



Booklets

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - Google Scholar DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID - V|LEX - EBSCO

Title: Correlation between foliar analysis parameters and the normalized difference vegetation index [NDVI] derived from satellite images in avocado cultivation in the Salvador Escalante region of Michoacán, Mexico

Authors: García-Hernández, David, Hernández-Ramírez, Julio Cesar, Marín-Rangel, Vania Marilyn and Martínez-Angeles, Eduardo

Editorial label MARVID: 607-8695
BMARVID Control Number: 2025-01
BMARVID Classification (2025): 121225-0001
RNA: 03-2010-032610115700-14
Pages: 17

ROR Universidad Tecnológica de Morelia • OLP-9792-2025 • ID 0009-0003-4910-4847 • 583328
ROR Universidad Tecnológica de Morelia • R-3462-2018 • ID 0000-0002-6352-1183 • 1255195
ROR Universidad Tecnológica de Morelia • OLP-9766-2025 • ID 0009-0003-4891-3554 • 299956
ROR Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo • OLP-9850-2025 • ID 0009-0007-4694-5914 • 591255

SECIHTI classification:
Area: Biotechnology and agricultural sciences
Field: Agricultural Biotechnology
Discipline: Agricultural Biotechnology
Subdiscipline: Other

MARVID-México

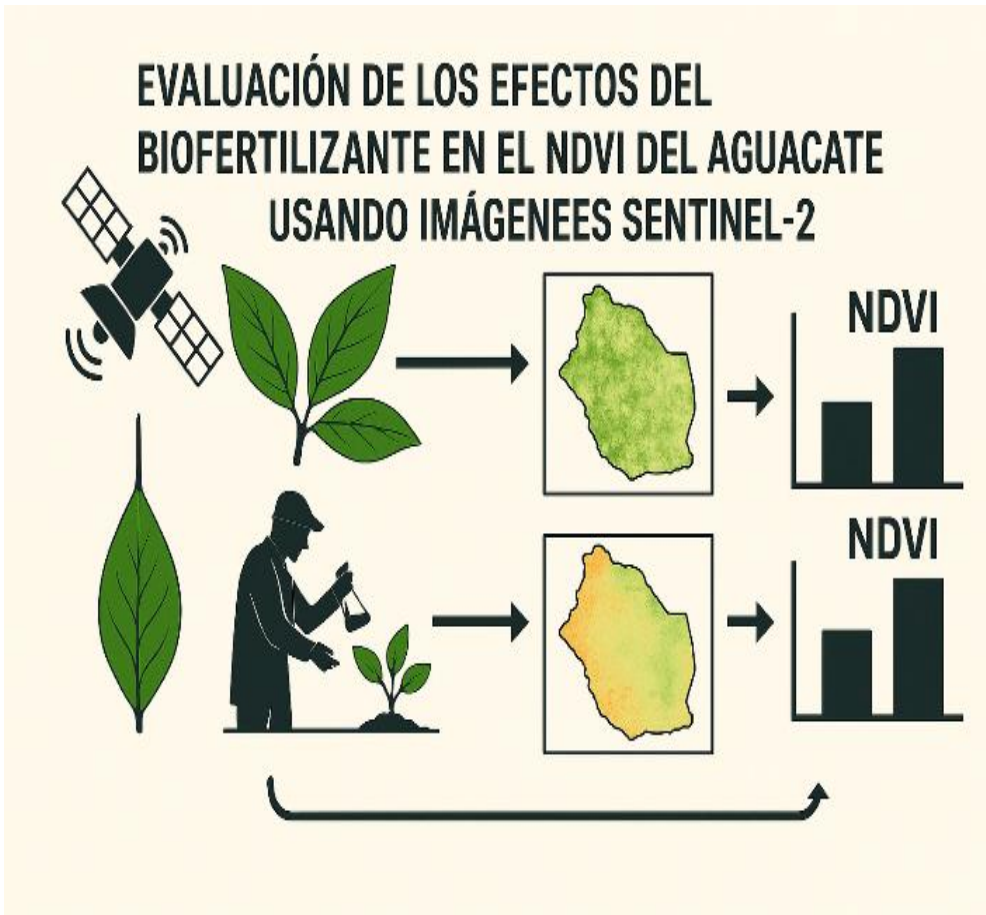
Park Pedregal Business. 3580,
Anillo Perif., San Jerónimo
Aculco, Álvaro Obregón,
01900 Ciudad de México, CDMX,
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: MARVID-México S.C.
E-mail: contact@marvid.org
Facebook: MARVID-México S. C.
X: @Marvid_México

