



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**NORMAS PRELIMINARES DRIS Y NUTRIENTES LIMITANTES PARA EL
CULTIVO DE PITAHAYA ROJA EN ECUADOR**

**LOAYZA ZAMBRANO EBERT STALIN
INGENIERO AGRONOMO**

**CUENCA SAQUICARAY ERICK FERNANDO
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**NORMAS PRELIMINARES DRIS Y NUTRIENTES LIMITANTES
PARA EL CULTIVO DE PITAHAYA ROJA EN ECUADOR**

**LOAYZA ZAMBRANO EBERT STALIN
INGENIERO AGRONOMO**

**CUENCA SAQUICARAY ERICK FERNANDO
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**NORMAS PRELIMINARES DRIS Y NUTRIENTES LIMITANTES
PARA EL CULTIVO DE PITAHAYA ROJA EN ECUADOR**

**LOAYZA ZAMBRANO EBERT STALIN
INGENIERO AGRONOMO**

**CUENCA SAQUICARAY ERICK FERNANDO
INGENIERO AGRONOMO**

VILLASEÑOR ORTIZ DIEGO RICARDO

**MACHALA
2024**



DRIS_Pitahaya_sinreferencia

3%
Textos sospechosos



< 1% **Similitudes**
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
3% **Idiomas no reconocidos**

Nombre del documento: DRIS_Pitahaya_sinreferencia.docx
ID del documento: 9a56e375674fe32e67dc6bc62493b8e0ffb3b501
Tamaño del documento original: 46,87 kB
Autores: []

Depositante: FLOR YELENA VEGA JARAMILLO
Fecha de depósito: 20/2/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 20/2/2025

Número de palabras: 6590
Número de caracteres: 45.213

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.espe.edu.ec http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/24801/1/T-IASA I-005603.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
2	scielo.org.co Efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B sobre la acumulación y d... http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732016000100004	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

Puntos de interés

Agradecimiento

A Dios, por guiarnos en cada paso de este camino, brindándonos sabiduría, fortaleza y la luz necesaria en los momentos de mayor dificultad. Su presencia ha sido nuestra mayor inspiración, dándonos la fuerza para superar cada obstáculo y avanzar con determinación hasta la culminación de este trabajo de grado.

A nuestros padres, cuya entrega incondicional, sacrificio y amor han sido el pilar más firme en nuestra formación. Gracias por su apoyo constante, por creer en nosotros incluso en los momentos de duda, por alentarnos a seguir adelante con valentía y por enseñarnos el valor del esfuerzo y la perseverancia. Sin su dedicación y confianza, este logro no habría sido posible.

A nuestros familiares y amigos, por su compañía, palabras de aliento y comprensión en cada etapa de este proceso. Su respaldo emocional, su paciencia en los momentos de ausencia y su fe en nuestro crecimiento han sido un motor invaluable para alcanzar esta meta.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a los ingenieros Diego Villaseñor Ortiz, Eduardo Luna Romero y Salomón Barrezuela Hunda, así como a todos los docentes que han contribuido a lo largo de nuestra carrera. Su invaluable orientación, dedicación y rigurosas correcciones enriquecieron significativamente la calidad de esta investigación.

A todos ustedes, nuestro más profundo agradecimiento.

Resumen

Este estudio establece normas preliminares del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) para *Hylocereus* spp. en Ecuador, con el objetivo de identificar los nutrientes limitantes y optimizar la fertilización. Se analizaron 121 muestras foliares recolectadas entre 2017 y 2024 en distintas regiones productoras. Se determinaron concentraciones de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn) mediante espectrometría de absorción atómica y digestión química. Se calcularon los índices DRIS y el Índice de Balance Nutricional medio (IBNm) para evaluar el estado nutricional del cultivo.

Los resultados indicaron que el nitrógeno (N) y el calcio (Ca) fueron los principales nutrientes limitantes por deficiencia, mientras que el manganeso (Mn) presentó acumulaciones excesivas.



Se encontraron correlaciones significativas entre los índices DRIS y los niveles foliares de Zn, Mg y Cu, lo que resalta su influencia en la productividad.

No se observó una relación significativa entre el IBSm y el rendimiento, sugiriendo que factores edafoclimáticos y agronómicos influyen en la variabilidad productiva. Las normas DRIS establecidas permiten un diagnóstico más preciso del estado nutricional del cultivo, proporcionando un marco de referencia para mejorar la eficiencia de la fertilización.

El estudio confirma la utilidad del DRIS en la gestión nutricional de la pitahaya en Ecuador y su potencial para optimizar la producción. Se recomienda complementar el análisis foliar con estudios de fertilidad del suelo y ajustar estrategias de fertilización según las condiciones locales. La implementación de este enfoque contribuirá a mejorar la sostenibilidad del cultivo y fortalecer su competitividad en mercados internacionales.

Abstract

This study establishes preliminary standards of the Diagnostic and Recommendation Integrated System (DRIS) for *Hylocereus* spp. in Ecuador, with the objective of identifying limiting nutrients and optimizing fertilization. One hundred and twenty-one foliar samples collected between 2017 and 2024 in different producing regions were analyzed. Macronutrient (N, P, K, Ca, Mg, S) and micronutrient (B, Cu, Fe, Mn, Zn) concentrations were determined by atomic absorption spectrometry and chemical digestion. DRIS indices and the average Nutritional Balance Index (IBNm) were calculated to evaluate the nutritional status of the crop.

The results indicated that nitrogen (N) and calcium (Ca) were the main limiting nutrients due to deficiency, while manganese (Mn) showed excessive accumulations. Significant correlations were found between DRIS indices and foliar levels of Zn, Mg and Cu, highlighting their influence on productivity. No significant relationship was observed between IBSm and yield, suggesting that edaphoclimatic and agronomic factors influence productive variability. The DRIS standards established allow a more accurate diagnosis of the nutritional status of the crop, providing a frame of reference to improve fertilization efficiency.

The study confirms the usefulness of DRIS in the nutritional management of pitahaya in Ecuador and its potential to optimize production. It is recommended to complement foliar analysis with soil fertility studies and to adjust fertilization strategies according to local conditions. The implementation of this approach will contribute to improve the sustainability of the crop and strengthen its competitiveness in international markets.



Introducción

Ecuador se ha consolidado como un productor clave de pitahaya (*Hylocereus* spp.), un cultivo de alta importancia económica y cultural

. Su producción se concentra principalmente en la región amazónica, especialmente en el cantón Palora, provincia de Morona Santiago. El reconocimiento internacional de la pitahaya ecuatoriana se debió a su calidad y sabor distintivo, lo que la ha posicionado como una fruta exótica de alta demanda en los mercados globales. Este crecimiento no solo fortaleció la economía nacional, sino que también generó oportunidades para pequeños agricultores y promovió prácticas agrícolas sostenibles.

En 2023, Ecuador exportó 54.000 toneladas de pitahaya, lo que generó \$171,7 millones, un incremento del 72 % respecto a 2022, consolidándose como un producto agrícola estratégico para la economía y el comercio exterior (Forbes, 2023; Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, 2024).

Esta fruta, de alto valor comercial y perteneciente a la familia Cactaceae, se cultiva principalmente en los géneros *Hylocereus* y *Selenicereus*, siendo el primero el más demandado en mercados internacionales (Verona-Ruiz et al., 2020). Su creciente aceptación en Estados Unidos,



Canadá, Colombia, Singapur, Países Bajos y China,

especialmente en Asia, impulsa la diversificación comercial y fortaleció la presencia de Ecuador en la exportación de frutas exóticas (Vilaplana et al., 2018; Galora Tayupanda, 2024).

La pitahaya es un cultivo estratégico que impulsa la economía local y las cadenas agroproductivas. Su producción, influenciada por las condiciones agroclimáticas, presenta dos cosechas anuales: febrero-marzo y julio-agosto. En la zona costera, el ambiente favorece su desarrollo, optimizando la productividad y calidad del fruto. Además de generar ingresos para los agricultores, fortalece el sector agrícola y su proyección comercial (Granoble et al., 2022).

Los rendimientos de la pitahaya están limitados por desequilibrios nutricionales y factores ambientales. Similarmente, el rendimiento de la pitahaya, que varía entre 10 y 30 toneladas por hectárea, depende de las condiciones edafoclimáticas, las técnicas de cultivo y la edad. El diagnóstico nutricional es esencial, especialmente en zonas semiáridas, para mejorar las prácticas de fertilización y optimizar los rendimientos (Almeida, et al., 2016).

Ahora bien, la producción agrícola enfrenta desafíos significativos debido a las inclemencias del clima (Adeniyi et al., 2014). Además, los pequeños productores se enfrentan limitaciones como la baja fertilidad del suelo, el incremento de plagas y enfermedades, la escasez de material genético mejorado y la falta de asesoramiento técnico, factores que comprometen la sostenibilidad de sus sistemas productivos (Abdulai et al., 2020).

Por otro lado, los rendimientos agrícolas están influenciados por factores ambientales y prácticas agronómicas, cuyo impacto se refleja en procesos fisiológicos y metabólicos del cultivo, como la fotosíntesis y la translocación de nutrientes. En este contexto, la fertilización mineral se posiciona como una herramienta clave para suplir las demandas nutricionales

especificasen cada etapa de desarrollo. Para optimizar su aplicación, es fundamental realizar análisis integrados del contenido de nutrientes en el suelo y el tejido foliar, considerando la interacción con las características genotípicas del cultivo (Van Vliet et al., 2017).

La producción agrícola enfrenta el desafío de optimizar recursos y garantizar la sostenibilidad de los cultivos frente a las demandas del mercado. En este contexto, el diagnóstico nutricional basado en el análisis de tejido vegetal es una herramienta clave para detectar deficiencias y optimizar la fertilización. El análisis foliar proporciona información precisa sobre el estado nutricional de las plantas, permitiendo ajustar estrategias de manejo con mayor eficiencia. Para mejorar su precisión, es fundamental integrarlo con metodologías que evalúen las interacciones entre nutrientes y las condiciones específicas de cada sistema agrícola (Teixeira, et al., 2002).



repositorio.espe.edu.ec

<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/24801/1/T-IASA%20I-005603.pdf>

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) es una

metodología que permite evaluar el equilibrio nutricional de los cultivos mediante el análisis de relaciones bivariadas entre nutrientes, en lugar de depender únicamente de valores críticos individuales. Este enfoque facilita la identificación de desequilibrios, deficiencias y excesos de nutrientes al considerar las interacciones complejas entre ellos. Para maximizar la efectividad del DRIS, es fundamental ajustar las normativas nutricionales a las condiciones específicas de cada región, incluyendo el genotipo del cultivo, las características edafoclimáticas, la edad de la planta y su etapa fenológica. Estos ajustes incrementan la precisión del diagnóstico y la implementación de recomendaciones nutricionales óptimas (Smithson et al., 2004; Oliveira et al., 2019).

En vista de ello, es fundamental desarrollar las normas DRIS que representen condiciones específicas de diferentes regiones para evaluar su efectividad y, de ser necesario, proponer ajustes que mejoren la precisión de los diagnósticos nutricionales. Esto no solo optimiza la calidad del análisis foliar, sino que también fomenta su adopción en diferentes cultivos.



Sin embargo, resulta esencial complementar el análisis foliar con el de fertilidad del suelo, para asegurar que la interpretación se base en criterios claros que consideren la influencia de factores ambientales sobre la producción de biomasa y la concentración de nutrientes (Van Vliet et al., 2017).

En este sentido, esta investigación propone generar normas preliminares DRIS para cultivos tropicales en Ecuador, con el propósito de identificar el orden limitante de los nutrientes que afectan significativamente el rendimiento productivo de la pitahaya en las zonas donde se cultiva. Asimismo, este estudio busca optimizar el análisis de tejido foliar para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes, promoviendo la sostenibilidad de los cultivos a nivel nacional. En este contexto, el objetivo principal fue establecer estas normas preliminares y determinar los nutrientes limitantes bajo las condiciones agroclimáticas de las principales regiones productoras del país, proporcionando un marco de referencia para el manejo nutricional del cultivo en Ecuador.

Justificación

El desarrollo de normas DRIS es esencial para optimizar el manejo nutricional en los cultivos. Estas normas se elaboran mediante el análisis de la concentración foliar de cultivos clasificados en tres niveles de rendimiento: bajo, medio y alto. Este enfoque permite identificar los nutrientes limitantes en cada nivel productivo, utilizando los cultivos de alto rendimiento como referencia diagnóstica. Además, estas normas se ajustan a las condiciones edafoclimáticas específicas de la región, mejorando la precisión en la evaluación y facilitando recomendaciones nutricionales más efectivas (Rodríguez et al., 2000; Chinnappan, 2022).

Las normas DRIS se han consolidado como una herramienta precisa para evaluar el estado nutricional de las plantas y diagnosticar deficiencias de nutrientes. Este diagnóstico se basa en el análisis de la composición foliar (análisis foliar), que relaciona la productividad de los cultivos con los porcentajes y concentraciones de nutrientes en el tejido foliar. La concentración de estos nutrientes varía según la edad fisiológica de la planta en el momento de la recolección de muestras, lo que subraya la importancia de un muestreo adecuado para obtener resultados fiables (Walworth et al., 1987; Ángeles et al., 1993; Puentes-Páramo et al., 2016).

La implementación del método DRIS se fundamenta en el análisis de las relaciones de equilibrio entre las concentraciones de los nutrientes presentes en las plantas. Estas relaciones se cuantifican mediante los índices In-DRIS, que representan el promedio de las comparaciones entre los nutrientes y sus valores ideales. Los índices pueden ser positivos, negativos o cercanos a cero, dependiendo de la desviación respecto al balance óptimo, lo que facilita una interpretación precisa de las interacciones nutricionales y permite identificar desequilibrios de manera eficiente (Beaufils, 1973).



repositorio.espe.edu.ec

<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/24801/1/T-IASA%20I-005603.pdf>

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) es una

metodología ampliamente utilizada para evaluar el equilibrio nutricional de los cultivos, facilitando la identificación de deficiencias y excesos de nutrientes, la optimización de la fertilización y el monitoreo del estado nutricional a lo largo del ciclo fenológico. Su aplicación ha evolucionado para abarcar una mayor diversidad de cultivos y condiciones edafoclimáticas, lo que ha mejorado la precisión en el diagnóstico nutricional y en la formulación de estrategias de fertilización (Puentes-Páramo et al., 2016).

