y la dispersión de los puntos alrededor de la región central sugieren que no hay un sesgo de publicación significativo. La mayoría de los estudios tienen resultados estadísticamente significativos, indicando que la biofortificación en cultivos frutales tiene un efecto positivo y robusto. Sin embargo, la dispersión en la parte

inferior del gráfico sugiere que hay variabilidad entre los estudios, posiblemente debido a diferencias metodológicas o contextuales.

Figura 6. Evaluación del Sesgo de Publicación y Precisión en el Metaanálisis de Biofortificación de Frutales



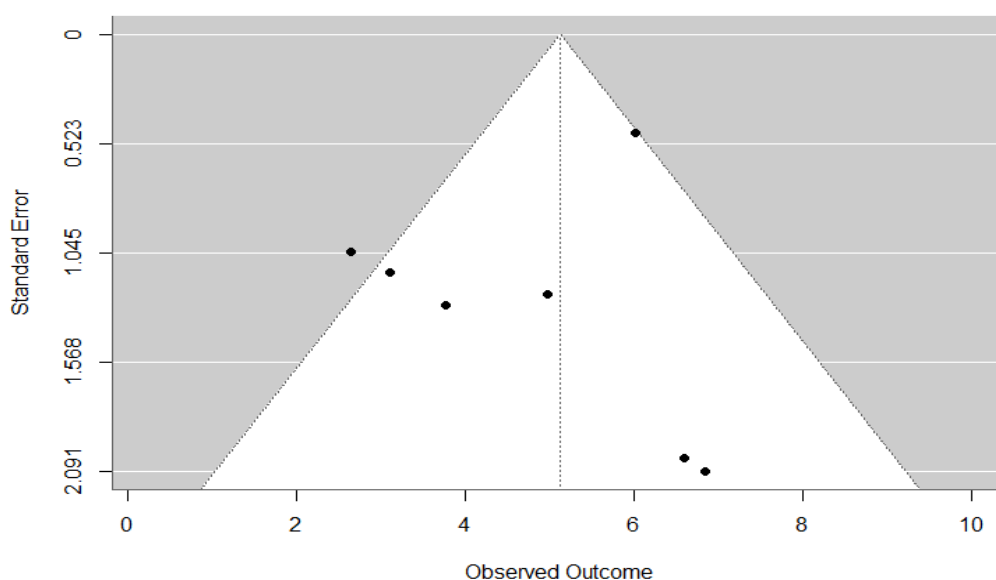
posibilidades para elegir la medida de precisión en un gráfico en embudo, incluido el tamaño total de la muestra, el error estándar, la varianza inversa (peso) o el error estándar inverso. En el caso de la figura de embudo invertido presentada podemos observar la precisión de los estudios y la zona de confianza, siendo todos los estudios sujetos de meta análisis relevantes para el efecto general.

En el caso del gráfico de embudo invertido presentado, se utiliza el error estándar como medida de precisión. En el eje vertical, los valores del error estándar disminuyen hacia la parte superior del gráfico, indicando que los estudios en la parte superior son más precisos. El eje horizontal representa los resultados observados en los estudios individuales. El área triangular central delimitada por líneas punteadas indica el intervalo de confianza del 95%. Los estudios que caen dentro de esta área tienen resultados más confiables y menos propensos a ser sesgados. La disposición simétrica y la dispersión de los puntos alrededor de la línea central sugieren que no hay un sesgo de publicación significativo y que los resultados observados son robustos. La precisión de los estudios se representa por su proximidad a la parte superior del gráfico, donde los estudios con menor error estándar (mayor precisión) se concentran. Los estudios menos precisos, con mayor error estándar, se encuentran hacia la parte inferior del gráfico. La mayoría de los estudios en el gráfico caen dentro del área de confianza, indicando que son relevantes para el efecto general del metaanálisis.

Este gráfico de embudo invertido muestra una evaluación visual de la precisión de los estudios y su contribución al metaanálisis sobre la biofortificación de frutales. La ausencia de asimetría marcada sugiere que no hay un sesgo de publicación significativo y que los estudios incluidos proporcionan una estimación robusta del efecto general. La variabilidad observada puede deberse a diferencias metodológicas o contextuales entre los estudios, pero en general, los resultados son estadísticamente significativos y respaldan la eficacia de la biofortificación en cultivos frutales.

Figura 7. Evaluación de la Precisión y Sesgo de Publicación en el Metaanálisis de Biofortificación de Frutales: Gráfico de Embudo Invertido"

Una

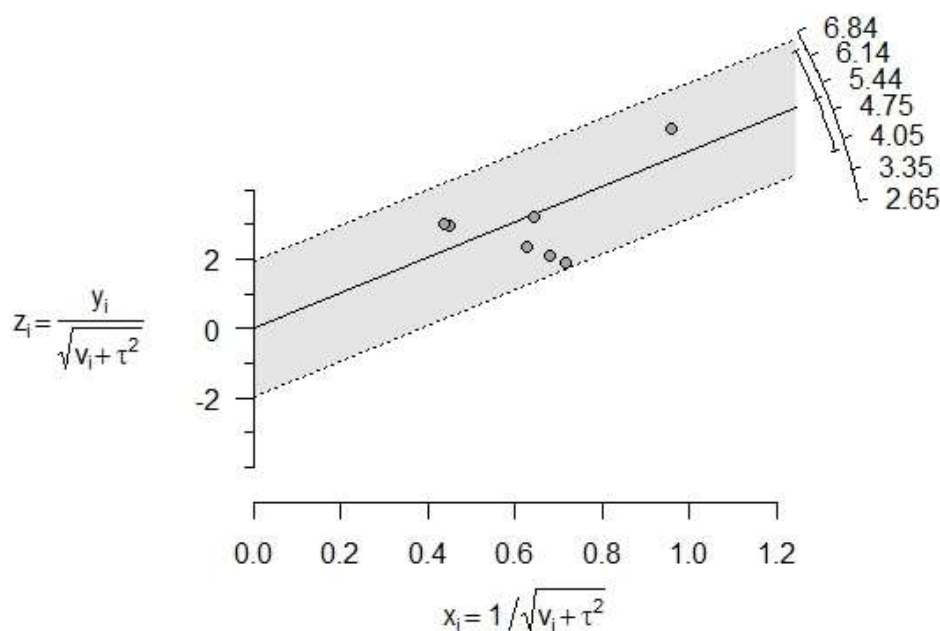


evaluación con un funnel plot indica la relación entre el error estándar y las observaciones de cada artículo, este gráfico refleja la necesidad de mayor investigación en la biofortificación agronómica de frutales, aun siendo una técnica estadísticamente significativa.

4.9 Gráfico radial

Un gráfico radial es una visualización gráfica para comparar estimaciones que tienen diferentes precisiones. Es un diagrama de dispersión de estimaciones estandarizadas versus recíprocos de errores estándar (Galbraith, 1994).

Figura 8. Evaluación de la Heterogeneidad y Precisión en el Metaanálisis de Biofortificación de Frutales: Gráfico de Galbraith"



En el gráfico presentado, la dispersión vertical de los puntos refleja el grado de heterogeneidad entre los estudios. La línea central representa la regresión a través del origen, y las líneas dibujadas a una distancia vertical de ± 2 unidades por encima y por debajo de esta línea delinean una región de confianza aproximada del 95%. (Anzures-Cabrera & Higgins, 2010)

La dispersión de los puntos alrededor de la línea central indica el grado de heterogeneidad entre los estudios. Estudios que caen fuera de las líneas de confianza del 95% sugieren una mayor heterogeneidad y posibles diferencias significativas en los resultados.

Los estudios con mayor precisión (valores más altos en el eje X) tienden a tener efectos estandarizados más consistentes y menos dispersos. Los estudios menos precisos (valores más bajos en el eje X) muestran una mayor variabilidad en los efectos estandarizados.

La mayoría de los estudios en el gráfico caen dentro de la región de confianza del 95%, lo que sugiere que, en promedio, los resultados observados son consistentes con el modelo de metaanálisis. Estudios fuera de esta región pueden indicar posibles outliers o variabilidad no explicada por el modelo.