www.marvid.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Introducción



- México es **líder mundial** en producción y exportación de aguacate con 2,184,663 toneladas anuales. De las cuales, el 80.2 % provienen de Michoacán, y el 63.7% del total nacional es exportado a EUA.
- En nuestro país, el aguacate genera más ingresos que el petróleo y la gasolina juntos (50,000 empleos permanentes y 60,000 estacionales).
- Este estudio aborda la correlación entre los análisis foliares y el **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**, derivado de imágenes satelitales, en el cultivo de aguacate en los municipios de Tacámbaro, Acuitzio y Salvador Escalante, en Michoacán, México.

¿Qué es el NVDI?

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NVDI, por sus siglas en inglés) es un indicador vegetal, sumamente útil para la **estimación del índice del área foliar** que permite:

- *Evaluar el estado nutricional de las plantas.*
- *Detección de estrés hídrico.*
- *Identificar afectaciones en las plantas.*
- *Brindar un pronóstico aproximado de cosecha.*

Está basado en las propiedades de reflexión de la vegetación, debido a que las plantas absorben fuertemente el infrarrojo cercano (cuyos valores oscilan de -1.0 a 1.0), donde la clorofila absorbe la luz visible (Mayor vegetación = mayor contraste).

Valores de NVDI	Interprtación del valor
0.81 a 1.0	Vegetación muy densa y saludable
0.61 a 0.80	Vegetación moderadamente densa
0.21 a 0.60	Vegetación dispersa o estresada
-1.0 a 0.20	Suelo desnudo, agua o nieve

Problemática y justificación del proyecto

❖ **Desafíos actuales:** la competitividad del aguacate mexicano enfrenta amenazas por acuerdos comerciales internacionales y la apertura del mercado estadounidense a otros países productores.

Métodos tradicionales	Alternativa propuesta
Análisis foliares realizados en el laboratorio	Teledetección Satelital
Costosos y requieren gran cantidad de tiempo	Producción sostenible y/o económica
Uso de reactivos tóxicos o pesticidas (<i>“invasivos”</i>)	Monitoreo de cultivos <i>“no invasivo”</i>
Impacto ambiental negativo	Amigable con el medio ambiente
Error humano durante el muestreo	Cobertura espacial amplia y precisa (análisis espacio-temporal)

Objetivo general

- Determinar la eficiencia de la aplicación de biofertilizantes mediante imágenes satelitales y el Índice NDVI, comparando los análisis foliares tradicionales obtenidos en los municipios de Tacámbaro, Acuitzio y Salvador Escalante, Michocán, México.

Metodología

Localización de áreas de muestreo

El muestreo de suelo se llevó a cabo en huertos representativos de los municipios de Tacámbaro y Salvador Escalante, en Michoacán, México.

Durante las visitas a los huertos, se recopilaron datos generales como las características de los polígonos, las características del suelo y la densidad del cultivo.

Estos datos se capturaron en el sistema de información geográfica QGIS 3.44, con el apoyo de la aplicación móvil QFIED.

Muestreo parcelas experimentales

19 de noviembre del 2024
Salvador Escalante Michoacán
Comunidad: Paramuen
Cooednadas: -11322186,2195716



Figura 1.

Mapa de localización de las zonas de muestreo en el municipio de Salvador Escalante, Michoacán, México.