Por lo tanto, el uso de normas DRIS optimiza la interpretación nutricional en cultivos como las cactáceas, proporcionando un marco de referencia cuantificable para evaluar el estado nutricional de las plantas. Este método, basado en índices, permite identificar deficiencias y excesos de nutrientes con precisión, facilitando una gestión eficiente de la fertilización.

(Mourão Filho, 2004). Además, al identificar sinergismos y antagonismos entre nutrientes, así también, las normas DRIS permiten optimizar las prácticas de fertilización para maximizar el rendimiento y la calidad del cultivo (Blanco-Macias, et al., 2006).

En este sentido, para asegurar un crecimiento y rendimiento óptimos en los cultivos, es crucial suministrar nutrientes en cantidades adecuadas y equilibradas. Esto implica que investigadores y técnicos consideren las necesidades nutricionales específicas de cada especie vegetal, así como los niveles actuales de nutrientes en el suelo. Las plantas requieren 16 elementos esenciales para su desarrollo fisiológico, cuya disponibilidad y balance son determinantes para su productividad (Snoeck et al., 2016).

Por lo tanto, el propósito de la fertilización busca restablecer el equilibrio nutricional para una producción sostenible y eficiente, lo que requiere una selección adecuada de fertilizantes, prácticas de manejo y condiciones que favorezcan la absorción de nutrientes por las plantas (Hartemink, 2005). En este contexto, el sistema DRIS permite identificar los nutrientes que limitan la productividad y así lograr colocar por medio de la fertilización al suelo, los elementos nutricionales adecuados, en dosis correctas.

Planteamiento de Problema

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), desarrollado por Beaufils (1973), evalúa el equilibrio nutricional de las plantas mediante relaciones bivariadas entre pares de nutrientes, minimizando los sesgos asociados a la acumulación de biomasa y las variaciones en la concentración de nutrientes durante el envejecimiento vegetal. Este método prioriza los nutrientes según su grado de deficiencia o exceso, ofreciendo una evaluación integral del estado nutricional de la planta en relación con la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Además, considera factores determinantes como la edad fisiológica de la planta y las condiciones climáticas, mejorando la precisión del diagnóstico nutricional (Serra et al., 2013).

Comprender la cantidad de nutrientes absorbidos por la planta es fundamental para diseñar estrategias de fertilización equilibrada que optimicen el rendimiento del cultivo. Una nutrición adecuada permite maximizar el potencial productivo de la planta, siguiendo un orden definido de acumulación de nutrientes. En el caso de la pitahaya, la cantidad de nutrientes acumulados está directamente influenciada por factores como las condiciones climáticas y del suelo (disponibilidad de nutrientes y humedad), así como por las características genéticas de la planta, tanto morfológicas como fisiológicas (Moreira et al., 2016; Lima et al., 2021).

Por otro lado, el Índice de Balance Nutricional (IBN) cuantifica el equilibrio nutricional de un cultivo en evaluación, reflejando los efectos combinados de los nutrientes presentes. Una

limitación de esta metodología radica en que los índices DRIS no son completamente independientes, ya que la concentración de un nutriente puede influir en la de otro. Sin embargo, este problema puede mitigarse parcialmente mediante una selección rigurosa de los nutrientes utilizados para establecer las normas DRIS. Un IBN absoluto más bajo indica un menor desequilibrio entre los nutrientes, lo que sugiere un manejo más equilibrado. Es fundamental lograr proporciones específicas de nutrientes que permitan maximizar el rendimiento del cultivo, independientemente de las condiciones locales (Bangroo et al., 2010).

El enfoque DRIS se diseñó para ofrecer un diagnóstico preciso bajo condiciones específicas, donde todos los factores relevantes puedan correlacionarse con el rendimiento o la calidad del cultivo, utilizando información derivada de la producción y los análisis foliares. No obstante, es fundamental establecer normas basadas en estudios locales que consideren la variabilidad agroclimática y edáfica de cada región, garantizando así una mayor precisión y aplicabilidad de las recomendaciones (Villaseñor et al., 2020).

La determinación del estado nutricional de las plantas ha sido un objetivo central en la investigación en nutrición vegetal. El análisis de suelo, basado en el uso de extractantes químicos que simulan la absorción de nutrientes por las raíces, su precisión depende de la representatividad del muestreo. Por su parte, el análisis foliar proporciona una evaluación más directa, pero está condicionado por la edad de la hoja y las interacciones entre nutrientes. En este contexto, el enfoque DRIS, al integrar el equilibrio nutricional, ofrece una mayor precisión en la detección de deficiencias y excesos, optimizando la interpretación del estado nutricional de las plantas (Mourão Filho, 2004).

Marco Teórico

Datos estadísticos en el mundo y en Ecuador

A nivel global, la producción de pitahaya alcanza aproximadamente 10.345 hectáreas, con un rendimiento anual de 258.625 toneladas (Muñoz, 2018). En 2021, Ecuador exportó 17.895 toneladas, registrando un incremento del 60 % en comparación con 2020, cuando se exportaron 11.260 toneladas. En la provincia de El Oro, se reportan seis productores que cultivan alrededor de 15 hectáreas de pitahaya, reflejando una expansión limitada en esta zona (Agrocalidad, 2021; INEC, 2016).

Diagnóstico nutricional

El estado nutricional de las plantas depende de factores como las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, las condiciones edafoclimáticas y el genotipo. Herramientas como el análisis foliar y la evaluación de parámetros del suelo permiten comprender la dinámica de los nutrientes, su absorción y función en los procesos fisiológicos. En este contexto, enfoques avanzados como el índice de calidad del suelo y el mapeo de áreas de cultivo desempeñan un papel fundamental en la agricultura de precisión, optimizando la gestión nutricional y la sostenibilidad del sistema productivo (Rojas et al., 2022).

Uso del Análisis foliar en la agricultura

Los avances en los análisis foliares y las limitaciones de los análisis de suelos destacan la necesidad de perfeccionar los métodos de diagnóstico nutricional y las recomendaciones de fertilización. Entre estas mejoras, los índices de balance nutricional han cobrado relevancia, ya que evalúan el equilibrio de nutrientes mediante la comparación de sus concentraciones con niveles críticos predefinidos, los cuales representan las concentraciones mínimas necesarias para un desarrollo óptimo del cultivo (Rodríguez & Rodríguez, 2000).

El método de niveles críticos presenta la limitación de ofrecer interpretaciones precisas únicamente para los valores foliares, ya que su análisis se basa en la materia seca, lo que restringe su aplicabilidad. En contraste, el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) proporciona un enfoque más robusto, al basarse en un amplio conjunto de observaciones sobre concentraciones de nutrientes y rendimientos. Esto permite obtener estimaciones más precisas de los requerimientos nutricionales de los cultivos (Elwali et al., 1984).

Métodos de Diagnóstico

El Sistema (DRIS), desarrollado por Beaufigl en 1973, utiliza relaciones bivariadas entre concentraciones de nutrientes para evaluar el equilibrio nutricional e identificar factores que afectan el rendimiento del cultivo. Una vez establecidas las normas foliares para un cultivo específico, estas pueden aplicarse de manera consistente dentro de una misma región. DRIS proporciona un marco integral de experimentación y calibración basado en los principios de fertilidad del suelo y nutrición vegetal, permitiendo ajustar los programas de fertilización de manera eficiente y optimizar el uso de recursos agrícolas (Sumner, 1975).

Aplicación de DRIS a la agricultura

El uso y aplicación del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) en la agricultura han avanzado significativamente a nivel global en los últimos años, permitiendo un diagnóstico nutricional más integral y preciso en las plantas. Este enfoque se consolida como una herramienta fundamental para la gestión eficiente e integrada de los sistemas productivos agrícolas (Villamil et al., 2021).

Se han desarrollado normas DRIS específicas, basadas en valores de referencia establecidos a partir de diversos tipos de suelo y condiciones climáticas, lo que permite su adaptación a diferentes contextos. Estas normas se generan analizando cultivos con rendimientos altos y bajos dentro del área de muestreo. A partir de los datos de rendimiento y análisis foliar, se calculan relaciones entre nutrientes que permiten obtener índices para evaluar el estado nutricional del cultivo (López et al., 2018).

Las normas DRIS permiten el uso de índices como el DRIS-I y el NBI para diagnosticar desequilibrios nutricionales en macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B) en el tejido foliar. Este enfoque ha sido ampliamente aplicado en Brasil, particularmente en cultivos de alto valor comercial, proporcionando una herramienta eficaz para optimizar la fertilización y mejorar el rendimiento (Araujo et al., 2019).

Objetivos

Objetivo General

Determinar las normas preliminares DRIS y nutrientes limitantes en el cultivo de pitahaya (*Hylocereus* spp.)

Objetivos Específicos

Identificar desbalances nutricionales y su impacto en la productividad para optimizar la fertilización y el manejo del cultivo.

Caracterizar el estado nutricional del cultivo de pitahaya mediante el análisis de los contenidos foliares de nutrientes e índices DRIS.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

Este estudio se desarrolló a partir de datos recolectados en plantaciones comerciales de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Ecuador entre 2017 y 2024. Las muestras foliares fueron analizadas por un laboratorio especializado, que proporcionó los resultados para evaluar el estado nutricional del cultivo en distintas zonas productoras del país, asegurando una representación integral de las condiciones edafoclimáticas nacionales. El muestreo incluyó cultivares manejados bajo prácticas agronómicas homogéneas en cuanto a densidad de siembra,



fertilización, control fitosanitario e irrigación,

siguiendo recomendaciones técnicas establecidas. Las zonas de estudio se encuentran en un clima tropical, lo que permite contextualizar los resultados en función de las condiciones ambientales predominantes.

La distribución geográfica de los sitios de muestreo se presenta en el mapa siguiente, proporcionando una referencia espacial de las áreas evaluadas y permitiendo extrapolar los hallazgos al contexto productivo nacional.

Figura 2. Mapa detallado del área de estudio que muestra la ubicación de las zonas cultivadas y no cultivadas en el País.

Análisis químico de hojas

Se llevó a cabo un muestreo exploratorio de muestras representativas de cladiolos sanos entre 2017 y 2024. La recolección siguió un diseño en zigzag, considerando entre 8 y 10 plantas por sitio y evitando aquellas situadas cerca de caminos, drenajes, aspersores o bordes de la plantación para minimizar posibles sesgos. Durante la fase de floración, se extrajeron fragmentos de 5 a 10 cm del tercio medio de brotes recientes. Las muestras recolectadas fueron almacenadas en bolsas de papel o plástico perforadas para prevenir la descomposición y preservar su integridad hasta el análisis en laboratorio. Este protocolo garantiza la representatividad de las muestras y la fiabilidad de los resultados obtenidos (Yumbla, 2022).

Las muestras fueron lavadas con agua y tratadas con una solución de agua desionizada y detergente neutro (0,1 %), seguidas de un enjuague con ácido clorhídrico. Posteriormente, se secaron en una estufa de ventilación forzada a 60 ± 5 °C hasta alcanzar una masa constante y luego fueron molidas en un molino Wiley para su análisis químico (Villaseñor, et al., 2022). El contenido foliar

 **scielo.org.co** | Efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B sobre la acumulación y distribución de la masa seca en plantas de guayaba (*Psidium guajava*L.) var. ICA Palmir...
http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732016000100004

de macronutrientes (N,

P, K, Mg, Ca y S) y micronutrientes

(Cl,

Fe, Mn, Cu, Zn y B) se determinó siguiendo la metodología de (TEIXEIRA, et al 2022). Para el análisis de N total, se empleó digestión húmeda con ácido sulfúrico y reducción mediante el método semi-micro Kjeldahl. Los elementos P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn y Zn fueron extraídos mediante digestión con ácido nítrico-perclórico y analizados por espectrometría de absorción atómica. El B se determinó por vía seca. (Villaseñor, 2020).

La productividad de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) se estimó a partir de los registros de producción de cada finca. Los datos, expresados en $t\ ha^{-1}$, se obtuvieron con base en la información proporcionada por los productores sobre el rendimiento de sus cultivos.

Determinación de concentraciones foliares

Por otro lado, se registró el rendimiento del cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*), con base en un banco de datos compuesto por 121 análisis foliares, garantizando alta representatividad. Para la evaluación nutricional, las muestras fueron divididas en dos subpoblaciones según su rendimiento: alto (A) y bajo (B). De acuerdo con las normas DRIS, la población de alto rendimiento debe representar al menos un 10% de la muestra total, criterio que se cumplió en este estudio con un 50.41% (61 muestras), con rendimientos entre 9.40 y $31.67\ t\ ha^{-1}$, mientras que la subpoblación de bajo rendimiento representó el 49.59% (60 muestras). Se observó una alta variabilidad en los contenidos foliares y en el rendimiento, destacando diferencias significativas en la concentración de macro y micronutrientes.

Se creó una base de datos a partir de los análisis foliares y de rendimiento de los cultivos comerciales de pitahaya. Para establecer las normas DRIS, los contenidos de macro y micronutrientes (En las muestras se determinará el contenido total de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn y Fe.) se convirtieron a las mismas unidades ($g\ kg^{-1}$). Posteriormente, la base se dividió en dos subpoblaciones: alto rendimiento ($n=61$) y bajo rendimiento ($n=60$). Estas subpoblaciones fueron analizadas mediante una prueba F, al 5% de significancia. El alto rendimiento (A) se determinó excluyendo valores por debajo de la producción promedio, considerando como bajo rendimiento (B) aquellos rendimientos inferiores a $9.40\ t\ ha^{-1}$.

El cálculo de los estándares DRIS y límites de referencia se realizó utilizando RStudio y Excel. Para evaluar las relaciones entre los índices DRIS, el contenido nutricional foliar y el rendimiento, se utilizó Excel mediante una plantilla estadística de DRIS. Los gráficos fueron generados en RStudio, facilitando la visualización de tendencias y patrones en la distribución de los nutrientes y su impacto en la productividad del cultivo.

Cálculo de normas DRIS

El cálculo de los índices DRIS se basa en normas específicas obtenidas mediante análisis comparativos de tejidos vegetales, utilizando las proporciones de nutrientes en cultivos de altos rendimientos como referencia. Estas normas permiten identificar desequilibrios nutricionales mediante funciones matemáticas que evalúan las relaciones entre nutrientes en las muestras analizadas.