El gráfico de Galbraith proporciona una visualización clara de la heterogeneidad y la precisión de los estudios en el metaanálisis de biofortificación de frutales. La dispersión vertical de los puntos alrededor de la línea central refleja la variabilidad en los efectos observados. La mayoría de los estudios caen dentro del intervalo de confianza del 95%, indicando una consistencia general en los resultados. Sin embargo, la presencia de puntos fuera de esta región sugiere la necesidad de investigar más a fondo las fuentes de heterogeneidad y considerar posibles factores contextuales o metodológicos que podrían influir en los resultados.

4.10 Determinar el potencial de los cultivos sub utilizados para ser incorporados como estrategia de biofortificación para ser sembrados y consumidos en la Región Arequipa.

Retos y Posibilidades del uso de la papaya arequipeña o de montaña (*Vasconcellea pubescens* A.DC.) como especie subutilizada en un programa de biofortificación

a. Recolección y Documentación de Conocimientos Locales

Introducción

Uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) el número 2, exige fuentes alternativas de alimentos para lograr el hambre cero y acabar con todas las formas de desnutrición para el 2030. El informe mundial sobre la seguridad alimentaria y la nutrición muestra que más de 820 millones de personas en el mundo padece hambre (FAO, 2019).

Sin embargo, se puede prevenir las deficiencias nutricionales mediante la exploración de los potenciales de resiliencia climática de cultivos subutilizados como la papaya arequipeña o de altura. El término subutilizado se refiere a un grupo de cultivos silvestres y especies de plantas cultivadas con un potencial de mercado global limitado (Tyagi et al., 2018). Entre las 300,000 especies de plantas estimadas, aproximadamente 5000 plantas se han utilizados para la alimentación humana. En la actualidad, alrededor de 20 a 30 especies de cultivos alimentarios han demostrado su dominio en la agricultura mundial para proporcionar alimento al 90% de la población mundial total. Por tanto, existe una necesidad urgente de promover diversos cultivos alimentarios en la agricultura actual (Katoch, 2020). En el Perú se encuentran dos importantes centros de origen y domesticación de cultivos como son los Andes y la Amazonía. Estos son además centros de diversificación de otros cultivos que, aunque no se originaron en este territorio, al ser introducidos, han logrado adaptarse a varios de los muchos climas y agroecosistemas presentes en nuestro país y la región Arequipa a una gran variabilidad genética. (Pastor, S. et.al. 2006). El mismo autor establece criterios para la identificación de un cultivo subutilizado como el nivel de producción menor de 25,000 ha; la presencia en el mercado exterior se muestra de manera regular, irregular o no está presente y su presencia en los supermercados es de manera regular ya sea en forma fresca o transformada, utilizando estos criterios identifica dentro de los frutales al papayo de altura, chamburo o “papaya arequipeña”. La “papaya arequipeña o de montaña” pertenece al género *Vasconcellea*, que comprende 21 especies, es el género más grande de las Caricaceae, mejor conocido como por el género monotípico *Carica*, incluida la papaya (*C. papaya*), uno de los cultivos más importantes. Se distribuye desde México hasta Chile, con el centro de diversidad en Ecuador y Colombia. Debido a su preferencia por las altitudes más altas, la mayoría de especies de *Vasconcellea* se

conocen como papayas de las tierras altas o de montaña. Algunas especies de *Vasconcellea* tienen potencial como nuevas frutas tropicales particularmente *V. pubescens*, que se están utilizando para un mercado (nicho) en crecimiento para nuevos productos exóticos. Como fuente de papaína, varias especies de *Vasconcellea* muestran una actividad proteolítica hasta 17 veces mayor que el de la papaya. Otros se están utilizando como fuentes de nuevos genes para el mejoramiento de la papaya (especialmente contra el virus de la mancha anular de la papaya), tolerancia al frío y rasgos organolépticos específicos. Las especies de *Vasconcellea* se comercializan y socialmente es importante solo a escala local; (Scheldeman et al., 2011).

Las especies de *Vasconcellea* muestran un potencial interesante y posibilidad de domesticación en diferentes áreas. Ante todo, como fuente de frutas con organolépticos a menudo atractivos propiedades (por ejemplo, aroma, sabor y color), ya sea basadas sobre especies o variedades existentes, o sobre la base de nuevas variedades que hacen uso de las diferentes propiedades presentes en cada una de las diferentes especies de *Vasconcellea* combinado con su fácil hibridación. En segundo lugar, las especies de *Vasconcellea* también se consideran potencial fuente de papaína, una enzima proteolítica ampliamente utilizada en las industrias farmacéutica y alimentaria, y otros componentes biológicamente activos de alto nivel farmacéutico. El potencial de las papayas de las tierras altas es actualmente solo explotado a nivel de pequeños agricultores en los países andinos y que incluso allí, con un control de calidad adecuado, podría ser posible desarrollar tanto la exportación de fruta fresca y una industria de extracción de papaína andina. (Scheldeman et al., 2011).

b. Evaluación Genética y Caracterización Biotecnológica

Análisis Genéticos

Caracterizaciones biotecnológicas

El genoma del cloroplasto es una parte integral de los genomas vegetales de una especie junto con los genomas nucleares y mitocondriales, lo que contribuye a la adaptación, diversificación y evolución de los linajes vegetales. En la presente trabajo se secuencian y ensamblan el genoma del cloroplasto de *Vasconcellea pubescens* A.DC. utilizando la tecnología Oxford Nanopore. El tamaño del genoma es de 158.712 pb, menor que 160.100 pb del genoma del cloroplasto de *C. papaya* y dos haplotipos estructurales, LSC_IRa_SSRCr_IRb y LSC_IRa_SSRCr_IRb, fueron identificados tanto en *V. pubescens* como en *C. papaya*. Las mutaciones de inserción-delección pueden desempeñar un papel importante en la evolución del gen Ycf1 en la familia Caricaceae. Ycf2 es el único gen seleccionado positivamente en el genoma del cloroplasto de *V. pubescens*. En el genoma del

cloroplasto de *C. papaya*, hay 46 loci de edición de ARN con una eficiencia de edición de ARN promedio del 63%. Estos hallazgos mejorarán nuestra comprensión de los genomas de estos dos cultivos de la familia Caricaceae y contribuirán a la mejora de los cultivos. (Lin et al., 2020).

Mapa genético de *Vasconcellea pubescens*. Las líneas gruesas indican la extensión de las regiones repetidas invertidas (IRa e IRb), que separan el genoma en regiones de copia única pequeña (SSC) y grande (LSC). Los genes dibujados dentro del círculo se transcriben en el sentido de las agujas del reloj y los que están fuera se transcriben en el sentido contrario a las agujas del reloj. Los diferentes colores representan diferentes grupos funcionales de genes. (Lin et al., 2020)