Muestreo

El muestreo de suelo para determinar la fertilidad se realizó de acuerdo con la norma **NOM-021-RECNAT-2000**, la cual establece las especificaciones para la fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Análisis de suelo

El análisis de suelo para determinar la fertilidad se llevó a cabo conforme a la **NOM-021-RECNAT-2000**, que establece las especificaciones para la fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Análisis foliar

El muestreo y análisis de hojas se realizaron de acuerdo con métodos estandarizados, al igual que la interpretación de los resultados del análisis de suelo y hojas se almacenaron en la base de datos de **QGIS** para su posterior análisis y para relacionarlos con las necesidades del cultivo de aguacate y su etapa fenológica.

Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les realizó una ANOVA a una vía y prueba post hoc de Tukey con el software de "R".

La plataforma **QGIS 3.44** se utilizó para procesar las imágenes. El NDVI (Índice de Vegetación Normalizado) se representó mediante imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre diferentes bandas espectrales, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{\text{Infrarrojo} - \text{Rojo}}{\text{Infrarrojo} + \text{Rojo}}$$



Vers. 3.44

Resultados de análisis del suelo

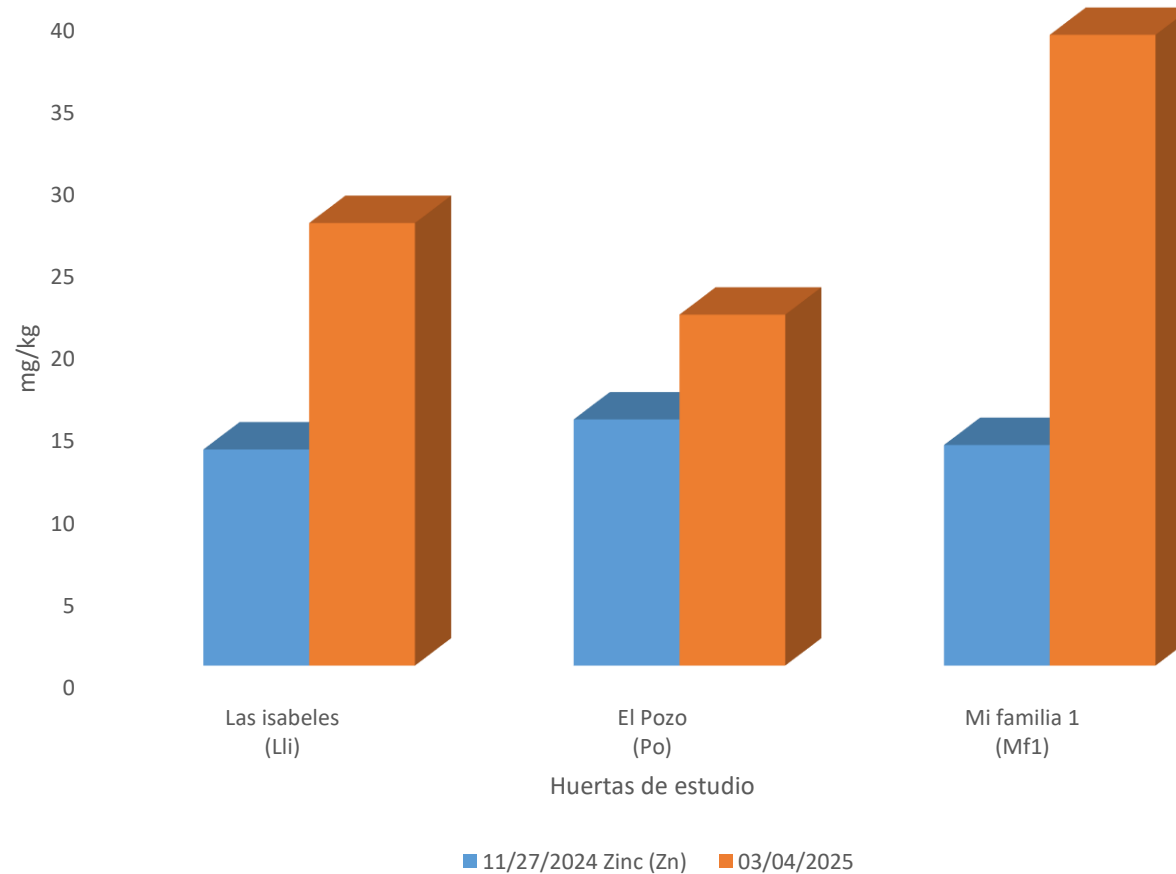


Figura 1. Análisis de Zinc (Zn) en el suelo antes y después de la aplicación del biofertilizante.