Los índices generados clasifican las deficiencias y excesos, ofreciendo un diagnóstico integral del estado nutricional del cultivo (Villamil et al., 2021).

Además, el Índice de Balance Nutricional (NBI), derivado del sistema DRIS, mide el equilibrio general de nutrientes en relación con el rendimiento del cultivo. Una variante, el NBI_m, evalúa la suficiencia de cada nutriente de manera individual, permitiendo ajustar la fertilización de forma precisa. Este enfoque optimiza el uso de insumos agrícolas, promoviendo la sostenibilidad y mejorando la productividad del sistema de cultivo (Villamil et al., 2021).

Los resultados de análisis foliares y de rendimiento permitieron clasificar los cultivos en poblaciones de alto y bajo rendimiento (R_{to}). El límite productivo (LP) se definió como la suma del rendimiento promedio, considerando de alto rendimiento aquellos cultivos cuyo promedio supere este umbral. Para establecer las funciones de los nutrientes mediante el sistema DRIS, se aplicó el diagnóstico fisiológico y la fórmula simplificada de Beaufils (1973).



$$F_{DRIS\ A} = [\sum f(A/B) - \sum f(B/A)] / (n+m) \quad (1)$$

En donde:

F_{DRIS A} = Función DRIS de cualquier nutriente (A)

(A/B) = valor de las funciones DRIS en la que los nutrientes A y B tienen relación directa

(B/A) = valor de las funciones DRIS en la que los nutrientes B y A tienen relación inversa

n = número de funciones en las que el nutriente aparece en su forma directa

m = número de funciones en las que el nutriente aparece en su forma inversa

Los índices DRI (L_{DRIS A}) se determinaron cada conjunto de estándares siguiendo la fórmula general propuesta por Beaufils (1973):



$$L_{DRIS\ A} = [\sum f(A/B) - \sum f(B/A)] / (n + m) \quad (2)$$

En donde:

F_{DRIS A} = índice DRIS de cualquier nutriente (A)

(A/B) = valor de las funciones DRIS en las que el nutriente se presenta en relación directa

(B/A) = valor de las funciones DRIS en las que el nutriente se presenta en relación inversa

n = número de funciones en las que el nutriente aparece en su forma directa

m = número de funciones en las que el nutriente aparece en su forma inversa

Seguido se calculó el Índice de Equilibrio Nutricional Promedio (IBNm):



$$IBNm = \frac{|-DRIS A| + |-DRIS B| + |-DRIS C| + \dots + |-DRIS N|}{n} \quad (3)$$

En donde:

I-DRIS A = índice DRIS de cualquier nutriente

n = número de índices de nutrientes DRIS incluidos en el análisis (Wadt e Lemos, 2010).

Resultados y discusión

Promedio de contenidos de nutrientes foliares y Índices DRIS

Los contenidos de nutrientes foliares de las 121 muestras foliares iniciales se dividieron en dos subpoblaciones según el rendimiento del cultiv. Se consideró que un grupo (61 muestras, que representan el 50.41 % de la población) era la subpoblación de alto rendimiento, con rendimientos de 9.40–31.67 t ha⁻¹ representando a la población nutricional de referencia. El otro grupo (60 muestras, contabilizando 49.59% de la población) fue considerada como la subpoblación de bajo rendimiento. Los contenidos foliares promedio mostraron amplia variación, indicando alta diversidad en el estado nutricional de las plantas, lo que también se reflejó en la variación del rendimiento. Se observó un amplio rango en los micronutrientes, lo que concuerda con el alto Coeficiente de Variación (CV) observado en las poblaciones de estudio (Tabla 1). Se observaron diferencias significativas en los niveles nutricionales y de rendimiento, especialmente en las concentraciones de macro y micronutrientes.

Los nutrientes limitantes presentados en la investigación se ilustran en la Figura 3. Este gráfico puede interpretarse de manera que los nutrientes cuyos valores se desvíen, tanto en exceso como en deficiencia, respecto al índice de balance medio (IBNm) son considerados elementos que afectan el equilibrio nutricional, evidenciando un desbalance en la nutrición de las plantas. En consecuencia, identifica al nitrógeno (N) y al calcio (Ca) como nutrientes con desbalance nutricional por deficiencia, mientras que el manganeso (Mn) se encuentra en un estado de desbalance nutricional por exceso. Los demás nutrientes, tanto micro como macronutrientes, se sitúan cerca del equilibrio nutricional, lo que se refleja en su proximidad al valor cero dentro de las franjas positiva o negativa del IBSm. Esto sugiere que estos nutrientes se acercan al estado nutricional óptimo en el contexto del estudio.

Según el análisis de la Figura 4 muestra la relación entre el IBSm y el rendimiento (tn) de pitahaya, donde no se evidencia una relación estadísticamente significativa entre ambas variables. Esto se refleja en un coeficiente de determinación (R²) bajo, lo que indica una alta dispersión de los datos y una capacidad explicativa limitada del modelo. Debido a la baja representatividad del ajuste, se recomienda ampliar la base de datos para mejorar la robustez del análisis y evaluar posibles factores adicionales que influyan en la variabilidad de los rendimientos.

Relaciones entre los contenidos de nutrientes foliares y los índices DRIS

Los niveles de nutrientes foliares y los índices DRIS de la subpoblación de alto rendimiento en pitahaya presentados en la, presentaron correlaciones significativas para todos los nutrientes, lo que confirma que los modelos matemáticos implementados explican de manera sólida la relación entre los índices calculados y los niveles nutricionales. No obstante, el Mn fue la excepción, ya que no se evidenció una relación estadísticamente significativa, posiblemente debido a la influencia de factores abióticos, como el clima, o a la acumulación del elemento por la aplicación foliar de agroquímicos (Villaseñor, 2022). Además, los elementos Zn, Mg y Cu mostraron los coeficientes de determinación más altos, lo que indica una fuerte dependencia de los índices DRIS calculados en función de los niveles nutricionales analizados en el estudio.

Estándares DRIS preliminares con transformación logarítmica para el diagnóstico nutricional de pitahaya en subpoblaciones de alta productividad

La Tabla presenta el promedio (\bar{x}) y la desviación estándar (s) de las relaciones bivariadas de los contenidos nutricionales en el tejido vegetal de pitahaya (*Hylocereus* spp).



) de la subpoblación de alta productividad,

transformadas logarítmicamente. Estas relaciones constituyen referencias diagnósticas clave para el cultivo de pitahaya en Ecuador. Las mayores variaciones observadas en las relaciones Cu/Zn y Fe/Mn sugieren inestabilidad en la disponibilidad y absorción de estos micronutrientes, lo que podría impactar negativamente el metabolismo vegetal. En contraste, la estabilidad relativa de la relación N/P indica un balance adecuado en la absorción de macronutrientes esenciales.

Las normas DRIS, establecidas a partir de las relaciones bivariadas entre todos los nutrientes en la subpoblación de alto rendimiento, permitieron definir un estándar de referencia para evaluar el estado nutricional foliar del cultivo, mediante la relación entre pares de nutrientes. Los resultados indicaron que la mayoría de las relaciones presentaron baja variabilidad, lo que refleja estabilidad en la absorción y equilibrio nutricional.



Sin embargo, elementos como Mn y P exhibieron mayor dispersión, lo que sugiere una influencia significativa de factores externos en su disponibilidad.

Estos hallazgos respaldan la aplicación de normas DRIS con transformación logarítmica como una herramienta efectiva para el diagnóstico nutricional y la optimización del manejo agronómico en la zona de estudio.

Índices DRIS y Parámetros Estadísticos para Relación de Nutrientes en el Cultivo de pitahaya.

Discusión

Los resultados evidencian una variabilidad en los niveles de nutrientes foliares entre poblaciones de alto y bajo rendimiento en pitahaya (Tabla 1), en concordancia con Almeida y Deus (2016). Su análisis, basado en los métodos de la línea divisoria (LF) determina la relación entre nutrientes y productividad, identificando niveles óptimos en los tejidos vegetales y el azar matemático (ChM) ordena los contenidos foliares y analiza su impacto en el rendimiento. La demanda nutricional del cultivo depende de su productividad, por lo que establecer la relación entre la concentración de nutrientes requiere datos robustos de una población de referencia (Marrocos et al., 2020). Además, la calidad de las normas DRIS no solo depende de la base de datos, sino también de la fiabilidad de los registros de nutrientes y productividad (Mourão Filho, 2004).

En este sentido, Garbanzo-León et al. (2024) observaron que la absorción de nutrientes en pitahaya varía a lo largo del ciclo de desarrollo, con mayores concentraciones de nitrógeno (N),

potasio (K) y calcio (Ca) en etapas tempranas, especialmente en los cladodios y flores. Esto respalda la precisión del análisis foliar frente al análisis de suelo para diagnosticar deficiencias nutricionales, dada la baja correlación entre la disponibilidad edáfica y el estado nutricional de las plantas (Wairegi, L., & van Asten, P. 2011). Además, las interacciones fisiológicas dentro de la planta influyen en la absorción y distribución de nutrientes, lo que resalta la necesidad de ajustar la fertilización según la fase fenológica para optimizar el rendimiento. Los resultados de este estudio evidencian desbalances nutricionales en pitahaya, caracterizados por deficiencias de nitrógeno (N) y calcio (Ca) y un exceso de manganeso (Mn), en concordancia con Moreira et al. (2016). La acumulación de nutrientes en la biomasa aérea depende de su equilibrio, siendo el Índice de Balance Nutricional medio (IBNm) una herramienta clave para su evaluación. Sin embargo, su relación con la productividad no es lineal, ya que factores no nutricionales también influyen en el rendimiento. Esto resalta la necesidad de integrar parámetros fisiológicos y ambientales para una evaluación más precisa y adoptar un enfoque integral que considere la disponibilidad de nutrientes y su absorción a lo largo del ciclo fenológico. (Pereira da Silva et al., 2020; Garbanzo et al. 2024).

La ausencia de una relación significativa entre el Índice de Balance Nutricional medio (IBNm) y el rendimiento en pitahaya indica que la nutrición, aunque esencial, no es el único factor que determina la productividad. El bajo coeficiente de determinación (R^2) sugiere que variables como la eficiencia de absorción, las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico pueden influir más en el rendimiento. Moreira et al. (2016) señalaron que la acumulación de nutrientes en la biomasa aérea sigue un patrón variable, lo que podría explicar la dispersión de los datos. Por su parte Chen et al. (2024) destacan que la disponibilidad de nutrientes no siempre se traduce en mayor rendimiento, ya que su aprovechamiento depende de factores ambientales y genéticos. Estos hallazgos subrayan la importancia de ampliar la base de datos, para mejorar la comprensión del impacto nutricional en la productividad del cultivo. La correlación significativa entre los índices DRIS y la mayoría de los nutrientes en la subpoblación de alto rendimiento de pitahaya, con excepción del manganeso (Mn), sugiere que este elemento puede estar influenciado por factores externos a la nutrición, como interacciones edafoclimáticas o fisiológicas. La estrecha relación de Zn, Mg y Cu con el equilibrio nutricional del cultivo refuerza su papel en procesos metabólicos clave, lo que subraya la importancia de una fertilización ajustada a las demandas específicas de la planta. La aplicabilidad del DRIS en la evaluación del estado nutricional de la pitahaya ha sido respaldada por Moreira et al. (2016), quienes demostraron que la dinámica de acumulación de nutrientes en la biomasa aérea sigue un patrón específico, determinante para el crecimiento y productividad del cultivo. Además, un enfoque basado en indicadores nutricionales optimiza la fertilización sin comprometer el rendimiento, reforzando la necesidad de una gestión precisa (Samant, et al., 2023). Los niveles de nutrientes foliares y los índices DRIS en la subpoblación de alto rendimiento de pitahaya mostraron correlaciones significativas, excepto para el manganeso (Mn), lo que sugiere que este elemento puede estar influenciado por factores no nutricionales. Las correlaciones más fuertes se observaron en zinc (Zn), magnesio (Mg) y cobre (Cu), indicando su papel esencial en el estado nutricional del cultivo. Estos hallazgos respaldan la eficacia de los índices DRIS en el diagnóstico nutricional y subrayan la importancia de un manejo equilibrado para optimizar el rendimiento de pitahaya.

En este estudio, la mayoría de las relaciones entre pares de nutrientes mostraron baja variabilidad, indicando estabilidad en la absorción. Sin embargo, elementos como manganeso (Mn) y fósforo (P) presentaron mayor dispersión, lo que sugiere que su disponibilidad puede estar influenciada por factores edafoclimáticos y procesos fisiológicos específicos del cultivo. Wakchaure et al. (2022) encontraron que la modificación del entorno radical en *Hylocereus undatus* impacta la eficiencia de absorción de nutrientes y el almacenamiento de calidad, resaltando la necesidad de un manejo agronómico ajustado a las condiciones del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, estudios comparativos sobre la composición nutricional y la actividad antioxidante en distintos cultivares de pitahaya han evidenciado variaciones significativas en la concentración de minerales esenciales como potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), lo que refuerza la influencia de factores genéticos y ambientales en la nutrición de la planta (Zhou et al., 2023). Estos hallazgos destacan la importancia de herramientas diagnósticas precisas como el DRIS, para identificar desequilibrios y ajustar estrategias de fertilización de manera más eficiente. El análisis de tejido foliar es una herramienta clave para evaluar el estado nutricional del cultivo. Permite detectar deficiencias o excesos de nutrientes antes de que impacten negativamente en el rendimiento. Los cladodios, al ser el principal órgano fotosintético de la pitahaya, reflejan con precisión la absorción y redistribución de nutrientes. En etapas tempranas, concentran N, P y K, esenciales para el crecimiento vegetativo, mientras que en la madurez priorizan la transferencia de estos elementos al fruto. La acumulación de Ca y Mg mejora la resistencia estructural y la tolerancia al estrés hídrico, asegurando la estabilidad del cultivo (Wakchaure et al., 2022). Un balance adecuado de nutrientes en el suelo es fundamental para estabilizar la dinámica de absorción y prevenir deficiencias o acumulaciones que afecten la fisiología del cultivo. La sobreaplicación de ciertos elementos puede inducir interacciones antagónicas, reduciendo la disponibilidad de nutrientes esenciales y alterando la actividad radical. Un manejo nutricional basado en diagnósticos precisos no solo mejora la eficiencia en la absorción, sino que también garantiza un mayor rendimiento y la calidad poscosecha del cultivo (Dialnet, 2023).