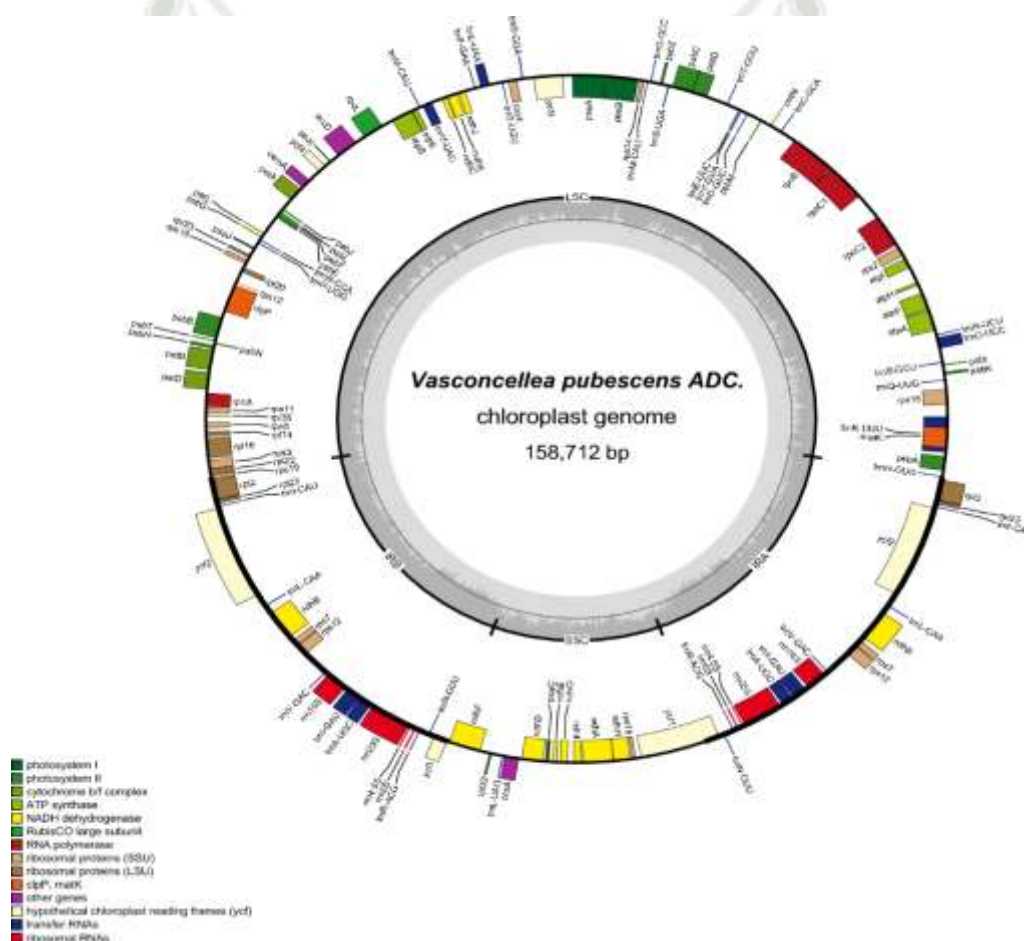


Figura 9. Mapa genético del genoma del cloroplasto de *Vasconcellea pubescens* ADC.

Establecimiento de un Banco de Germoplasma: Estrategias para aumentar su valoración

Determinación de material para mejoramiento

La conservación ex situ de papaya arequipeña o de altura es muy limitada lo que influye en un gran riesgo de una futura pérdida de material genético valioso, denominado erosión genética sino además que perjudica cualquier trabajo de fitomejoramiento.

Se debe considerar datos de colección, caracterización y evaluación. Listado de descriptores para conocer la variabilidad existente.

c. Evaluación de Propiedades Nutricionales y Nutraceuticas

Revisión de Estudios Químicos:

Algo importante de los cultivos subutilizados aparte de sus propiedades son las nutraceuticas y su relación con la salud en las comunidades locales donde las cultiva de manera milenaria o tradicional. En el presente trabajo detallamos investigaciones que sustentan estas características de *V. pubescens*

Contenido nutricional

Entre los macronutrientes sobresalen por su contenido los carbohidratos reductores directos (7,36 a 9,52 g%) que corresponden al 79% y 98% de los carbohidratos totales. Y entre los micronutrientes más importantes se encuentran la vitamina C y β -caroteno. En promedio el contenido de vitamina C representa el 83,7% de las ingestas diarias recomendadas, el de β -caroteno equivale a 261 μ g de retinol, lo que representa el 64 y 44% de las recomendaciones diarias de vitamina A para niños de 4 a 8 años de edad y adolescentes respectivamente. Por estas razones, la papaya de altura puede constituirse como aportador de estos dos nutrientes vitamínicos. De otro lado el β -caroteno es un nutriente con propiedad funcional de antioxidante que ha demostrado tener efecto benéfico en la reducción del riesgo de contraer enfermedades crónicas.(Hernández et al., 2014).

Evaluación de Propiedades Nutraceuticas:

Efecto antibacteriano

Los extractos de hojas de *V. pubescens* poseen actividades antibacterianas. El extracto acuoso de hojas logró la aparición de un halo de inhibición frente *Salmonella typhy*, mientras que el extracto atánolico hizo lo mismo frente a *Salmonella typhy* y *Staphylococcus aureus*.(Coaguila, s. f.)

Efecto hipertensión

Se ha determinado que el extracto etanólico de *V. pubescens* tiene un contenido fenólico comparable con el Algarrobo, el cual puede variar según el grado de madurez, las diferencias genéticas (cultivar), las condiciones ambientales, las condiciones de almacenamiento poscosecha y el procesamiento.

Se ha informado muchos estudios sobre los efectos beneficiosos sobre hipertensión por extractos ricos en polifenoles no solo al retardar el desarrollo de la hipertensión sino también

normalizar la presión arterial. La inhibición de la ACE (enzima convertidora de angiotensina I) es un objeto importante en el manejo de la hipertensión. Los extractos de *V. pubescens* tenía el mayor contenido de quercetina y ácido clorogénico. (Edwards et al., 2007). Informó que la suplementación con quercetina redujo la presión arterial en sujetos hipertensos (Pinto et al., 2009).

Protector solar

Vasconcellea pubescens contiene compuestos flavonoides que pueden proteger la piel de la luz solar debido a su actividad antioxidante. Se procedió a la extracción del fruto con el método de maceración por diferencia de concentración y análisis de espectrofotometría, para determinar el SPF (Factor de protección solar in vitro), los valores determinaron SPF de 27-44. Esta probada actividad de la planta mostró su importancia y utilidad profiláctica en la formulación antisolar. Esta será una alternativa mejor, más barata y segura al protector solar químico dañino que se usa hoy en día en la industria. (Advaita et al., 2018).

Repelente de mosquito del dengue

La propagación del dengue hemorrágico (FHD) en algunos países del mundo está relacionada con la presencia de su vector principal *Aedes aegypti*. La prevención se lleva a cabo con el uso de insecticidas químicos. Se ha determinado el porcentaje de repelencia del extracto de semilla de *V. pubescens* a partir del valor de ED₅₀ y ED₉₉ como repelente. Los resultados mostraron que el extracto de semilla contenía predominantemente ácido oleico y ácido palmítico, que actúan como agentes repelentes contra *A. aegypti*. (Anggraeni & Laela, 2020).

Catalizadores en la industria de alimentos

Las proteasas son un grupo de enzimas utilizadas industrialmente por su capacidad para transformar moléculas de proteínas en péptidos más simples. La papaína es una mezcla de proteasas obtenida del fruto de papaya. La papaína cruda es el nombre comercial dado al látex seco. Su uso para ablandar carne, en la industria cervecera para mejorar la claridad de cerveza helada; lavado de textiles; la industria del curtido, para batir pieles y cueros. (Baeza et al., 1990)

Antipiretico

La fiebre es la condición de la temperatura corporal que más de lo habitual es causada por un aumento de la temperatura de control central en el hipotálamo. Una infección o un virus suelen causar esta afección. Algunas de las sustancias activas de los metabolitos secundarios de las plantas se habían investigado para bajar la fiebre; eran flavonoides, saponinas y taninos. Carica (*Vasconcellea pubescens* A.DC) o papaya de montaña es una de las frutas que tiene estos los compuestos. Los resultados mostraron que frutos y semillas extractos etanólicos con la dosis

de 800 mg / kg p.v. fue significativamente ($p < 0.05$) capaz de bajar la temperatura hacia control negativo en ratas Wistar. (Sasongko et al., 2019)

Alto contenido de componentes volátiles

Nos permite identificar químicamente el aroma y sabor de los mismos, lo cual es una característica de la fruta; fueron detectados un total de 38 compuestos, se identificaron a 20 de ellos. Los compuestos más abundantes identificados son: el hexanoic acid. Ethylester; butanoic acid, ethylester; 1-octanol y el linalol. Se encuentra mayoritariamente ésteres en un 69, 43%, seguido de los alcoholes en un 19,18%; ácidos en un 2,67%, hidrocarburos en un 0,78%, cetonas en un 0,319%, y aldehídos en un 0,144% (Noriega et al., 2014).