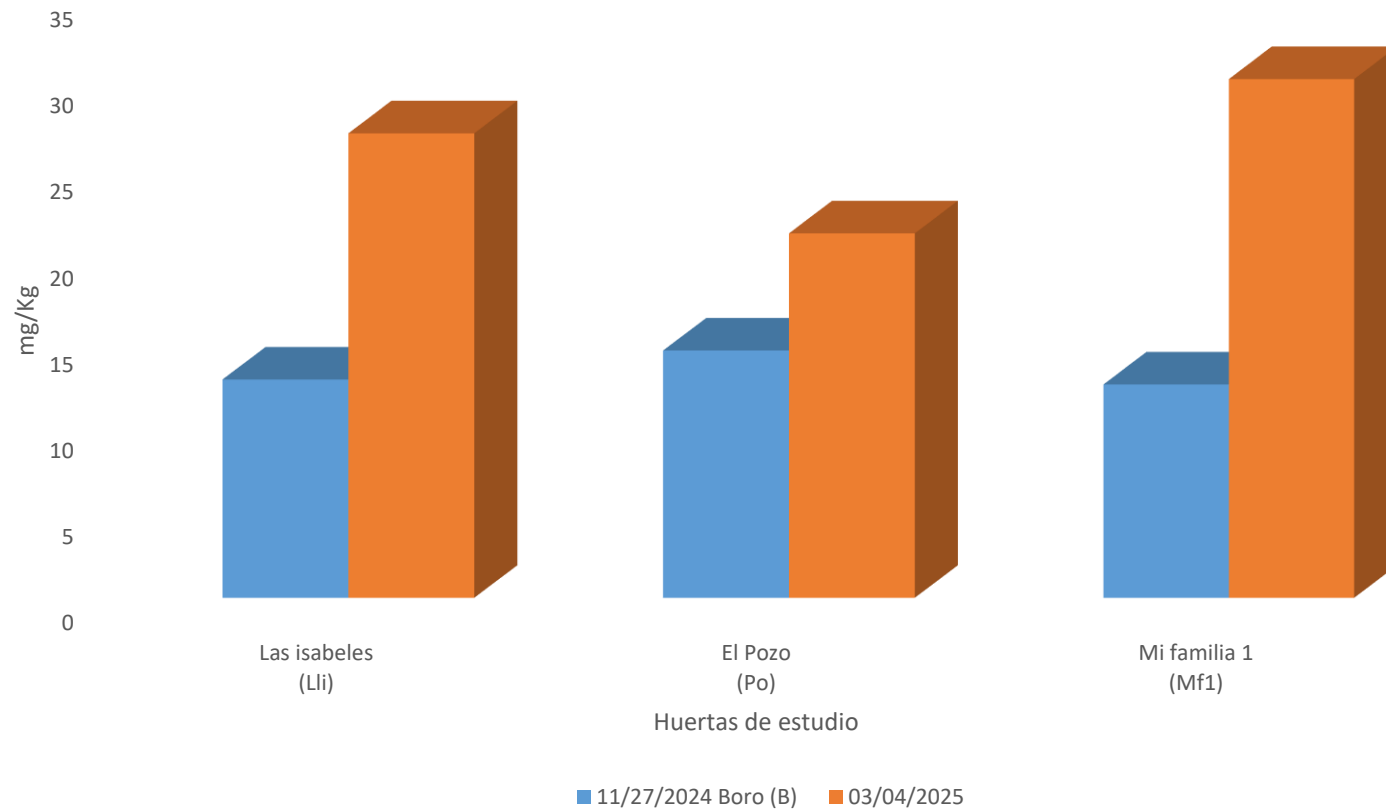


Figura 2. Análisis de Boro (B) en el suelo antes y después de la aplicación del biofertilizante.