Conclusiones

Se establecieron normas DRIS específicas para los cultivos de pitahaya en Ecuador, los nutrientes limitantes se determinaron como deficiencia en $N > Ca$, y exceso en Mn. Además, los nutrientes como Zn, Mg y Cu mostraron correlaciones significativas con los índices DRIS, indicando su relevancia para el equilibrio nutricional del cultivo, mientras que la mayoría de los demás nutrientes se encontraron cerca del equilibrio nutricional óptimo.

Los índices DRIS mostraron correlaciones significativas entre Zn, Mg y Cu con el rendimiento, validando su importancia en la nutrición del cultivo. Sin embargo, la falta de relación entre el Índice de Balance Nutricional medio (IBNm) y el rendimiento sugiere que otros factores, como el clima y el manejo agronómico, también influyen en el rendimiento. Estos resultados permiten optimizar el diagnóstico nutricional y mejorar la toma de decisiones en la gestión del cultivo.

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, CUENCA SAQUICARAY ERICK FERNANDO y LOAYZA ZAMBRANO EBERT STALIN, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado **NORMAS PRELIMINARES DRIS Y NUTRIENTES LIMITANTES PARA EL CULTIVO DE PITAHAYA ROJA EN ECUADOR, ECUADOR**, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



CUENCA SAQUICARAY ERICK FERNANDO
0705817708



LOAYZA ZAMBRANO EBERT STALIN
0706447372

Agradecimiento

A Dios, por guiarnos en cada paso de este camino, brindándonos sabiduría, fortaleza y la luz necesaria en los momentos de mayor dificultad. Su presencia ha sido nuestra mayor inspiración, dándonos la fuerza para superar cada obstáculo y avanzar con determinación hasta la culminación de este trabajo de grado.

A nuestros padres, cuya entrega incondicional, sacrificio y amor han sido el pilar más firme en nuestra formación. Gracias por su apoyo constante, por creer en nosotros incluso en los momentos de duda, por alentarnos a seguir adelante con valentía y por enseñarnos el valor del esfuerzo y la perseverancia. Sin su dedicación y confianza, este logro no habría sido posible.

A nuestros familiares y amigos, por su compañía, palabras de aliento y comprensión en cada etapa de este proceso. Su respaldo emocional, su paciencia en los momentos de ausencia y su fe en nuestro crecimiento han sido un motor invaluable para alcanzar esta meta.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a los ingenieros Diego Villaseñor Ortiz, Eduardo Luna Romero y Salomón Barrezueta Hunda, así como a todos los docentes que han contribuido a lo largo de nuestra carrera. Su invaluable orientación, dedicación y rigurosas correcciones enriquecieron significativamente la calidad de esta investigación.

A todos ustedes, nuestro más profundo agradecimiento.

Resumen

Este estudio establece normas preliminares del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) para *Hylocereus* spp. en Ecuador, con el objetivo de identificar los nutrientes limitantes y optimizar la fertilización. Se analizaron 121 muestras foliares recolectadas entre 2017 y 2024 en distintas regiones productoras. Se determinaron concentraciones de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn) mediante espectrometría de absorción atómica y digestión química. Se calcularon los índices DRIS y el Índice de Balance Nutricional medio (IBNm) para evaluar el estado nutricional del cultivo.

Los resultados indicaron que el nitrógeno (N) y el calcio (Ca) fueron los principales nutrientes limitantes por deficiencia, mientras que el manganeso (Mn) presentó acumulaciones excesivas. Se encontraron correlaciones significativas entre los índices DRIS y los niveles foliares de Zn, Mg y Cu, lo que resalta su influencia en la productividad. No se observó una relación significativa entre el IBNm y el rendimiento, sugiriendo que factores edafoclimáticos y agronómicos influyen en la variabilidad productiva. Las normas DRIS establecidas permiten un diagnóstico más preciso del estado nutricional del cultivo, proporcionando un marco de referencia para mejorar la eficiencia de la fertilización.

El estudio confirma la utilidad del DRIS en la gestión nutricional de la pitahaya en Ecuador y su potencial para optimizar la producción. Se recomienda complementar el análisis foliar con estudios de fertilidad del suelo y ajustar estrategias de fertilización según las condiciones locales. La implementación de este enfoque contribuirá a mejorar la sostenibilidad del cultivo y fortalecer su competitividad en mercados internacionales.

Abstract

This study establishes preliminary standards of the Diagnostic and Recommendation Integrated System (DRIS) for *Hylocereus* spp. in Ecuador, with the objective of identifying limiting nutrients and optimizing fertilization. One hundred and twenty-one foliar samples collected between 2017 and 2024 in different producing regions were analyzed. Macronutrient (N, P, K, Ca, Mg, S) and micronutrient (B, Cu, Fe, Mn, Zn) concentrations were determined by atomic absorption spectrometry and chemical digestion. DRIS indices and the average Nutritional Balance Index (IBNm) were calculated to evaluate the nutritional status of the crop.

The results indicated that nitrogen (N) and calcium (Ca) were the main limiting nutrients due to deficiency, while manganese (Mn) showed excessive accumulations. Significant correlations were found between DRIS indices and foliar levels of Zn, Mg and Cu, highlighting their influence on productivity. No significant relationship was observed between IBNm and yield, suggesting that edaphoclimatic and agronomic factors influence productive variability. The DRIS standards established allow a more accurate diagnosis of the nutritional status of the crop, providing a frame of reference to improve fertilization efficiency.

The study confirms the usefulness of DRIS in the nutritional management of pitahaya in Ecuador and its potential to optimize production. It is recommended to complement foliar analysis with soil fertility studies and to adjust fertilization strategies according to local conditions. The implementation of this approach will contribute to improve the sustainability of the crop and strengthen its competitiveness in international markets.

Índice

Resumen.....	2
Abstract	3
Contenido.....	4
1.Introducción	7
2.Justificación	10
3.Planteamiento de Problema.....	12
4.Marco Teórico.....	14
5.Objetivos	16
5.1.Objetivo General	16
5.2.Objetivos Específicos.....	16
6.Materiales y métodos	17
6.1.Descripción del área de estudio	17
6.2.Análisis químico de hojas	18
6.3.Determinación de concentraciones foliares	18
6.4.Cálculo de normas DRIS	19
7.Resultados y discusión.....	21
7.1.Promedio de contenidos de nutrientes foliares y Índices DRIS.....	21
7.2.Relaciones entre los contenidos de nutrientes foliares y los índices DRIS	23
8.Discusión.....	26
9.Conclusiones	29
10. Bibliografía	30

Índice de ilustraciones

Figura 1. A) Ilustración del género (<i>Hylocereus undatus</i>), B) Ilustración del género (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	10
Figura 2. Mapa detallado del área de estudio que muestra la ubicación de los campos seleccionados para la investigación.	19
Figura 3. Relación entre índices calculados (I_DRIS) y niveles nutricionales foliares de la subpoblación de alto rendimiento de cultivo de pitahaya.	24
Figura 4. Relación entre el índice de balance nutricional medio (IBNm) y rendimientos de fincas de pitahaya objeto del experimento	25

Índice de tablas

Tabla 1. Valores mínimos, media, máximos de concentraciones foliares de 121 análisis foliares en pitahaya en la zona de la provincia de El Oro.....	23
Tabla 2. Modelos estadísticos de relaciones entre los índices DRIS y las concentraciones foliares en subpoblación de alto rendimiento en cultivos de pitahaya en la provincia de El Oro.	26
Tabla 3. Media (\bar{x}) y desviación estándar (σ) (estándares DRIS preliminares) de relaciones bivariadas logarítmicamente transformadas del contenido de nutrientes de las hojas de subpoblación de alta productividad para pitahaya (El Oro, Ecuador, 2024).	27

1. Introducción

Ecuador se ha consolidado como un productor clave de pitahaya (*Hylocereus* spp.), un cultivo de alta importancia económica y cultural. Su producción se concentra principalmente en la región amazónica, especialmente en el cantón Palora, provincia de Morona Santiago. El reconocimiento internacional de la pitahaya ecuatoriana se debió a su calidad y sabor distintivo, lo que la ha posicionado como una fruta exótica de alta demanda en los mercados globales. Este crecimiento no solo fortaleció la economía nacional, sino que también generó oportunidades para pequeños agricultores y promovió prácticas agrícolas sostenibles.

En 2023, Ecuador exportó 54.000 toneladas de pitahaya, lo que generó \$171,7 millones, un incremento del 72 % respecto a 2022, consolidándose como un producto agrícola estratégico para la economía y el comercio exterior (Forbes, 2023; Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, 2024).

Esta fruta, de alto valor comercial y perteneciente a la familia Cactaceae, se cultiva principalmente en los géneros *Hylocereus* y *Selenicereus*, siendo el primero el más demandado en mercados internacionales (Verona-Ruiz et al., 2020). Su creciente aceptación en Estados Unidos, Canadá, Colombia, Singapur, Países Bajos y China, especialmente en Asia, impulsa la diversificación comercial y fortaleció la presencia de Ecuador en la exportación de frutas exóticas (Vilaplana et al., 2018; Galora Tayupanda, 2024).

La pitahaya es un cultivo estratégico que impulsa la economía local y las cadenas agroproductivas. Su producción, influenciada por las condiciones agroclimáticas, presenta dos cosechas anuales: febrero-marzo y julio-agosto. En la zona costera, el ambiente favorece su desarrollo, optimizando la productividad y calidad del fruto. Además de generar ingresos para los agricultores, fortalece el sector agrícola y su proyección comercial (Granoble et al., 2022).

Los rendimientos de la pitahaya están limitados por desequilibrios nutricionales y factores ambientales. Similarmente, el rendimiento de la pitahaya, que varía entre 10 y 30 toneladas por hectárea, depende de las condiciones edafoclimáticas, las técnicas de cultivo y la edad. El diagnóstico nutricional es esencial, especialmente en zonas semiáridas, para mejorar las prácticas de fertilización y optimizar los rendimientos (Almeida, et al., 2016).

Ahora bien, la producción agrícola enfrenta desafíos significativos debido a las inclemencias del clima (Adeniyi et al., 2014). Además, los pequeños productores se enfrentan limitaciones como la baja fertilidad del suelo, el incremento de plagas y enfermedades, la escasez de material genético mejorado y la falta de asesoramiento técnico, factores que comprometen la sostenibilidad de sus sistemas productivos (Abdulai et al., 2020).

Por otro lado, los rendimientos agrícolas están influenciados por factores ambientales y prácticas agronómicas, cuyo impacto se refleja en procesos fisiológicos y metabólicos del cultivo, como la fotosíntesis y la translocación de nutrientes. En este contexto, la fertilización mineral se posiciona como una herramienta clave para suplir las demandas nutricionales específicas en cada etapa de desarrollo. Para optimizar su aplicación, es fundamental realizar análisis integrados del contenido de nutrientes en el suelo y el tejido foliar, considerando la interacción con las características genotípicas del cultivo (Van Vliet et al., 2017).

La producción agrícola enfrenta el desafío de optimizar recursos y garantizar la sostenibilidad de los cultivos frente a las demandas del mercado. En este contexto, el diagnóstico nutricional basado en el análisis de tejido vegetal es una herramienta clave para detectar deficiencias y optimizar la fertilización. El análisis foliar proporciona información precisa sobre el estado nutricional de las plantas, permitiendo ajustar estrategias de manejo con mayor eficiencia. Para mejorar su precisión, es fundamental integrarlo con metodologías que evalúen las interacciones entre nutrientes y las condiciones específicas de cada sistema agrícola (Teixeira, et al., 2002).

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) es una metodología que permite evaluar el equilibrio nutricional de los cultivos mediante el análisis de relaciones bivariadas entre nutrientes, en lugar de depender únicamente de valores críticos individuales. Este enfoque facilita la identificación de desequilibrios, deficiencias y excesos de nutrientes al considerar las interacciones complejas entre ellos. Para maximizar la efectividad del DRIS, es fundamental ajustar las normativas nutricionales a las condiciones específicas de cada región, incluyendo el genotipo del cultivo, las características edafoclimáticas, la edad de la planta y su etapa fenológica. Estos ajustes incrementan la precisión del diagnóstico y la implementación de recomendaciones nutricionales óptimas (Smithson et al., 2004; Oliveira et al., 2019).

En vista de ello, es fundamental desarrollar las normas DRIS que representen condiciones específicas de diferentes regiones para evaluar su efectividad y, de ser necesario, proponer ajustes que mejoren la precisión de los diagnósticos nutricionales. Esto no solo optimiza la calidad del análisis foliar, sino que también fomenta su adopción en diferentes cultivos. Sin embargo, resulta esencial complementar el análisis foliar con el de fertilidad del suelo, para asegurar que la interpretación se base en criterios claros que consideren la influencia de factores ambientales sobre la producción de biomasa y la concentración de nutrientes (Van Vliet et al., 2017).

En este sentido, esta investigación propone generar normas preliminares DRIS para cultivos tropicales en Ecuador, con el propósito de identificar el orden limitante de los nutrientes que afectan significativamente el rendimiento productivo de la pitahaya en las zonas donde se cultiva. Asimismo, este estudio busca optimizar el análisis de tejido foliar para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes, promoviendo la sostenibilidad de los cultivares a nivel nacional. En este contexto, el objetivo principal fue establecer estas normas preliminares y determinar los nutrientes limitantes bajo las condiciones agroclimáticas de las principales regiones productoras del país, proporcionando un marco de referencia para el manejo nutricional del cultivo en Ecuador.