Capacidad antioxidante y compuestos bioactivos

La mayor capacidad antioxidante lo determina *V. pubescens* A.DC (1936±228 mg equivalente trolox/g de tejido) y compuestos fenólicos (167±0,3 mg de equivalente ácido gálico/100 g muestra) en relación con el aguaymanto, el tomate de árbol y tuna roja. (Repo de Carrasco & Encina Zelada, 2008).

d. Desarrollo de Sistemas de Provisión de Semillas

Revisión de Sistemas Existentes: Sistema de provisión de semillas

Una de las razones de la disminución del cultivo es la falta de un sistema de provisión de semilla. El sector privado y los canales tradicionales de distribución de semillas son sectores que juegan un rol importante en la distribución de semillas certificadas.

e. Evaluación de la Adecuación del Suelo y Clima

Estudio del suelo: Biodiversidad del departamento de Arequipa

El Departamento de Arequipa tiene una Biota autóctona o nativa y otra introducida o exótica, que están adaptadas a las condiciones de clima y suelos de Arequipa. Entre la Flora silvestre las familias mejor representadas son las Asteráceas, como el “suncho” o *Virguiera weberbauerii* el “chiri” o *Grindelia montana* y *G. glutinosa* y la “tola” o *Parastrephia quadrangulares* y *P. lepidophylla*; las Poáceas como el “ichu”, “paja brava” o “paja de puna” que son los nombre comunes de varias especies de los géneros *Stipa*, y *Festuca*, el “pasto” o *Pennicetum clandestinum* y la “cebadilla” o *Eragrostis peruvianus*, las Cactáceas también son importantes tanto por su diversidad en el Departamento, como por sus adaptaciones a la aridez, por lo que son características de la mayor parte del territorio arequipeño, siendo las más conocidas los “curis”, las “corotilla”, los “gigantones”, que son

cactáceas que pertenecen a los géneros *Weberbauerocereus*, *Thephrocactus*, *Neoraymondia*, etc. (Jimenez et al., 2006)

En la flora de Arequipa existen importantes elementos de reserva de variabilidad genética y valioso material de germoplasma como las solanáceas nativas (papas, tomates y ajíes silvestres) las leguminosas (tarwis y frejoles), árboles altoandinos (queñua, kolle, quishuar, aliso y lloque), árboles adaptados a la aridez (yaros o algarrobos, huarangos, arrayanes y taras), arbustos para protección contra la erosión y para regulación del rendimiento hídrico de cuencas (tola, paja de puna, cactáceas, etc...), plantas utilizadas en medicina tradicional o que contienen principios farmacéuticos (muña, huatacay, ortiga, papaya arequipeña, etc.). (Jimenez et al., 2006)

4.3.2 POTENCIAL DEL CULTIVO

La papaya arequipeña o de montaña, es nativa de América del Sur y ampliamente distribuida geográficamente sobre los Andes, cubriendo el oeste y el este de las laderas y valles interandinos desde Colombia hasta Bolivia. (Moya-León et al., 2004). La papaya cultivada en Arequipa-Perú pertenece a la familia Caricaceae y corresponde a *Vasconcellea pubens* (sinónimos de *Vasconcellea cundinamarcensis*, *Carica pubescens*, inicialmente llamada *C. candamarcensis*) (Van Droogenbroeck et al., 2002), es una especie dicotiledónea diploide ($2n=2x=18$). Nativo de las montañas andinas subtropicales de América del Sur, en particular de áreas de bosque de montaña seca baja en Colombia y Ecuador (2000 a 3000 m de altitud. Ecuador, tiene 15 de las 21 especies de *Vasconcellea*, es un centro de biodiversidad genética (Letelier et al., 2020).

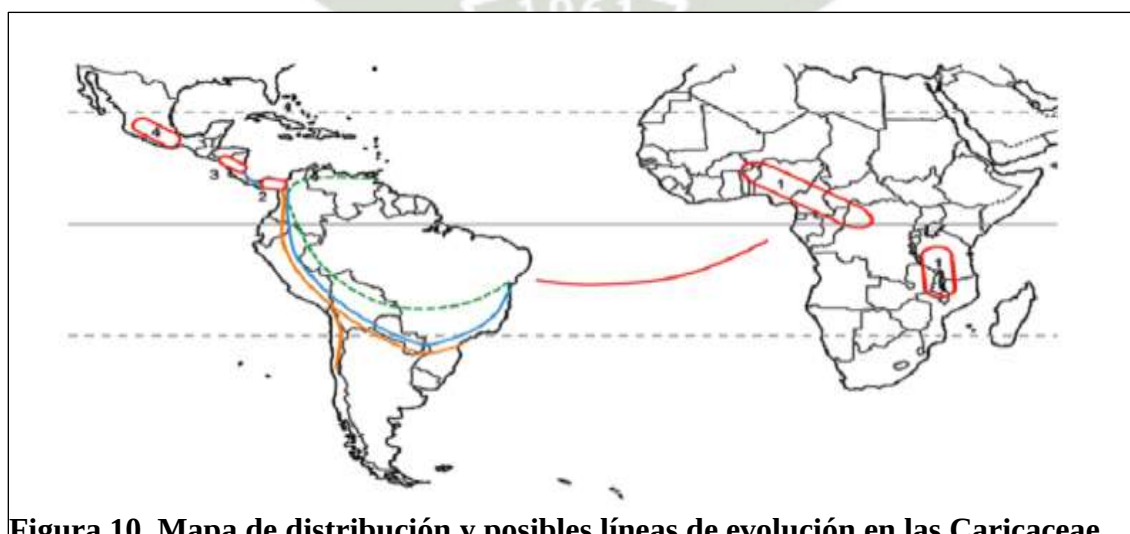


Figura 10. Mapa de distribución y posibles líneas de evolución en las Caricaceae

1. *Cylicomorpha*; 2. *Carica*; 3. *Horovitzia*; 4. *Jarilla*; 5. *Vasconcellea* (región entre las líneas discontinuas verdes y azules); 6. *Jacaratia* (líneas naranjas). La línea continua representa la llegada ancestral de África

La papaya de montaña es una planta arborescente que alcanza de 1 a 8 m de alto, con un tallo central y hojas palmeadas con peciolo largos en la parte superior (Figura 1). La mayoría de las plantas individuales son dioicas, pero una amplia gama de fenotipos hermafroditas es posible identificarse en el campo, por lo que formalmente es una especie sub-dioica con tres fenotipos sexuales: femenino, masculino y hermafrodita (Badillo & Leal, 2020).

V. pubescens presenta un caso andromonoico, donde se observa bisexualidad en plantas masculinas, con una alta proporción de flores masculinas y hermafroditas. Las flores bisexuales son masculinas y flores con óvulos viables que conducen a la producción de pequeñas frutas. El sexo de *V. pubescens* es determinado por dos factores, el cromosoma Ypm y pm factor citoplasmático, que son cromosomas sexuales primitivos y un modelo para la determinación de la evolución sexual. El modo reproductivo es a través de semillas, tardando entre 10 y 12 meses alcanzar la edad reproductiva y mantenido durante 5 años en condiciones de escala comercial. Entonces, las plantas producen progresivamente menos fruta y de menor calidad, sin embargo, se encuentran plantas mayores de 20 años. El árbol de papaya de montaña muestra un crecimiento lento, con una producción continua de flores y hojas, es sensible al frío, el tallo y las hojas pueden verse afectado lo que conlleva a la muerte completa cuando las temperaturas bajan a los 2°C; incluso la maduración de la fruta puede verse afectado por el frío. (Paniagua-Zambrana et al., 2020)

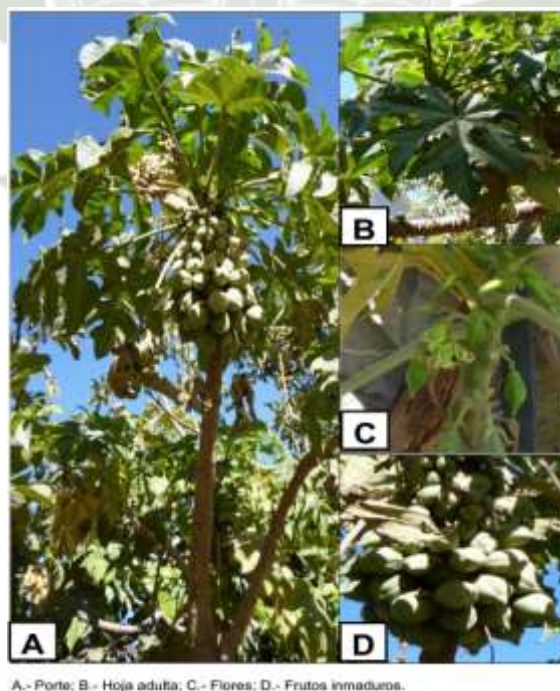


Figura 11. Partes de la planta completa de *Vasconcellea pubescens* A.DC. “Papaya Arequipeña o Papaya de altura”

La fruta es más pequeña que C. papaya, la piel es verde y se torna amarilla durante la maduración, la carne es amarilla, y la masa de semillas está encerrada en la cavidad central de la fruta. La fruta tiene un fuerte aroma característico. Se caracteriza por un alto contenido de papaína y, la fruta madura se utiliza para hacer conservas y bebidas. Por su contenido de papaína se utiliza en la industria farmacológica (para tratar arterioesclerosis) y como ablandador de carne, el fruto se ha clasificado como climatérico (Paniagua-Zambrana et al., 2020)

4.3.3 ESTRATEGIAS PARA AUMENTAR SU VALORACIÓN

Existen muchos retos que se debe enfrentar para poder convertir los cultivos subutilizados en cultivos de mayor importancia desde nuestro punto de vista establecemos algunas estrategias que puedan aumentar una mayor valoración de la “papaya arequipeña o papaya de altura”.

Aumento de conocimientos y documentación

Se debe motivar el incremento de investigación, la cual debe enfocarse principalmente en estudios de distribución, biología, cultivo, mejoramiento genético, uso, etc.; rescatando además la información de los conocimientos campesinos locales.

En cuanto documentación están se ha observado el crecimiento de iniciativas colaborativas nacionales para recopilar información existente y hacerla disponible en el internet multiplicando su posible uso y distribución.

Así mismo la iniciativa planteada se verá fortalecida con el establecimiento de un banco de germoplasma para el desarrollo de catálogos y/o bases de datos con el fin de facilitar a los programas de mejoramiento el acceso a la información sobre el material disponible.

Las publicaciones de estudios etnobotánicos, distribución de recetarios está última es considerada un instrumento de creciente importancia.

Experiencias sobre posibilidades de procesamiento

Ampliar la gama de diferentes productos procesados, de alta calidad derivados de la papaya arequipeña o de altura, permitirá no sólo darle un valor agregado, sino que además podría aumentar la demanda. A través de cursos de capacitación y talleres se llegará a profesionales y miembros de comunidades locales para fortalecer capacidades. Así mismo es importante obtener un producto estandarizado, para ello se deberá definir las normas de calidad.

Comercialización organizada

Optimizar la organización de los sistemas de comercialización e interior de la cadena desde el productor hasta el consumidor. Sin el establecimiento de sistemas bien organizados, el uso de la producción, aunque de alta calidad quedara marginal.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

- La revisión sistemática y el metaanálisis identificaron que frutales como la pitahaya (*Hylocereus undatus*), el banano (*Musa spp.*), y la manzana (*Malus domestica*) responden favorablemente a la biofortificación. Por ejemplo, la pitahaya tratada con nanoselenio mostró un incremento significativo en la acumulación de ácidos fenólicos (169-942%), fenoles totales (157%), flavonoides totales (295%) y betacianinas (341%), mejorando así su valor nutricional y vida útil. En el caso del banano, la inyección de soluciones de $ZnSO_4$ en el pseudotallo triplicó el contenido de Zn en los frutos, alcanzando niveles suficientes para cubrir el 100% de la dosis diaria recomendada (CDR) para niños de 1 a 3 años con el consumo de tres plátanos biofortificados por día.
- La biofortificación agronómica en frutales ha demostrado ser una estrategia eficaz para aumentar la concentración de micronutrientes esenciales como el zinc (Zn), selenio (Se), y hierro (Fe) en los frutos. El metaanálisis realizado muestra un efecto significativo de la biofortificación, con un valor combinado del tamaño del efecto "g" de Hedges de 5.13 (IC 95%: 3.83 - 6.43), lo que indica un impacto considerablemente positivo en la concentración de micronutrientes en los frutales biofortificados.
- Los cultivos subutilizados, como la papaya arequipeña (*Vasconcellea pubescens*), tienen un gran potencial para ser incluidos en estrategias de biofortificación. La investigación ha demostrado que estos cultivos pueden mejorar significativamente el estado nutricional de la población local, particularmente en la Región Arequipa. Por ejemplo, la papaya arequipeña, a través de programas de mejoramiento genético y técnicas de biofortificación, podría convertirse en una fuente importante de micronutrientes como la vitamina C y el β -caroteno.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Continuar la investigación y optimización de las técnicas de biofortificación agronómica para frutales. Dado que se ha identificado una variabilidad en la efectividad de estas técnicas según las condiciones de cultivo y las características del suelo, es crucial desarrollar guías específicas que maximicen la absorción de micronutrientes en diferentes contextos agrícolas. Se recomienda la colaboración entre instituciones de investigación, gobiernos y organizaciones agrícolas para estandarizar y mejorar las prácticas de biofortificación.
- Basado en la demostrada eficacia de la biofortificación agronómica en aumentar la concentración de micronutrientes en frutales, se recomienda establecer programas regionales y nacionales para implementar esta estrategia. Estos programas deben enfocarse en frutales como la pitahaya, el banano y la manzana, los cuales han mostrado incrementos significativos en la concentración de micronutrientes esenciales como zinc, selenio y yodo. Es fundamental capacitar a los agricultores en la aplicación de fertilizantes específicos y técnicas de biofortificación para asegurar la efectividad del proceso.
- Promover la investigación y el cultivo de especies subutilizadas como la papaya arequipeña, que han demostrado un alto potencial para mejorar la nutrición de la población. Se recomienda implementar programas de mejoramiento genético y prácticas de biofortificación en estos cultivos para incrementar su contenido de micronutrientes. Además, se deben desarrollar estrategias de mercado para fomentar su consumo y producción a nivel regional.

Referencias Bibliográficas

- Adelabu, D. B., & Franke, A. (2022). *Scientometric analysis of seed improvement in underutilized crops: Prospects for enhancing food security*.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1313735/v1>
- Adrees, M., Khan, Z. S., Hafeez, M., Rizwan, M., Hussain, K., Asrar, M., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Ali, S. (2021). La exposición foliar a nanopartículas de óxido de zinc mejoró el crecimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.) y disminuyó la concentración de cadmio en granos bajo estrés simultáneo por deficiencia de cadmio y agua. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111627.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111627>
- Advaita, N., Lestari, R. G., Aidid, K. U., & Sasongko, H. (2018). *In vitro evaluation of sun protection factor of Vasconcellea pubescens fruit extract*.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/12324>
- Anggraeni, T., & Laela, N. (2020). The potency of carica (*Carica pubescens* Lenne & K. Koch) seed extract as repellent agent against mosquito vector of dengue (*Aedes aegypti* Linn.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 468, 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012011>
- Anzures-Cabrera, J., & Higgins, J. P. T. (2010). Graphical displays for meta-analysis: An overview with suggestions for practice. *Research Synthesis Methods*, 1(1), 66-80.
<https://doi.org/10.1002/jrsm.6>
- Athar, T., Khan, M. K., Pandey, A., Yilmaz, F. G., Hamurcu, M., Hakki, E. E., & Gezgin, S. (2020). Biofortification and the involved modern approaches. *Journal of Elementology*, 25(2). <https://doi.org/10.5601/jelem.2020.25.1.1911>
- Azam-Ali, S., Sesay, A., Karikari, S., Massawe, F., Aguilar-Manjarrez, J., Bannayan, M., & Hampson, K. (2001). ASSESSING THE POTENTIAL OF AN UNDERUTILIZED CROP – A CASE STUDY USING BAMBARA GROUNDNUT. *Experimental Agriculture*, 37, 433-472. <https://doi.org/10.1017/S0014479701000412>
- BABALAR, M., ZAMANI, Z., & ASKARI, S. M. A. (2019). *Influence of canopy spraying with sodium selenate on selenium biofortification and fruit quality maintenance of 'Starking Delicious' apple during storage*. <https://www.sid.ir/paper/148176/en>