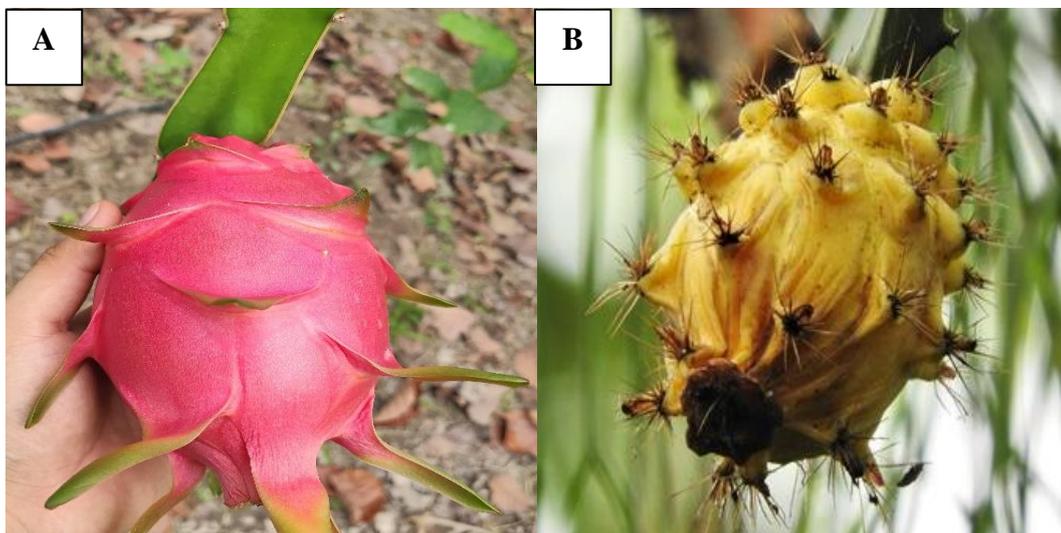


Figura 1. A) Ilustración del género (*Hylocereus undatus*), B) Ilustración del género (*Selenicereus megalanthus*)

Justificación

El desarrollo de normas DRIS es esencial para optimizar el manejo nutricional en los cultivos. Estas normas se elaboran mediante el análisis de la concentración foliar de cultivares clasificados en tres niveles de rendimiento: bajo, medio y alto. Este enfoque permite identificar los nutrientes limitantes en cada nivel productivo, utilizando los cultivares de alto rendimiento como referencia diagnóstica. Además, estas normas se ajustan a las condiciones edafoclimáticas específicas de la región, mejorando la precisión en la evaluación y facilitando recomendaciones nutricionales más efectivas (Rodríguez et al., 2000; Chinnappan, 2022).

Las normas DRIS se han consolidado como una herramienta precisa para evaluar el estado nutricional de las plantas y diagnosticar deficiencias de nutrientes. Este diagnóstico se basa en el análisis de la composición foliar (análisis foliar), que relaciona la productividad de los cultivos con los porcentajes y concentraciones de nutrientes en el tejido foliar. La concentración de estos nutrientes varía según la edad fisiológica de la planta en el momento de la recolección de muestras, lo que subraya la importancia de un muestreo adecuado para obtener resultados fiables (Walworth et al., 1987; Ángeles et al., 1993; Puentes-Páramo et al., 2016).

La implementación del método DRIS se fundamenta en el análisis de las relaciones de equilibrio entre las concentraciones de los nutrientes presentes en las plantas. Estas relaciones se cuantifican mediante los índices In-DRIS, que representan el promedio de las comparaciones entre los nutrientes y sus valores ideales. Los índices pueden ser positivos, negativos o cercanos a cero, dependiendo de la desviación respecto al balance óptimo, lo que facilita una interpretación precisa de las interacciones nutricionales y permite identificar desequilibrios de manera eficiente (Beaufils, 1973).

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) es una metodología ampliamente utilizada para evaluar el equilibrio nutricional de los cultivos, facilitando la identificación de deficiencias y excesos de nutrientes, la optimización de la fertilización y el monitoreo del estado nutricional a lo largo del ciclo fenológico. Su aplicación ha evolucionado para abarcar una mayor diversidad de cultivos y condiciones edafoclimáticas, lo que ha mejorado la precisión en el diagnóstico nutricional y en la formulación de estrategias de fertilización (Puentes-Páramo et al., 2016).

Por lo tanto, el uso de normas DRIS optimiza la interpretación nutricional en cultivos como las cactáceas, proporcionando un marco de referencia cuantificable para evaluar el estado nutricional de las plantas. Este método, basado en índices, permite identificar deficiencias y excesos de nutrientes con precisión, facilitando una gestión eficiente de la fertilización. (Mourão Filho, 2004). Además, al identificar sinergismos y antagonismos entre nutrientes, así también, las normas DRIS permiten optimizar las prácticas de fertilización para maximizar el rendimiento y la calidad del cultivo (Blanco-Macias, et al., 2006).

En este sentido, para asegurar un crecimiento y rendimiento óptimos en los cultivos, es crucial suministrar nutrientes en cantidades adecuadas y equilibradas. Esto implica que investigadores y técnicos consideren las necesidades nutricionales específicas de cada especie vegetal, así como los niveles actuales de nutrientes en el suelo. Las plantas requieren 16 elementos esenciales para su desarrollo fisiológico, cuya disponibilidad y balance son determinantes para su productividad (Snoeck et al., 2016).

Por lo tanto, el propósito de la fertilización busca restablecer el equilibrio nutricional para una producción sostenible y eficiente, lo que requiere una selección adecuada de fertilizantes, prácticas de manejo y condiciones que favorezcan la absorción de nutrientes por las plantas (Hartemink, 2005). En este contexto, el sistema DRIS permite identificar los nutrientes que limitan la productividad y así lograr colocar por medio de la fertilización al suelo, los elementos nutricionales adecuados, en dosis correctas.

Planteamiento de Problema

El Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), desarrollado por Beaufils (1973), evalúa el equilibrio nutricional de las plantas mediante relaciones bivariadas entre pares de nutrientes, minimizando los sesgos asociados a la acumulación de biomasa y las variaciones en la concentración de nutrientes durante el envejecimiento vegetal. Este método prioriza los nutrientes según su grado de deficiencia o exceso, ofreciendo una evaluación integral del estado nutricional de la planta en relación con la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Además, considera factores determinantes como la edad fisiológica de la planta y las condiciones climáticas, mejorando la precisión del diagnóstico nutricional (Serra et al., 2013).

Comprender la cantidad de nutrientes absorbidos por la planta es fundamental para diseñar estrategias de fertilización equilibrada que optimicen el rendimiento del cultivo. Una nutrición adecuada permite maximizar el potencial productivo de la planta, siguiendo un orden definido de acumulación de nutrientes. En el caso de la pitahaya, la cantidad de nutrientes acumulados está directamente influenciada por factores como las condiciones climáticas y del suelo (disponibilidad de nutrientes y humedad), así como por las características genéticas de la planta, tanto morfológicas como fisiológicas (Moreira et al., 2016; Lima et al., 2021).

Por otro lado, el Índice de Balance Nutricional (IBN) cuantifica el equilibrio nutricional de un cultivo en evaluación, reflejando los efectos combinados de los nutrientes presentes. Una limitación de esta metodología radica en que los índices DRIS no son completamente independientes, ya que la concentración de un nutriente puede influir en la de otro. Sin embargo, este problema puede mitigarse parcialmente mediante una selección rigurosa de los nutrientes utilizados para establecer las normas DRIS. Un IBN absoluto más bajo indica un menor desequilibrio entre los nutrientes, lo que sugiere un manejo más equilibrado. Es fundamental lograr proporciones específicas de nutrientes que permitan maximizar el rendimiento del cultivo, independientemente de las condiciones locales (Bangroo et al., 2010).

El enfoque DRIS se diseñó para ofrecer un diagnóstico preciso bajo condiciones específicas, donde todos los factores relevantes puedan correlacionarse con el rendimiento o la calidad del cultivo, utilizando información derivada de la producción y los análisis foliares. No obstante, es fundamental establecer normas basadas en estudios locales que consideren la variabilidad agroclimática y edáfica de cada región, garantizando así una mayor precisión y aplicabilidad de las recomendaciones (Villaseñor et al., 2020).

La determinación del estado nutricional de las plantas ha sido un objetivo central en la investigación en nutrición vegetal. El análisis de suelo, basado en el uso de extractantes químicos que simulan la absorción de nutrientes por las raíces, su precisión depende de la representatividad del muestreo. Por su parte, el análisis foliar proporciona una evaluación más directa, pero está condicionado por la edad de la hoja y las interacciones entre nutrientes. En este contexto, el enfoque DRIS, al integrar el equilibrio nutricional, ofrece una mayor precisión en la detección de deficiencias y excesos, optimizando la interpretación del estado nutricional de las plantas (Mourão Filho, 2004).

2. Marco Teórico

2.1. Datos estadísticos en el mundo y en Ecuador

A nivel global, la producción de pitahaya alcanza aproximadamente 10.345 hectáreas, con un rendimiento anual de 258.625 toneladas (Muñoz, 2018). En 2021, Ecuador exportó 17.895 toneladas, registrando un incremento del 60 % en comparación con 2020, cuando se exportaron 11.260 toneladas. En la provincia de El Oro, se reportan seis productores que cultivan alrededor de 15 hectáreas de pitahaya, reflejando una expansión limitada en esta zona (Agrocalidad, 2021; INEC, 2016).

2.2. Diagnóstico nutricional

El estado nutricional de las plantas depende de factores como las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, las condiciones edafoclimáticas y el genotipo. Herramientas como el análisis foliar y la evaluación de parámetros del suelo permiten comprender la dinámica de los nutrientes, su absorción y función en los procesos fisiológicos. En este contexto, enfoques avanzados como el índice de calidad del suelo y el mapeo de áreas de cultivo desempeñan un papel fundamental en la agricultura de precisión, optimizando la gestión nutricional y la sostenibilidad del sistema productivo (Rojas et al., 2022).

2.3. Uso del Análisis foliar en la agricultura

Los avances en los análisis foliares y las limitaciones de los análisis de suelos destacan la necesidad de perfeccionar los métodos de diagnóstico nutricional y las recomendaciones de fertilización. Entre estas mejoras, los índices de balance nutricional han cobrado relevancia, ya que evalúan el equilibrio de nutrientes mediante la comparación de sus concentraciones con niveles críticos predefinidos, los cuales representan las concentraciones mínimas necesarias para un desarrollo óptimo del cultivo (Rodríguez & Rodríguez, 2000).

El método de niveles críticos presenta la limitación de ofrecer interpretaciones precisas únicamente para los valores foliares, ya que su análisis se basa en la materia seca, lo que restringe su aplicabilidad. En contraste, el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) proporciona un enfoque más robusto, al basarse en un amplio conjunto de observaciones sobre concentraciones de nutrientes y rendimientos. Esto permite obtener estimaciones más precisas de los requerimientos nutricionales de los cultivos (Elwali et al., 1984).

2.4. Métodos de Diagnóstico

El Sistema (DRIS), desarrollado por Beaufils en 1973, utiliza relaciones bivariadas entre concentraciones de nutrientes para evaluar el equilibrio nutricional e identificar factores que afectan el rendimiento del cultivo. Una vez establecidas las normas foliares para un cultivo específico, estas pueden aplicarse de manera consistente dentro de una misma región. DRIS proporciona un marco integral de experimentación y calibración basado en los principios de fertilidad del suelo y nutrición vegetal, permitiendo ajustar los programas de fertilización de manera eficiente y optimizar el uso de recursos agrícolas (Sumner, 1975).

2.5. Aplicación de DRIS a la agricultura

El uso y aplicación del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) en la agricultura han avanzado significativamente a nivel global en los últimos años, permitiendo un diagnóstico nutricional más integral y preciso en las plantas. Este enfoque se consolida como una herramienta fundamental para la gestión eficiente e integrada de los sistemas productivos agrícolas (Villamil et al., 2021).

Se han desarrollado normas DRIS específicas, basadas en valores de referencia establecidos a partir de diversos tipos de suelo y condiciones climáticas, lo que permite su adaptación a diferentes contextos. Estas normas se generan analizando cultivos con rendimientos altos y bajos dentro del área de muestreo. A partir de los datos de rendimiento y análisis foliar, se calculan relaciones entre nutrientes que permiten obtener índices para evaluar el estado nutricional del cultivo (López et al., 2018).

Las normas DRIS permiten el uso de índices como el DRIS-I y el NBI para diagnosticar desequilibrios nutricionales en macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B) en el tejido foliar. Este enfoque ha sido ampliamente aplicado en Brasil, particularmente en cultivos de alto valor comercial, proporcionando una herramienta eficaz para optimizar la fertilización y mejorar el rendimiento (Araujo et al., 2019).

Objetivos

Objetivo General

Determinar las normas preliminares DRIS y nutrientes limitantes en el cultivo de pitahaya (*Hylocereus* spp.)

Objetivos Específicos

- ✓ Identificar desbalances nutricionales y su impacto en la productividad para optimizar la fertilización y el manejo del cultivo.
- ✓ Caracterizar el estado nutricional del cultivo de pitahaya mediante el análisis de los contenidos foliares de nutrientes e índices DRIS.

3. Materiales y métodos

3.1. Descripción del área de estudio

Este estudio se desarrolló a partir de datos recolectados en plantaciones comerciales de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Ecuador entre 2017 y 2024. Las muestras foliares fueron analizadas por un laboratorio especializado, que proporcionó los resultados para evaluar el estado nutricional del cultivo en distintas zonas productoras del país, asegurando una representación integral de las condiciones edafoclimáticas nacionales. El muestreo incluyó cultivares manejados bajo prácticas agronómicas homogéneas en cuanto a densidad de siembra, fertilización, control fitosanitario e irrigación, siguiendo recomendaciones técnicas establecidas. Las zonas de estudio se encuentran en un clima tropical, lo que permite contextualizar los resultados en función de las condiciones ambientales predominantes.

La distribución geográfica de los sitios de muestreo se presenta en el mapa siguiente, proporcionando una referencia espacial de las áreas evaluadas y permitiendo extrapolar los hallazgos al contexto productivo nacional.

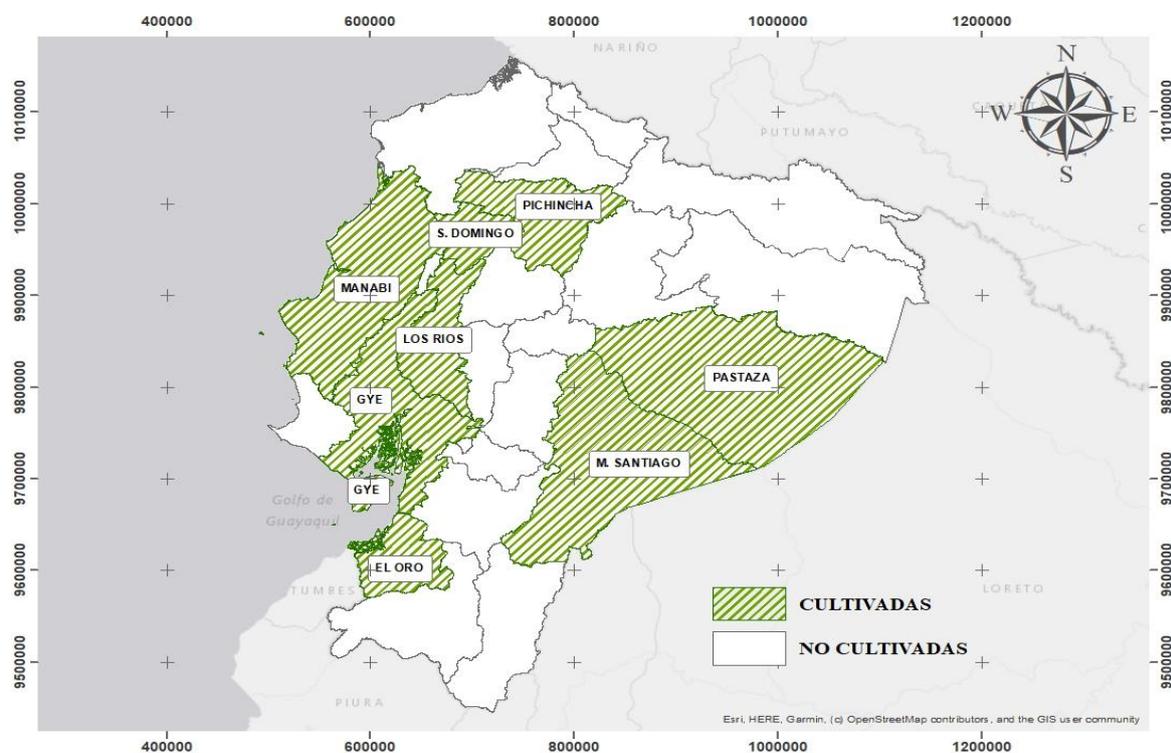


Figura 2. Mapa detallado del área de estudio que muestra la ubicación de las zonas cultivadas y no cultivadas en el País.

3.2. Análisis químico de hojas

Se llevó a cabo un muestreo exploratorio de muestras representativas de cladiolos sanos entre 2017 y 2024. La recolección siguió un diseño en zigzag, considerando entre 8 y 10 plantas por sitio y evitando aquellas situadas cerca de caminos, drenajes, aspersores o bordes de la plantación para minimizar posibles sesgos. Durante la fase de floración, se extrajeron fragmentos de 5 a 10 cm del tercio medio de brotes recientes. Las muestras recolectadas fueron almacenadas en bolsas de papel o plástico perforadas para prevenir la descomposición y preservar su integridad hasta el análisis en laboratorio. Este protocolo garantiza la representatividad de las muestras y la fiabilidad de los resultados obtenidos (Yumbra, 2022).

Las muestras fueron lavadas con agua y tratadas con una solución de agua desionizada y detergente neutro (0,1 %), seguidas de un enjuague con ácido clorhídrico. Posteriormente, se secaron en una estufa de ventilación forzada a 60 ± 5 °C hasta alcanzar una masa constante y luego fueron molidas en un molino Wiley para su análisis químico (Villaseñor, et al.,2022). El contenido foliar de macronutrientes (N, P, K, Mg, Ca y S) y micronutrientes (Cl, Fe, Mn, Cu, Zn y B) se determinó siguiendo la metodología de (TEIXEIRA, et al 2022). Para el análisis de N total, se empleó digestión húmeda con ácido sulfúrico y reducción mediante el método semi-micro Kjeldahl. Los elementos P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn y Zn fueron extraídos mediante digestión con ácido nítrico-perclórico y analizados por espectrometría de absorción atómica. El B se determinó por vía seca. (Villaseñor, 2020).

La productividad de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) se estimó a partir de los registros de producción de cada finca. Los datos, expresados en $t\ ha^{-1}$, se obtuvieron con base en la información proporcionada por los productores sobre el rendimiento de sus cultivos.

3.3. Determinación de concentraciones foliares

Por otro lado, se registró el rendimiento del cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*), con base en un banco de datos compuesto por 121 análisis foliares, garantizando alta representatividad. Para la evaluación nutricional, las muestras fueron divididas en dos subpoblaciones según su rendimiento: alto (A) y bajo (B). De acuerdo con las normas DRIS, la población de alto rendimiento debe representar al menos un 10% de la muestra total, criterio que se cumplió en este estudio con un 50.41% (61 muestras), con rendimientos entre 9.40 y 31.67 $t\ ha^{-1}$, mientras que la subpoblación de bajo rendimiento representó el 49.59% (60 muestras). Se observó una alta variabilidad en los contenidos foliares y en el rendimiento, destacando diferencias significativas en la concentración de macro y micronutrientes.

Se creó una base de datos a partir de los análisis foliares y de rendimiento de los cultivos comerciales de pitahaya. Para establecer las normas DRIS, los contenidos de macro y micronutrientes (En las muestras se determinará el contenido total de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn y Fe.) se convirtieron a las mismas unidades (g kg^{-1}). Posteriormente, la base se dividió en dos subpoblaciones: alto rendimiento ($n=61$) y bajo rendimiento ($n=60$). Estas subpoblaciones fueron analizadas mediante una prueba F, al 5% de significancia. El alto rendimiento (A) se determinó excluyendo valores por debajo de la producción promedio, considerando como bajo rendimiento (B) aquellos rendimientos inferiores a 9.40 t ha^{-1} .

El cálculo de los estándares DRIS y límites de referencia se realizó utilizando *RStudio* y *Excel*. Para evaluar las relaciones entre los índices DRIS, el contenido nutricional foliar y el rendimiento, se utilizó *Excel* mediante una plantilla estadística de DRIS. Los gráficos fueron generados en *RStudio*, facilitando la visualización de tendencias y patrones en la distribución de los nutrientes y su impacto en la productividad del cultivo.

3.4. Cálculo de normas DRIS

El cálculo de los índices DRIS se basa en normas específicas obtenidas mediante análisis comparativos de tejidos vegetales, utilizando las proporciones de nutrientes en cultivos de altos rendimientos como referencia. Estas normas permiten identificar desequilibrios nutricionales mediante funciones matemáticas que evalúan las relaciones entre nutrientes en las muestras analizadas. Los índices generados clasifican las deficiencias y excesos, ofreciendo un diagnóstico integral del estado nutricional del cultivo (Villamil et al., 2021).

Además, el Índice de Balance Nutricional (NBI), derivado del sistema DRIS, mide el equilibrio general de nutrientes en relación con el rendimiento del cultivo. Una variante, el NBI_m, evalúa la suficiencia de cada nutriente de manera individual, permitiendo ajustar la fertilización de forma precisa. Este enfoque optimiza el uso de insumos agrícolas, promoviendo la sostenibilidad y mejorando la productividad del sistema de cultivo (Villamil et al., 2021).

Los resultados de análisis foliares y de rendimiento permitieron clasificar los cultivos en poblaciones de alto y bajo rendimiento (R_{to}). El límite productivo (LP) se definió como la suma del rendimiento promedio, considerando de alto rendimiento aquellos cultivos cuyo promedio supere este umbral. Para establecer las funciones de los nutrientes mediante el sistema DRIS, se aplicó el diagnóstico fisiológico y la fórmula simplificada de Beaufils (1973).

$$F_DRIS A = [\sum f(A/B) - \sum f(B/A)] / (n+m) \quad (1)$$

En donde:

F_DRIS A = Función DRIS de cualquier nutriente (A)

(A/B) = valor de las funciones DRIS en la que los nutrientes A y B tienen relación directa

(B/A) = valor de las funciones DRIS en la que los nutrientes B y A tienen relación inversa

n = número de funciones en las que el nutriente aparece en su forma directa

m = número de funciones en las que el nutriente aparece en su forma inversa

Los índices DRI (I_DRIS A) se determinaron cada conjunto de estándares siguiendo la fórmula general propuesta por Beauflis (1973):

$$I_DRIS A = [\sum f(A/B) - \sum f(B/A)] / (n + m) \quad (2)$$

En donde:

F_DRIS A = índice DRIS de cualquier nutriente (A)

(A/B) = valor de las funciones DRIS en las que el nutriente se presenta en relación directa

(B/A) = valor de las funciones DRIS en las que el nutriente se presenta en relación inversa

n = número de funciones en las que el nutriente aparece en su forma directa

m = número de funciones en las que el nutriente aparece en su forma inversa

Seguido se calculó el Índice de Equilibrio Nutricional Promedio (IBNm):

$$IBNm = |I-DRIS A| + |I-DRIS B| + |I-DRIS C| + \dots + |I-DRIS N| / n \quad (3)$$

En donde:

I-DRIS A = índice DRIS de cualquier nutriente

n = número de índices de nutrientes DRIS incluidos en el análisis (Wadt e Lemos, 2010).

4. Resultados y discusión

4.1. Promedio de contenidos de nutrientes foliares y Índices DRIS

Los contenidos de nutrientes foliares de las 121 muestras foliares iniciales se dividieron en dos subpoblaciones según el rendimiento del cultivo (Tabla 1). Se consideró que un grupo (61 muestras, que representan el 50.41 % de la población) era la subpoblación de alto rendimiento, con rendimientos de 9.40–31.67 t ha⁻¹ representando a la población nutricional de referencia. El otro grupo (60 muestras, contabilizando 49.59% de la población) fue considerada como la subpoblación de bajo rendimiento. Los contenidos foliares promedio mostraron amplia variación, indicando alta diversidad en el estado nutricional de las plantas, lo que también se reflejó en la variación del rendimiento. Se observó un amplio rango en los micronutrientes, lo que concuerda con el alto Coeficiente de Variación (CV) observado en las poblaciones de estudio (Tabla 1). Se observaron diferencias significativas en los niveles nutricionales y de rendimiento, especialmente en las concentraciones de macro y micronutrientes.

Tabla 1. Valores mínimos, media, máximos de concentraciones foliares de 121 análisis foliares en pitahaya en la zona de la provincia de El Oro

Subpoblación de Alto Rendimiento						Subpoblación Bajo Rendimiento					
	Mínimo	Máximo	Media	S	CV		Mínimo	Máximo	Media	S	CV
N	5,92	27,800	12,800	4,238	0,321	N	6,720	32,200	0,053	4,25	0,36
P	0,80	6,949	2,542	1,315	0,494	P	1,000	6,304	2,634	1,045	0,394
K	8,20	63,840	27,400	10,678	0,361	K	9,200	50,500	27,300	8,839	0,313
Ca	1,80	46,520	19,720	9,561	0,442	Ca	5,560	48,380	18,720	9,186	0,458
Mg	2,50	13,780	7,740	2,480	0,323	Mg	4,200	13,200	6,580	2,480	0,332
S	0,90	4,490	1,260	0,557	0,382	S	1,010	3,610	1,300	0,496	0,330
B	0,02	0,116	0,037	0,021	0,499	B	0,020	0,222	0,036	0,039	0,805
Cu	0,002	0,025	0,006	0,005	0,622	Cu	0,002	0,029	0,006	0,005	0,611
Fe	0,034	0,157	0,063	0,031	0,423	Fe	0,038	0,174	0,070	0,031	0,398
Mn	0,018	0,964	0,154	0,230	0,991	Mn	0,013	0,892	0,163	0,227	0,899
Zn	0,017	0,195	0,053	0,048	0,702	Zn	0,012	0,380	0,053	0,077	0,886
	t ha⁻¹						t ha⁻¹				
Total, Muestras	Mínimo	Máximo	Media	S	CV	Total, Muestras	Mínimo	Máximo	Media	S	CV
61,000	19,917	31,672	24,378	3,048	0,124	60,00	9,399	19,602	14,017	2,893	0,198

Desviación estándar (S), Coeficiente de variación (CV) (%)

Los nutrientes limitantes presentados en la investigación se ilustran en la Figura 3. Este gráfico puede interpretarse de manera que los nutrientes cuyos valores se desvíen, tanto en exceso como en deficiencia, respecto al índice de balance medio (IBNm) son considerados elementos que afectan el equilibrio nutricional, evidenciando un desbalance en la nutrición de las plantas. En consecuencia, la Figura 3 identifica al nitrógeno (N) y al calcio (Ca) como nutrientes con desbalance nutricional por deficiencia, mientras que el manganeso (Mn) se encuentra en un estado de desbalance nutricional por exceso. Los demás nutrientes, tanto micro como macronutrientes, se sitúan cerca del equilibrio nutricional, lo que se refleja en su proximidad al valor cero dentro de las franjas positiva o negativa del IBNm. Esto sugiere que estos nutrientes se acercan al estado nutricional óptimo en el contexto del estudio.

Según el análisis de la Figura 4 muestra la relación entre el IBNm y el rendimiento (tn) de pitahaya, donde no se evidencia una relación estadísticamente significativa entre ambas variables. Esto se refleja en un coeficiente de determinación (R^2) bajo, lo que indica una alta dispersión de los datos y una capacidad explicativa limitada del modelo. Debido a la baja representatividad del ajuste, se recomienda ampliar la base de datos para mejorar la robustez del análisis y evaluar posibles factores adicionales que influyan en la variabilidad de los rendimientos.