- Badillo, V. M., & Leal, F. (2020). Taxonomy and Botany of the Caricaceae. En I. Warrington (Ed.), *Horticultural Reviews* (1.^a ed., pp. 289-323). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119625407.ch6>
- Baeza, G., Correa, D., & Salas, C. (1990). Proteolytic enzymes in *Carica candamarcensis*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 51(1), 1-9.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740510102>
- Borenstein, M. (Ed.). (2013). *Introduction to meta-analysis* (Nachdr.). Wiley.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2010). A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis. *Research Synthesis Methods*, 1(2), 97-111. <https://doi.org/10.1002/jrsm.12>
- Bouis, H. E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J. V., & Pfeiffer, W. H. (2011). Biofortification: A New Tool to Reduce Micronutrient Malnutrition. *Food and Nutrition Bulletin*, 32(1_suppl1), S31-S40.
<https://doi.org/10.1177/15648265110321S105>
- Bouis, H. E., & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, 49-58.
<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009>
- Boyer, J., & Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal*, 3(1), 5. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-3-5>
- Budke, C., Dierend, W., Schön, H.-G., Hora, K., Mühling, K. H., & Daum, D. (2021a). Iodine Biofortification of Apples and Pears in an Orchard Using Foliar Sprays of Different Composition. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.638671>
- Budke, C., Dierend, W., Schön, H.-G., Hora, K., Mühling, K. H., & Daum, D. (2021b). Iodine Biofortification of Apples and Pears in an Orchard Using Foliar Sprays of Different Composition. *Frontiers in Plant Science*, 12, 638671.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.638671>
- Budke, C., thor Straten, S., Mühling, K. H., Broll, G., & Daum, D. (2020). Iodine biofortification of field-grown strawberries – Approaches and their limitations. *Scientia Horticulturae*, 269, 109317. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109317>

- Budke, C., Thor Straten, S., Mühling, K. H., Broll, G., & Daum, D. (2020). Iodine biofortification of field-grown strawberries – Approaches and their limitations. *Scientia Horticulturae*, 269, 109317. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109317>
- Cheng, A., Chai, H., Ho, W. K., Bamba, A. S. A., Feldman, A., Kendabie, P., Halim, R., Tanzi, A., Mayes, S., & Massawe, F. (2017). *Molecular Marker Technology for Genetic Improvement of Underutilised Crops*. 47-70. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65079-1_3
- Chivenge, P., Mabhaudhi, T., Modi, A. T., & Mafongoya, P. (2015). The Potential Role of Neglected and Underutilised Crop Species as Future Crops under Water Scarce Conditions in Sub-Saharan Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/ijerph120605685>
- Churchill, A. C. L. (2011). *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: Progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. *Molecular Plant Pathology*, 12(4), 307-328. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00672.x>
- Coaguila, C. A. C. (s. f.). *FRENTE A BACTERIAS PATÓGENAS*. 83.
- Dansi, A., Vodouhè, R., Azokpota, P., Yedomonhan, H., Assogba, P., Adjatin, A., Loko, Y. L., Dossou-Aminon, I., & Akpagana, K. (2012). Diversity of the Neglected and Underutilized Crop Species of Importance in Benin. *The Scientific World Journal*, 2012(1), 932947. <https://doi.org/10.1100/2012/932947>
- Díaz-Gómez, J., Twyman, R. M., Zhu, C., Farré, G., Serrano, J. C., Portero-Otin, M., Muñoz, P., Sandmann, G., Capell, T., & Christou, P. (2017). Biofortification of crops with nutrients: Factors affecting utilization and storage. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.12.002>
- Dijkers, M. (2013). Introducing GRADE: A systematic approach to rating evidence in systematic reviews and to guideline development. *KT Update*, 1(5), 1-9. https://ktdrr.org/products/update/v1n5/dijkers_grade_ktupdatev1n5.pdf
- Ding, X., Zhu, X., Zheng, W., Li, F., Xiao, S., & Duan, X. (2021). BTH Treatment Delays the Senescence of Postharvest Pitaya Fruit in Relation to Enhancing Antioxidant System and Phenylpropanoid Pathway. *Foods*, 10(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/foods10040846>

- Edwards, R. L., Lyon, T., Litwin, S. E., Rabovsky, A., Symons, J. D., & Jalili, T. (2007). Quercetin Reduces Blood Pressure in Hypertensive Subjects. *The Journal of Nutrition*, 137(11), 2405-2411. <https://doi.org/10.1093/jn/137.11.2405>
- Ellenberg, S. S. (1988). Meta-analysis: The quantitative approach to research review. *Seminars in Oncology*, 15(5), 472-481.
- FAO. (2019). *Safeguarding against economic slowdowns and downturns*.
- Galbraith, R. F. (1994). Some Applications of Radial Plots. *Journal of the American Statistical Association*, 89(428), 1232-1242. <https://doi.org/10.1080/01621459.1994.10476864>
- Galluzzi, G., & Noriega, I. (2014). Conservation and Use of Genetic Resources of Underutilized Crops in the Americas—A Continental Analysis. *Sustainability*, 6, 980-1017. <https://doi.org/10.3390/SU6020980>
- Garg, M., Sharma, N., Sharma, S., Kapoor, P., Kumar, A., Chunduri, V., & Arora, P. (2018). Biofortified Crops Generated by Breeding, Agronomy, and Transgenic Approaches Are Improving Lives of Millions of People around the World. *Frontiers in Nutrition*, 5. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00012>
- Groth, S., Budke, C., Weber, T., Oest, M., Brockmann, S., Holz, M., Daum, D., & Rohn, S. (2021a). Biofortificación con selenio de diferentes variedades de manzanas (*Malus domestica*) – Influencia sobre el contenido de proteínas y las proteínas alergénicas Mal d 1 y Mal d 3. *Food Chemistry*, 362, 130134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130134>
- Groth, S., Budke, C., Weber, T., Oest, M., Brockmann, S., Holz, M., Daum, D., & Rohn, S. (2021b). Selenium biofortification of different varieties of apples (*Malus domestica*) – Influence on protein content and the allergenic proteins Mal d 1 and Mal d 3. *Food Chemistry*, 362, 130134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130134>
- Gurevitch, J., Koricheva, J., Nakagawa, S., & Stewart, G. (2018). Meta-analysis and the science of research synthesis. *Nature*, 555(7695), 175-182. <https://doi.org/10.1038/nature25753>
- Guyatt, G. H., Oxman, A. D., Vist, G. E., Kunz, R., Falck-Ytter, Y., Alonso-Coello, P., & Schünemann, H. J. (2008). GRADE: An emerging consensus on rating quality of

evidence and strength of recommendations. *Bmj*, 336(7650), 924-926.

<https://www.bmj.com/content/336/7650/924.short>

Hedges, L. V., & Olkin, I. (1985). *Statistical Methods for Meta-Analysis*. Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/C2009-0-03396-0>

Hernández, E., Carlos, N., Inostroza, L., Bautista, N., Byrne, R., Alencastre, A., Peña, M., & Sueros, S. (2014). EVALUACIÓN QUÍMICA Y TECNOLÓGICO-NUTRICIONAL DE “PAPAYA DE ALTURA” (*Carica pubescens*). *Ciencia e Investigación*, 17(2), Article 2. <https://doi.org/10.15381/ci.v17i2.13595>

Higgins, J., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., Welch, V. A., & Cochrane Collaboration (Eds.). (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions* (Second edition). Wiley Blackwell.

Huang, S., Wang, P., Yamaji, N., & Ma, J. F. (2020). Plant Nutrition for Human Nutrition: Hints from Rice Research and Future Perspectives. *Molecular Plant*, 13(6), 825-835. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2020.05.007>

Jalal, A., Shah, S., Teixeira Filho, M., Khan, A., Shah, S., Ilyas, M., & Rosa, P. A. (2020). Agro-Biofortification of Zinc and Iron in Wheat Grains Agronomische Biofortifikation von Zink und Eisen in Weizenkörnern. *Gesunde Pflanzen*, 72. <https://doi.org/10.1007/s10343-020-00505-7>

Jimenez, P. C., Villasante, J. F., Talavera, B. C., & Villegas, L. N. (2006). Ecosistemas de Arequipa. Oferta Ambiental y Desarrollo Sostenible. *Zonas Áridas*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.21704/za.v7i1.721>

K, P. (2022). Technological, Processing and Nutritional Aspects of Banana and Plantain: A Review. *Food Science & Nutrition Technology*. <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000284>

Kang, H. (2015). Statistical Considerations in Meta-Analysis. *Hanyang Medical Reviews*, 35(1), 23-32. <https://doi.org/10.7599/hmr.2015.35.1.23>

Kang, H. (2016). How to understand and conduct evidence-based medicine. *Korean journal of anesthesiology*, 69(5), 435-445. <https://synapse.koreamed.org/articles/1156263>

- Karunaratne, A., Walker, S., & Azam-Ali, S. (2015). Assessing the productivity and resource-use efficiency of underutilised crops: Towards an integrative system. *Agricultural Water Management*, 147, 129-134. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2014.08.002>
- Katoch, R. (2020). Underutilized Crops: An Overview. En R. Katoch (Ed.), *Ricebean: Exploiting the Nutritional Potential of an Underutilized Legume* (pp. 1-27). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5293-9_1
- Kim, H., Choi, H., Moon, J. Y., Kim, Y. S., Mosaddik, A., & Cho, S. K. (2011). Comparative Antioxidant and Antiproliferative Activities of Red and White Pitayas and Their Correlation with Flavonoid and Polyphenol Content. *Journal of Food Science*, 76(1). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01908.x>
- Letelier, L., Gaete-Eastman, C., Peñailillo, P., Moya-León, M. A., & Herrera, R. (2020). Southern Species From the Biodiversity Hotspot of Central Chile: A Source of Color, Aroma, and Metabolites for Global Agriculture and Food Industry in a Scenario of Climate Change. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1002. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01002>
- Liberati: G0tzsche PC, Ioannidis JP, et al. The PRISMA... - Google Académico.* (s. f.). Recuperado 26 de junio de 2024, de https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=J+Clin+Epidemiol&title=The+PRISMA+statement+for+reporting+systematic+reviews+and+meta-analyses+of+studies+that+evaluate+health+care+interventions:+explanation+and+elaboration&author=A+Liberati&author=DG+Altman&author=J+Tetzlaff&author=C+Mulrow&author=PC+G%C3%B8tzsche&volume=62&publication_year=2009&pages=e1-34&pmid=19631507&
- Lin, Z., Zhou, P., Ma, X., Deng, Y., Liao, Z., Li, R., & Ming, R. (2020). Comparative analysis of chloroplast genomes in *Vasconcellea pubescens* A.DC. and *Carica papaya* L. *Scientific Reports*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72769-y>
- Lu, J., Shao, G., Gao, Y., Zhang, K., Wei, Q., & Cheng, J. (2021). Effects of water deficit combined with soil texture, soil bulk density and tomato variety on tomato fruit quality: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 243, 106427. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420309276?casa_token=7

kAobNhB2sMAAAAAA:cK2oXTsw1KGHAwMY72ysNpfTmc6w0ghrsW-
2MluW0TU1mND58Tp0AKfXJu38RkypUxJjyJ0Kg9rEEw

Lüdecke, D. (2019). *esc: Effect Size Computation for Meta Analysis* (0.5.1) [Software].
<https://cran.r-project.org/web/packages/esc/index.html>

Ma, D., Yin, L., Ju, W., Li, X., Liu, X., Deng, X., & Wang, S. (2021). Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crops Research*, 266, 108146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108146>

Manojlović, M. S., Lončarić, Z., Cabilovski, R. R., Popović, B., Karalić, K., Ivezić, V., Ademi, A., & Singh, B. R. (2019). Biofortification of wheat cultivars with selenium. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 69(8), 715-724. <https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1645204>

Marriott, J., Robinson, M., & Karikari, S. K. (1981). Starch and sugar transformation during the ripening of plantains and bananas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32, 1021-1026. <https://doi.org/10.1002/JSFA.2740321011>

Mayes, S., Massawe, F. J., Alderson, P. G., Roberts, J. A., Azam-Ali, S. N., & Hermann, M. (2012). The potential for underutilized crops to improve security of food production. *Journal of Experimental Botany*, 63(3), 1075-1079. <https://doi.org/10.1093/jxb/err396>

Mayorquín Guevara, J. E., Sanches, A. G., Pedrosa, V. M. D., Cruz, M. C. P. da, Silva, J. A. A. da, & Teixeira, G. H. de A. (2021a). The injection of zinc sulfate into banana tree pseudostem can triple the zinc content and it is an effective method for fruit biofortification. *Journal of Food Composition and Analysis*, 102, 104020. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104020>

Mayorquín Guevara, J. E., Sanches, A. G., Pedrosa, V. M. D., Cruz, M. C. P. da, Silva, J. A. A. da, & Teixeira, G. H. de A. (2021b). The injection of zinc sulfate into banana tree pseudostem can triple the zinc content and it is an effective method for fruit biofortification. *Journal of Food Composition and Analysis*, 102, 104020. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104020>

Moher, D., Cook, D. J., Eastwood, S., Olkin, I., Rennie, D., & Stroup, D. F. (1999). Improving the quality of reports of meta-analyses of randomised controlled trials: The QUOROM statement. *The Lancet*, 354(9193), 1896-1900. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)04149-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)04149-5)

- Moya-León, M. A., Moya, M., & Herrera, R. (2004). Ripening of mountain papaya (*Vasconcellea pubescens*) and ethylene dependence of some ripening events. *Postharvest Biology and Technology*, 34(2), 211-218.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.05.005>
- Muthamilarasan, M., Singh, N. K., & Prasad, M. (2019). Multi-omics approaches for strategic improvement of stress tolerance in underutilized crop species: A climate change perspective. En *Advances in Genetics* (Vol. 103, pp. 1-38). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2019.01.001>
- Newman, R. G., Moon, Y., Sams, C. E., Tou, J. C., & Waterland, N. L. (2021). Biofortification of Sodium Selenate Improves Dietary Mineral Contents and Antioxidant Capacity of Culinary Herb Microgreens. *Frontiers in Plant Science*, 12.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.716437>
- Nkebiwe, P. M., Weinmann, M., Bar-Tal, A., & Müller, T. (2016). Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field Crops Research*, 196, 389-401. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.018>
- Noriega, P., Calero, D., Larenas, C., Maldonado, M. E., & Vita Finzi, P. (2014). *COMPONENTES VOLÁTILES DE LOS FRUTOS DE Vasconcellea pubescens A. DC. y Passiflora tripartita var. Mollissima (KUNTH) USANDO LA METODOLOGÍA HS-SPME-GC/MS*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8847>
- Oh, M. S., Chen, Z., Jahanshiri, E., Isa, D., & Wong, Y. W. (2020). An economic feasibility assessment framework for underutilised crops using Support Vector Machine. *Comput. Electron. Agric.*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105116>
- Organization, W. H. (2003). Promoting fruit and vegetable consumption around the world. *Geneva, Switzerland: WHO*.
- Padovani, R. M., Amaya-Farfán, J., Colugnati, F. A. B., & Domene, S. M. Á. (2006). Dietary reference intakes: Aplicabilidade das tabelas em estudos nutricionais. *Revista de Nutrição*, 19, 741-760. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000600010>
- Paniagua-Zambrana, N. Y., Bussmann, R. W., & Romero, C. (2020). Carica papaya L. *Vasconcellea pubescens* A. DC. Caricaceae. En N. Y. Paniagua-Zambrana & R. W. Bussmann (Eds.), *Ethnobotany of the Andes* (pp. 1-10). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77093-2_57-1

- Paško, P., Galanty, A., Zagrodzki, P., Ku, Y. G., Luksirikul, P., Weisz, M., & Gorinstein, S. (2021). Bioactivity and cytotoxicity of different species of pitaya fruits – A comparative study with advanced chemometric analysis. *Food Bioscience*, 40, 100888. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100888>
- Paško, P., Galanty, A., Zagrodzki, P., Luksirikul, P., Barasch, D., Nemirovski, A., & Gorinstein, S. (2021). Dragon Fruits as a Reservoir of Natural Polyphenolics with Chemopreventive Properties. *Molecules*, 26(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/molecules26082158>
- Pilati, S., Perazzolli, M., Malossini, A., Cestaro, A., Demattè, L., Fontana, P., Dal Ri, A., Viola, R., Velasco, R., & Moser, C. (2007). Genome-wide transcriptional analysis of grapevine berry ripening reveals a set of genes similarly modulated during three seasons and the occurrence of an oxidative burst at véraison. *BMC Genomics*, 8(1), 428. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-8-428>
- Pinto, M. D. S., Ranilla, L. G., Apostolidis, E., Lajolo, F. M., Genovese, M. I., & Shetty, K. (2009). Evaluation of Antihyperglycemia and Antihypertension Potential of Native Peruvian Fruits Using *In Vitro* Models. *Journal of Medicinal Food*, 12(2), 278-291. <https://doi.org/10.1089/jmf.2008.0113>
- Praharaj, S., Skalicky, M., Maitra, S., Bhadra, P., Shankar, T., Brestic, M., Hejnak, V., Vachova, P., & Hossain, A. (2021). Zinc Biofortification in Food Crops Could Alleviate the Zinc Malnutrition in Human Health. *Molecules*, 26(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/molecules26123509>
- Prom-u-thai, C., Rashid, A., Ram, H., Zou, C., Guilherme, L. R. G., Corguinha, A. P. B., Guo, S., Kaur, C., Naeem, A., Yamuangmorn, S., Ashraf, M. Y., Sohu, V. S., Zhang, Y., Martins, F. A. D., Jumrus, S., Tutus, Y., Yazici, M. A., & Cakmak, I. (2020). Simultaneous Biofortification of Rice With Zinc, Iodine, Iron and Selenium Through Foliar Treatment of a Micronutrient Cocktail in Five Countries. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.589835>
- Puccinelli, M., Landi, M., Maggini, R., Pardossi, A., & Incrocci, L. (2021). Iodine biofortification of sweet basil and lettuce grown in two hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, 276, 109783. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109783>