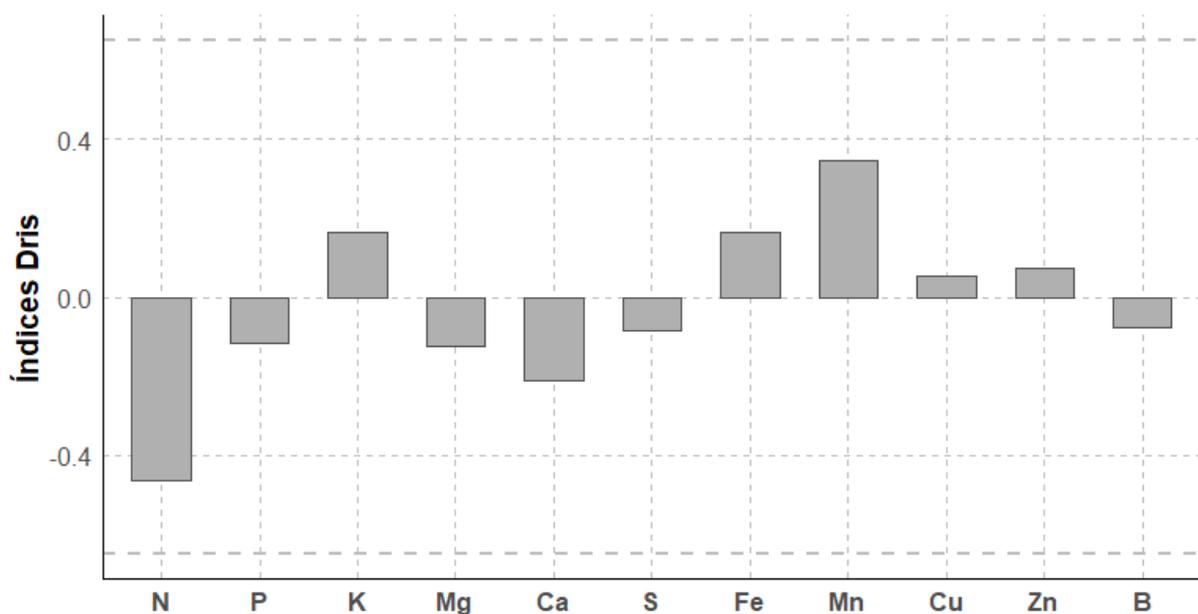


Figura 3. Relación entre índices calculados (I_DRIS) y niveles nutricionales foliares de la subpoblación de alto rendimiento de cultivo de pitahaya.

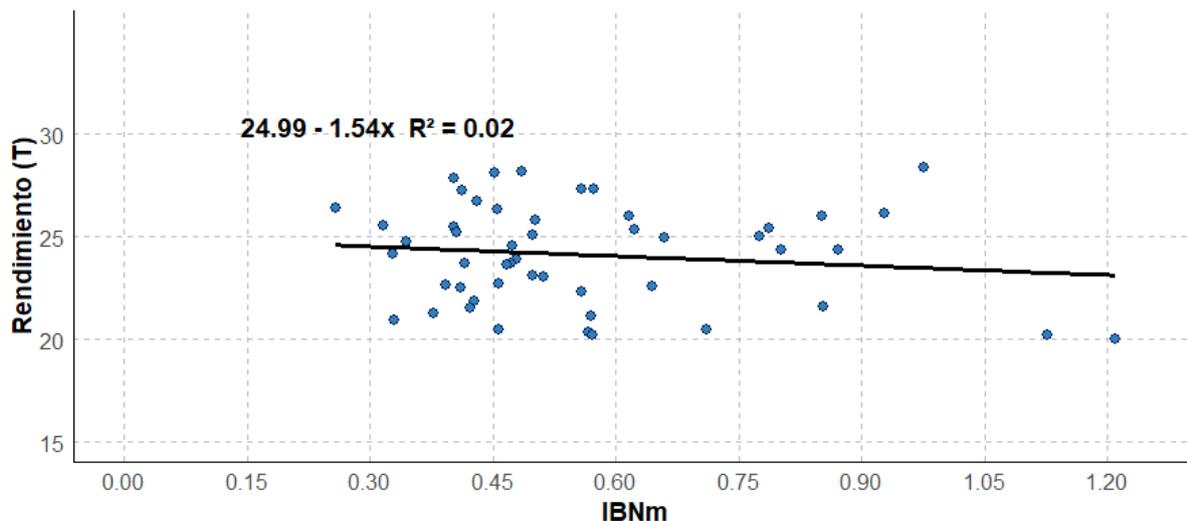


Figura 4. Relación entre el índice de balance nutricional medio (IBNm) y rendimientos de fincas de pitahaya objeto del experimento.

4.2. Relaciones entre los contenidos de nutrientes foliares y los índices DRIS

Los niveles de nutrientes foliares y los índices DRIS de la subpoblación de alto rendimiento en pitahaya presentados en la Tabla 2, presentaron correlaciones significativas para todos los nutrientes, lo que confirma que los modelos matemáticos implementados explican de manera sólida la relación entre los índices calculados y los niveles nutricionales. No obstante, el Mn fue la excepción, ya que no se evidenció una relación estadísticamente significativa, posiblemente debido a la influencia de factores abióticos, como el clima, o a la acumulación del elemento por la aplicación foliar de agroquímicos (Villaseñor, 2022). Además, los elementos Zn, Mg y Cu mostraron los coeficientes de determinación más altos, lo que indica una fuerte dependencia de los índices DRIS calculados en función de los niveles nutricionales analizados en el estudio.

Tabla 2. Modelos estadísticos de relaciones entre los índices DRIS y las concentraciones foliares en subpoblación de alto rendimiento en cultivos de pitahaya en la provincia de El Oro.

Índices DRIS	Ecuaciones	R ²
	g kg⁻¹	
I_N	$y = -1,481 + 0,110x$	0,33**
I_P	$y = 2,700 + 0,331x$	0,18**
I_K	$y = -1,228 + 0,041x$	0,27**
I_Ca	$y = 22,848 + 5,821x$	0,54**
I_Mg	$y = 8,022 + 2,838x$	0,64**
I_S	$y = 1,500 + 0,500x$	0,33**
I_B	$y = 0,042 + 0,011x$	0,28**
I_Cu	$y = 0,008 + 0,007x$	0,56**
I_Fe	$y = 0,067 + 0,031x$	0,43**
I_Mn	$y = 0,226 + 0,016x$	0,03 ^{NS}
I_Zn	$y = 0,064 + 0,061x$	0,72**

Estándares DRIS preliminares con transformación logarítmica para el diagnóstico nutricional de pitahaya en subpoblaciones de alta productividad

La Tabla 3 presenta el promedio (\bar{x}) y la desviación estándar (s) de las relaciones bivariadas de los contenidos nutricionales en el tejido vegetal de pitahaya (*Hylocereus* spp.) de la subpoblación de alta productividad, transformadas logarítmicamente. Estas relaciones constituyen referencias diagnósticas clave para el cultivo de pitahaya en Ecuador. Las mayores variaciones observadas en las relaciones Cu/Zn y Fe/Mn sugieren inestabilidad en la disponibilidad y absorción de estos micronutrientes, lo que podría impactar negativamente el metabolismo vegetal. En contraste, la estabilidad relativa de la relación N/P indica un balance adecuado en la absorción de macronutrientes esenciales.

Las normas DRIS, establecidas a partir de las relaciones bivariadas entre todos los nutrientes en la subpoblación de alto rendimiento, permitieron definir un estándar de referencia para evaluar el estado nutricional foliar del cultivo, mediante la relación entre pares de nutrientes. Los resultados indicaron que la mayoría de las relaciones presentaron baja variabilidad, lo que refleja estabilidad en la absorción y equilibrio nutricional. Sin embargo, elementos como Mn y P exhibieron mayor dispersión, lo que sugiere una influencia significativa de factores externos en su disponibilidad. Estos hallazgos respaldan la aplicación de normas DRIS con transformación logarítmica como una herramienta efectiva para el diagnóstico nutricional y la optimización del manejo agronómico en la zona de estudio.

Índices DRIS y Parámetros Estadísticos para Relación de Nutrientes en el Cultivo de pitahaya.

Tabla 3. Media (\bar{x}) y desviación estándar (σ) (estándares DRIS preliminares) de relaciones bivariadas logarítmicamente transformadas del contenido de nutrientes de las hojas de subpoblación de alta productividad para pitahaya (El Oro, Ecuador, 2024).

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
N /	-										
\bar{x}	-	0,730	0,342	0,177	0,240	0,958	2,514	3,269	2,272	1,932	2,363
S	-	0,195	0,151	0,301	0,227	0,117	0,190	0,198	0,211	0,475	0,321
P /		-									
\bar{x}	-0,73	-	1,072	0,908	0,491	0,228	1,784	2,538	1,542	1,201	1,633
S	0,1949	-	0,196	0,329	0,293	0,220	0,244	0,278	0,276	0,489	0,356
K /			-								
\bar{x}	0,3416	1,072	-	0,164	0,581	1,300	2,856	3,610	2,614	2,273	2,705
S	0,151	0,196	-	0,327	0,254	0,170	0,211	0,228	0,208	0,504	0,354
Ca /				-							
\bar{x}	0,1772	0,908	0,164	-	0,417	1,136	2,692	3,446	2,450	2,109	2,541
S	0,301	0,329	0,327	-	0,207	0,286	0,285	0,346	0,304	0,424	0,324
Mg /					-						
\bar{x}	-0,24	0,491	0,581	0,417	-	0,719	2,275	3,029	2,033	1,692	2,124
S	0,227	0,293	0,254	0,207	-	0,209	0,243	0,282	0,248	0,383	0,309
S /						-					
\bar{x}	-0,958	0,228	1,300	1,136	0,719	-	1,556	2,310	1,314	0,973	1,405
S	0,1171	0,220	0,170	0,286	0,209	-	0,179	0,208	0,207	0,452	0,299
B /							-				
\bar{x}	-2,514	1,784	2,856	2,692	2,275	1,556	-	0,754	-0,242	0,583	-0,151
S	0,1897	0,244	0,211	0,285	0,243	0,179	-	0,272	0,217	0,425	0,291
Cu /								-			
\bar{x}	-3,269	2,538	3,610	3,446	3,029	2,310	-0,754	-	-0,996	1,337	-0,905
S	0,1978	0,278	0,228	0,346	0,282	0,208	0,272	-	0,240	0,465	0,355
Fe /									-		
\bar{x}	-2,272	1,542	2,614	2,450	2,033	1,314	0,242	0,996	-	0,341	0,091
S	0,2112	0,276	0,208	0,304	0,248	0,207	0,217	0,240	-	0,478	0,368
Mn /										-	
\bar{x}	-1,932	1,201	2,273	2,109	1,692	0,973	0,583	1,337	0,341	-	0,432
S	0,475	0,489	0,504	0,424	0,383	0,452	0,425	0,465	0,478	-	0,356
Zn /											-
\bar{x}	-2,363	1,633	2,705	2,541	2,124	1,405	0,151	0,905	-0,091	0,432	-
S	0,3214	0,356	0,354	0,324	0,309	0,299	0,291	0,355	0,368	0,356	-
\bar{x}	-1,376	0,573	1,752	1,571	1,113	0,322	1,3897	2,22	1,1236	0,749	1,2237

Discusión

Los resultados evidencian una variabilidad en los niveles de nutrientes foliares entre poblaciones de alto y bajo rendimiento en pitahaya (Tabla 1), en concordancia con Almeida y Deus (2016). Su análisis, basado en los métodos de la línea divisoria (LF) determina la relación entre nutrientes y productividad, identificando niveles óptimos en los tejidos vegetales y el azar matemático (ChM) ordena los contenidos foliares y analiza su impacto en el rendimiento. La demanda nutricional del cultivo depende de su productividad, por lo que establecer la relación entre la concentración de nutrientes requiere datos robustos de una población de referencia (Marrocos et al., 2020). Además, la calidad de las normas DRIS no solo depende de la base de datos, sino también de la fiabilidad de los registros de nutrientes y productividad (Mourão Filho, 2004).

En este sentido, Garbanzo-León et al. (2024) observaron que la absorción de nutrientes en pitahaya varía a lo largo del ciclo de desarrollo, con mayores concentraciones de nitrógeno (N), potasio (K) y calcio (Ca) en etapas tempranas, especialmente en los cladodios y flores. Esto respalda la precisión del análisis foliar frente al análisis de suelo para diagnosticar deficiencias nutricionales, dada la baja correlación entre la disponibilidad edáfica y el estado nutricional de las plantas (Wairegi, L., & van Asten, P. 2011). Además, las interacciones fisiológicas dentro de la planta influyen en la absorción y distribución de nutrientes, lo que resalta la necesidad de ajustar la fertilización según la fase fenológica para optimizar el rendimiento.

Los resultados de este estudio evidencian desbalances nutricionales en pitahaya, caracterizados por deficiencias de nitrógeno (N) y calcio (Ca) y un exceso de manganeso (Mn), en concordancia con Moreira et al. (2016). La acumulación de nutrientes en la biomasa aérea depende de su equilibrio, siendo el Índice de Balance Nutricional medio (IBNm) una herramienta clave para su evaluación. Sin embargo, su relación con la productividad no es lineal, ya que factores no nutricionales también influyen en el rendimiento. Esto resalta la necesidad de integrar parámetros fisiológicos y ambientales para una evaluación más precisa y adoptar un enfoque integral que considere la disponibilidad de nutrientes y su absorción a lo largo del ciclo fenológico. (Pereira da Silva et al., 2020; Garbanzo et al. 2024).

La ausencia de una relación significativa entre el Índice de Balance Nutricional medio (IBNm) y el rendimiento en pitahaya indica que la nutrición, aunque esencial, no es el único factor que determina la productividad. El bajo coeficiente de determinación (R^2) sugiere que variables como la eficiencia de absorción, las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico pueden influir más en el rendimiento. Moreira et al. (2016) señalaron que la acumulación de nutrientes en la biomasa aérea sigue un patrón variable, lo que podría explicar la dispersión de los datos. Por su parte Chen et al, (2024) destacan que la disponibilidad de nutrientes no siempre se traduce en mayor rendimiento, ya que su aprovechamiento depende de factores ambientales y genéticos. Estos hallazgos subrayan la importancia de ampliar la base de datos, para mejorar la comprensión del impacto nutricional en la productividad del cultivo.

La correlación significativa entre los índices DRIS y la mayoría de los nutrientes en la subpoblación de alto rendimiento de pitahaya, con excepción del manganeso (Mn), sugiere que este elemento puede estar influenciado por factores externos a la nutrición, como interacciones edafoclimáticas o fisiológicas. La estrecha relación de Zn, Mg y Cu con el equilibrio nutricional del cultivo refuerza su papel en procesos metabólicos clave, lo que subraya la importancia de una fertilización ajustada a las demandas específicas de la planta. La aplicabilidad del DRIS en la evaluación del estado nutricional de la pitahaya ha sido respaldada por Moreira et al. (2016), quienes demostraron que la dinámica de acumulación de nutrientes en la biomasa aérea sigue un patrón específico, determinante para el crecimiento y productividad del cultivo. Además, un enfoque basado en indicadores nutricionales optimiza la fertilización sin comprometer el rendimiento, reforzando la necesidad de una gestión precisa (Samant, et al.,2023).