- Puccinelli, M., Malorgio, F., Maggini, R., Rosellini, I., & Pezzarossa, B. (2019). Biofortification of *Ocimum basilicum* L. plants with selenium. *Acta Horticulturae*, 1242, 663-670. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1242.98>
- Pushpangadan, P., Kaur, J., & Sharma, J. (1989). PLANTAIN OR EDIBLE BANANA (MUSA X PARADISICA VAR – SAPIEMTUM) SOME LESSER KNOWN FOLK USES IN INDIA. *Ancient Science of Life*, 9, 20-24. <https://consensus.app/papers/plantain-edible-banana-musa-paradisica-sapiemtum-some-pushpangadan/e5d7d7f94ae45246ba4fd93696669d43/>
- R Project for Statistical Computing. (2023). *R: The R Project for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- Repo de Carrasco, R., & Encina Zelada, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 108-124.
- Saltzman, A., Birol, E., Bouis, H. E., Boy, E., De Moura, F. F., Islam, Y., & Pfeiffer, W. H. (2013). Biofortification: Progress toward a more nourishing future. *Global Food Security*, 2(1), 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2012.12.003>
- Sasongko, H., Widiasih, P., & Putri, N. L. (2019). Antipyretic properties of carica (*Vasconcellea pubescens* A.DC.) fruit and seeds ethanolic extract in experimental animals. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 578, 012044. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/578/1/012044>
- Scheldeman, X., Kyndt, T., d'Eeckenbrugge, G. C., Ming, R., Drew, R., Van Droogenbroeck, B., Van Damme, P., & Moore, P. H. (2011). *Vasconcellea*. En C. Kole (Ed.), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources* (pp. 213-249). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20447-0_11
- Sharififar, A., Ghorbani, H., & Sarmadian, F. (2016). Soil suitability evaluation for crop selection using fuzzy sets methodology. *Acta Agriculturae Slovenica*, 107, 159-174. <https://doi.org/10.14720/AAS.2016.107.1.16>
- Sharma, R., Bakshi, P., Kumar, R., Sharma, A., THAKUR, N., KUMAR, V., & GHEWARE, K. M. (2023). Enhancing nutritional value in fruit crops through biofortification: A comprehensive review. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 93(11), 1167-1174. <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAgS/article/view/140995>

- Sheoran, S., Kumar, S., Ramtekey, V., Kar, P., Meena, R. S., & Jangir, C. K. (2022). Current Status and Potential of Biofortification to Enhance Crop Nutritional Quality: An Overview. *Sustainability*, 14(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/su14063301>
- Skrypnik, L., Novikova, A., & Tokupova, E. (2019). Improvement of Phenolic Compounds, Essential Oil Content and Antioxidant Properties of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) Depending on Type and Concentration of Selenium Application. *Plants*, 8(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/plants8110458>
- Stewart, L. A., Clarke, M., Rovers, M., Riley, R. D., Simmonds, M., Stewart, G., & Tierney, J. F. (2015). Preferred reporting items for a systematic review and meta-analysis of individual participant data: The PRISMA-IPD statement. *Jama*, 313(16), 1657-1665. <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/2279718>
- Tagliavini, M., Abadía, J., Rombolà, A. D., Abadía, A., Tsipouridis, C., & Marangoni, B. (2000). Agronomic means for the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees. *Journal of Plant Nutrition*, 23(11-12), 2007-2022. <https://doi.org/10.1080/01904160009382161>
- Tyagi, R. K., Pandey, A., Ks, V., Rs, P., & Khetarpal, R. K. (2018). *Proceedings and Recommendations of 'Regional Expert Consultation on Underutilized Crops for Food and Nutritional Security in Asia and the Pacific (RESEARCH)*. Regional Expert Consultation on Underutilized Crops for Food and Nutritional Security in Asia and the Pacific. World Vegetable Center; Asia-Pacific Association of Agricultural Research Institutions (APAARI). <https://doi.org/10.22001/wvc.66356>
- Uetani, K., Nakayama, T., Ikai, H., Yonemoto, N., & Moher, D. (2009). Quality of Reports on Randomized Controlled Trials Conducted in Japan: Evaluation of Adherence to the CONSORT Statement. *Internal Medicine*, 48(5), 307-313. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.48.1358>
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Van Droogenbroeck, B., Breyne, P., Goetghebeur, P., Romeijn-Peeters, E., Kyndt, T., & Gheysen, G. (2002). AFLP analysis of genetic relationships among papaya and its

- wild relatives (Caricaceae) from Ecuador. *Theoretical and Applied Genetics*, 105(2), 289-297. <https://doi.org/10.1007/s00122-002-0983-4>
- Viechtbauer, W. (2010). Conducting Meta-Analyses in R with the metafor Package. *Journal of Statistical Software*, 36, 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v036.i03>
- Viechtbauer, W. (2024). *metafor: Meta-Analysis Package for R* (4.6-0) [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/metafor/index.html>
- Viechtbauer, W., López-López, J. A., Sánchez-Meca, J., & Marín-Martínez, F. (2015). A comparison of procedures to test for moderators in mixed-effects meta-regression models. *Psychological Methods*, 20(3), 360-374. <https://doi.org/10.1037/met0000023>
- Willis, B. H., & Quigley, M. (2011). The assessment of the quality of reporting of meta-analyses in diagnostic research: A systematic review. *BMC Medical Research Methodology*, 11(1), 163. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-163>
- Wilson, D. B. (2017). *Formulas Used by the “Practical Meta-Analysis Effect Size Calculator”*. George Mason University. <https://mason.gmu.edu/~dwilsonb/downloads/esformulas.pdf>
- Wójcik, P. (2023a). Effects of preharvest sprays of iodine, selenium and calcium on apple biofortification and their quality and storability. *PLOS ONE*, 18(3), e0282873. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282873>
- Wójcik, P. (2023b). Effects of preharvest sprays of iodine, selenium and calcium on apple biofortification and their quality and storability. *PLOS ONE*, 18(3), e0282873. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282873>
- Yu, H., Miao, P., Li, D., Wu, Y., Zhou, C., & Pan, C. (2023a). Improving red pitaya fruit quality by nano-selenium biofortification to enhance phenylpropanoid and betalain biosynthesis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 267, 115653. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115653>
- Yu, H., Miao, P., Li, D., Wu, Y., Zhou, C., & Pan, C. (2023b). Improving red pitaya fruit quality by nano-selenium biofortification to enhance phenylpropanoid and betalain biosynthesis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 267, 115653. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115653>

Zheng, X., Chen, H., Su, Q., Wang, C., Sha, G., Ma, C., Sun, Z., Yang, X., Li, X., & Tian, Y.
(2021). Resveratrol improves the iron deficiency adaptation of *Malus baccata*
seedlings by regulating iron absorption. *BMC Plant Biology*, 21(1), 433.
<https://doi.org/10.1186/s12870-021-03215-y>

Zhu, C., Naqvi, S., Gomez-Galera, S., Pelacho, A. M., Capell, T., & Christou, P. (2007).
Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants. *Trends in Plant
Science*, 12(12), Article 12. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.09.007>