Los niveles de nutrientes foliares y los índices DRIS en la subpoblación de alto rendimiento de pitahaya mostraron correlaciones significativas, excepto para el manganeso (Mn), lo que sugiere que este elemento puede estar influenciado por factores no nutricionales. Las correlaciones más fuertes se observaron en zinc (Zn), magnesio (Mg) y cobre (Cu), indicando su papel esencial en el estado nutricional del cultivo. Estos hallazgos respaldan la eficacia de los índices DRIS en el diagnóstico nutricional y subrayan la importancia de un manejo equilibrado para optimizar el rendimiento de pitahaya.

En este estudio, la mayoría de las relaciones entre pares de nutrientes mostraron baja variabilidad, indicando estabilidad en la absorción. Sin embargo, elementos como manganeso (Mn) y fósforo (P) presentaron mayor dispersión, lo que sugiere que su disponibilidad puede estar influenciada por factores edafoclimáticos y procesos fisiológicos específicos del cultivo. Wakchaure et al. (2022) encontraron que la modificación del entorno radical en *Hylocereus undatus* impacta la eficiencia de absorción de nutrientes y el almacenamiento de calidad, resaltando la necesidad de un manejo agronómico ajustado a las condiciones del suelo y la disponibilidad de nutrientes.

Por otro lado, estudios comparativos sobre la composición nutricional y la actividad antioxidante en distintos cultivares de pitahaya han evidenciado variaciones significativas en la concentración de minerales esenciales como potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), lo que refuerza la influencia de factores genéticos y ambientales en la nutrición de la planta (Zhou et al., 2023). Estos hallazgos destacan la importancia de herramientas diagnósticas precisas como el DRIS, para identificar desequilibrios y ajustar estrategias de fertilización de manera más eficiente.

El análisis de tejido foliar es una herramienta clave para evaluar el estado nutricional del cultivo. Permite detectar deficiencias o excesos de nutrientes antes de que impacten negativamente en el rendimiento. Los cladodios, al ser el principal órgano fotosintético de la pitahaya, reflejan con precisión la absorción y redistribución de nutrientes. En etapas tempranas, concentran N, P y K, esenciales para el crecimiento vegetativo, mientras que en la madurez priorizan la transferencia de estos elementos al fruto. La acumulación de Ca y Mg mejora la resistencia estructural y la tolerancia al estrés hídrico, asegurando la estabilidad del cultivo (Wakchaure et al., 2022).

Un balance adecuado de nutrientes en el suelo es fundamental para estabilizar la dinámica de absorción y prevenir deficiencias o acumulaciones que afecten la fisiología del cultivo. La sobreaplicación de ciertos elementos puede inducir interacciones antagónicas, reduciendo la disponibilidad de nutrientes esenciales y alterando la actividad radical. Un manejo nutricional basado en diagnósticos precisos no solo mejora la eficiencia en la absorción, sino que también garantiza un mayor rendimiento y la calidad poscosecha del cultivo (Dialnet, 2023).

5. Conclusiones

Se establecieron normas DRIS específicas para los cultivos de pitahaya en Ecuador, los nutrientes limitantes se determinaron como deficiencia en $N > Ca$, y exceso en Mn. Además, los nutrientes como Zn, Mg y Cu mostraron correlaciones significativas con los índices DRIS, indicando su relevancia para el equilibrio nutricional del cultivo, mientras que la mayoría de los demás nutrientes se encontraron cerca del equilibrio nutricional óptimo.

Los índices DRIS mostraron correlaciones significativas entre Zn, Mg y Cu con el rendimiento, validando su importancia en la nutrición del cultivo. Sin embargo, la falta de relación entre el Índice de Balance Nutricional medio (IBNm) y el rendimiento sugiere que otros factores, como el clima y el manejo agronómico, también influyen en el rendimiento. Estos resultados permiten optimizar el diagnóstico nutricional y mejorar la toma de decisiones en la gestión del cultivo.

6. Bibliografía

- Abdulai, I., Hoffmann, M. P., Jassogne, L., Asare, R., Graefe, S., Tao, H. H., ... Rötter, R. P. (2020). Variations in yield gaps of smallholder cocoa systems and the main determining factors along a climate gradient in Ghana. *Agricultural Systems*, 181, 102812.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102812>
- Adeniyi, O. R., & Ogunsola, G. O. (2014). Cocoa production and related social-economic and climate factors: A case study of Ayedire local government area of Osun State, Nigeria. *Agricultural Science*, 2(4), 1-13.
- Almeida, E. I. B., Deus, J. A. L. D., Corrêa, M. C. D. M., Crisostomo, L. A., & Neves, J. C. L. (2016). Linha de fronteira e chance matemática na determinação do estado nutricional de pitaia. *Revista Ciência Agronômica*, 47(4), 744-754.
- Angeles, D. E., Sumner, M. E., & Lahav, E. (1993). Preliminary DRIS norms for banana. *Journal of Plant Nutrition*, 16(6), 1059-1070.
- Araújo, A., Cardoso, A. F., Oliveira, C., De Camargo, R., Quintão, R. M., & Queiroz, J. M. (2019). Productivity and establishment of DRIS indexes for cultivation of potato cultivar Asterix tubers in a dystrophic Red Latosol. *AJCS*, 13 (06), 1017-1024.
- Bangroo, S. A., Bhat, M. I., Ali, T., Aziz, M. A., Bhat, M. A., & Wani, M. A. (2010). Diagnosis and recommendation Integrated System (DRIS)-A review. *International Journal of Current Research*, 10, 84-97.
- Beaufils, E. R. (1973). *Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)*.
- Blanco-Macías, F., Lara-Herrera, A., Valdez-Cepeda, R. D., Cortés-Bañuelos, J. O., Luna-Flores, M., & Salas-Luévano, M. A. (2006). Interacciones nutrimentales y normas de la técnica de nutrimento compuesto en nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 165-175.

- Chen, S.-Y., Xu, C.-Y., Mazhar, M. S., & Naiker, M. (2024). Nutritional Value and Therapeutic Benefits of Dragon Fruit: A Comprehensive Review with Implications for Establishing Australian Industry Standards. *Molecules*, 29(23), 5676. <https://doi.org/10.3390/molecules29235676>
- Chinnappan, S. (2022). DRIS norms for identifying yield limiting micronutrients in cocoa under coconut intercropping systems. *Journal of Plant Nutrition*, 45(8), 1214-1222.
- Dialnet. (2023). Efecto de soluciones nutritivas en el crecimiento vegetativo de pitahaya en invernadero. *Revista Científica Dialnet*, 15(2), 45-53. <https://dialnet.unirioja.es>
- Elwali, A. M. O., & Gascho, G. J. (1984). Soil testing, foliar analysis, and DRIS as guides for sugarcane fertilization 1. *Agronomy Journal*, 76(3), 466-470.
- Fedexpor. (2024). Federación Ecuatoriana de Exportadores. Boletín mensual de <https://www.fedexpor.com/>
- Garbanzo-León, G., Vargas-Rojas, J. C., & Vega-Villalobos, E. V. (2024). Crecimiento y absorción de nutrimentos en pitahaya (*Hylocereus costaricensis* y *H. monocanthus*) de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*.
- Granoble Chancay, P., & Acuría Moran, J. (2022). La producción de Pitahaya Roja “*Hylocereus Undatus*” incide en su exportación en el de Manabí. *Multidisciplinar*, 14-34.
- Hartemink, A. E. (2005). Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Advances in agronomy*, 86, 227-253.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, (INEC 2016). Proceso De Estadísticas Agropecuarias. En línea. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censonacional-agropecuario/>. Consultado (22.7.2023).
- Lima, D. D. C., Mendes, N. V. B., Diógenes, M. F. S., Corrêa, M. C. D. M., Natale, W., & Taniguchi, C. A. K. (2021). Initial growth and nutrient accumulation in pitaya plants at different phenological stages. *Revista Caatinga*, 34, 720-727.

- López-Montoya, J., Fernández-Paz, J. A., Vásquez, H. D., & Menjivar-Flores, J. C. (2018). Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) para piña (*Ananas comosus*), variedad Oro Miel (MD-2). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 319-328.
- Marrocos, P. C., Loureiro, G. A. D. A., Araujo, Q. R. D., Sodr e, G. A., Ahnert, D., Escalona-Valdez, R. A., & Baligar, V. C. (2020). Mineral nutrition of cacao (*Theobroma cacao* L.): relationships between foliar concentrations of mineral nutrients and crop productivity. *Journal of Plant Nutrition*, 43(10), 1498-1509.
- Moreira, R. A., Cruz, M. D. C. M. D., Fernandes, D. R., Silva, E. D. B. E., & Oliveira, J. D. (2016). Nutrient accumulation at the initial growth of pitaya plants according to phosphorus fertilization. *Pesquisa Agropecu ria Tropical*, 46(3), 230-237.
- Mourão Filho, F. D. A. A. (2004). DRIS: Concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. *Scientia Agricola*, 61, 550-560.
- Muñoz Suquilanda, N. T. (2018). Estudio de factibilidad financiera para la producción de pitahaya *Hylocereus undatus*, Britt and Rose de exportación, en la comuna Julio Moreno, provincia de Santa Elena (Bachelor's thesis).
- Pereira da Silva, G., Prado, R. D. M., Wadt, P. G. S., Silva, F. C. D., Vaz, G. J., Moda, L. R., & Caione, G. (2020). Accuracy measures for phosphorus in assessing the nutritional status of sugarcane using the comprehensive integrated diagnosis and recommendation system (DRIS). *Journal of Plant Nutrition*, 44(9), 1287-1299.
- Puentes-Páramo, Y. J., Menjivar-Flores, J. C., & Aranzazu-Hern andez, F. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. *Agronomía Mesoamericana*, 329-336.
- Rodríguez, O., & Rodríguez, V. (2000). Documento: Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17(6).

- Rojas, L. M. C., Rodríguez, E. A. G., Ramirez, A. M. H., & Trujillo, A. I. U. (2022). Nutrition in cacao (*Theobroma cacao* L.) crops: What determining factors should be considered?. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 121(Especial 2), 101-101.
- Samant, V. A., Rani, C. I., Shanmugasundaram, K. A., Janaki, P., Djanaguiraman, M., Neelavathi, R., & SG, P. (2023). Effect of Inorganic Fertilizer and Spacing on the Plant Growth of Dragon Fruit (*Hylocereus costaricensis*) under Tamil Nadu Agro-Climatic Conditions. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 1411-1418.
- Serra, A. P., Marchetti, M. E., Bungenstab, D. J., da Silva, M. A. G., Serra, R. P., Guimarães, F. C. N., ... & De Morais, H. S. (2013). Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) to assess the nutritional state of plants. *Biomass now-sustainable growth and use*, 129-136.
- Smithson, P. C., McIntyre, B. D., Gold, C. S., Ssali, H., Night, G., & Okech, S. (2004). Potassium and magnesium fertilizers on banana in Uganda: yields, weevil damage, foliar nutrient status and DRIS analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69, 43-49.
- Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J., Bastide, P., & Jagoret, P. (2016). Cacao nutrition and fertilization. *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 19*, 155-202.
- Sumner, M. (1975). Diagnosis of the npk requirements of sugarcane plant age and season using beaufils' system (dris)-preliminary observations. In *Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association* (pp. 137-141).
- TEIXEIRA, L. A. J., SANTOS, W. R. D., & BATAGLIA, O. C. (2002). Diagnose nutricional para nitrogênio e potássio em bananeira por meio do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) e de níveis críticos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24, 530-535.
- Van Vliet, J. A., & Giller, K. E. (2017). Mineral nutrition of cocoa: a review. *Advances in agronomy*, 141, 185-270.

- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439-453.
- Vilaplana, R., Alba, P., & Valencia-Chamorro, S. (2018). Sodium bicarbonate salts for the control of postharvest black rot disease in yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Crop protection*, 114, 90-96.
- VILLAMIL-CARVAJAL, Jorge Enrique; PINEDA-ÁLVAREZ, Edwin Orlando; CABEZAS-GUTIÉRREZ, Marco. Diagnosis and recommendation integrated system, its application and use in agriculture. A review. *Ciencia y Agricultura*, 2021, vol. 18, no 3, p. 29-45.
- Villaseñor, D., Prado, R. D. M., Pereira da Silva, G., Carrillo, M., & Durango, W. (2020). DRIS norms and limiting nutrients in banana cultivation in the South of Ecuador. *Journal of Plant Nutrition*, 43(18), 2785-2796.
- Villaseñor, D., Prado, R. D. M., Pereira da Silva, G., Carrillo, M., & Durango, W. (2020). DRIS norms and limiting nutrients in banana cultivation in the South of Ecuador. *Journal of Plant Nutrition*, 43(18), 2785-2796.
- Villaseñor-Ortiz, D., de Mello Prado, R., Pereira da Silva, G., & Lata-Tenesaca, L. F. (2022). Applicability of DRIS in bananas based on the accuracy of nutritional diagnoses for nitrogen and potassium. *Scientific Reports*, 12(1), 18125.
- Wairegi, L., & van Asten, P. (2011). Norms for multivariate diagnosis of nutrient imbalance in the East African highland bananas (*Musa* spp. AAA). *Journal of plant nutrition*, 34(10), 1453-1472.
- Wakchaure, G. C., Minhas, P. S., Meena, K. K., & Kumar, S. (2022). Long-term response of pitaya (*Hylocereus undatus*) to modified shallow soils: Yield improvement and storage quality. *Scientia Horticulturae*, 299, 111012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111012>
- Walworth, J. L., & Sumner, M. E. (1987). The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In *Advances in soil science* (pp. 149-188). New York, NY: Springer New York.

Yumbla Crespo, J. B. (2022). Aislamiento, caracterización e identificación de hongos filamentosos asociados con síntomas de cáncer en plantaciones de pitahaya (*Hylocereus* spp.).

Zhou, R., Li, Y., Zhang, X., & Wang, Q. (2023). Comparative analysis of nutritional composition and antioxidant activity in different pitaya cultivars. *Food Chemistry*, 420, 136108.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136108>