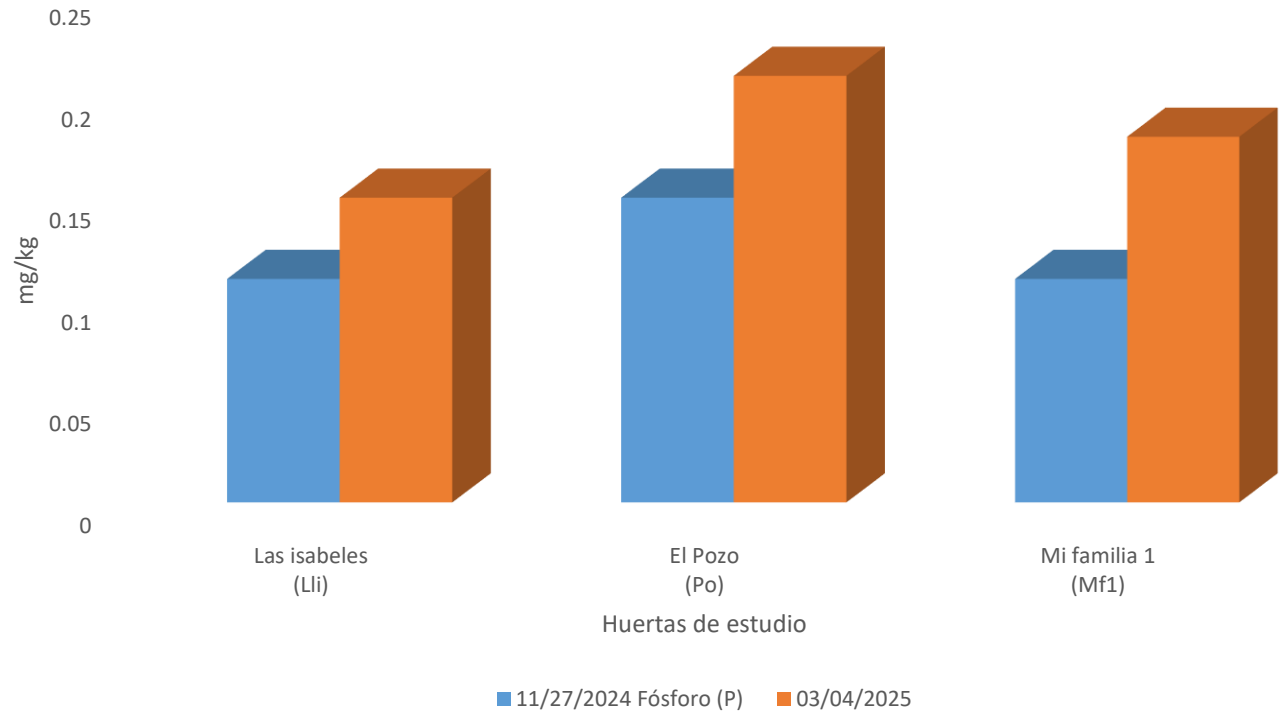


Figura 3. Análisis de Fósforo (P) en el suelo antes y después de la aplicación del biofertilizante.

Tabla 1

Análisis foliares de fósforo (P) y Molibdeno (Mo) en las 3 huertas de estudio: Huerta Las Isabeles (Lli), Huerta el Pozo (Po) y Huerta Mi familia 1 (Mf1) muestreadas en el Municipio de Salvador Escalante.

	Nutriente	Predio		
		Las isabeles (Lli)	El Pozo (Po)	Mi familia 1 (Mf1)
11/27/2024	Fósforo (P)	0.11	0.15	0.11
03/04/2025		0.15	0.21	0.18
11/27/2024	Molibdeno (Mo)	0.18	0.41	0.05
03/04/2025		0.23	1.26	1.9

Resultados de los análisis foliares

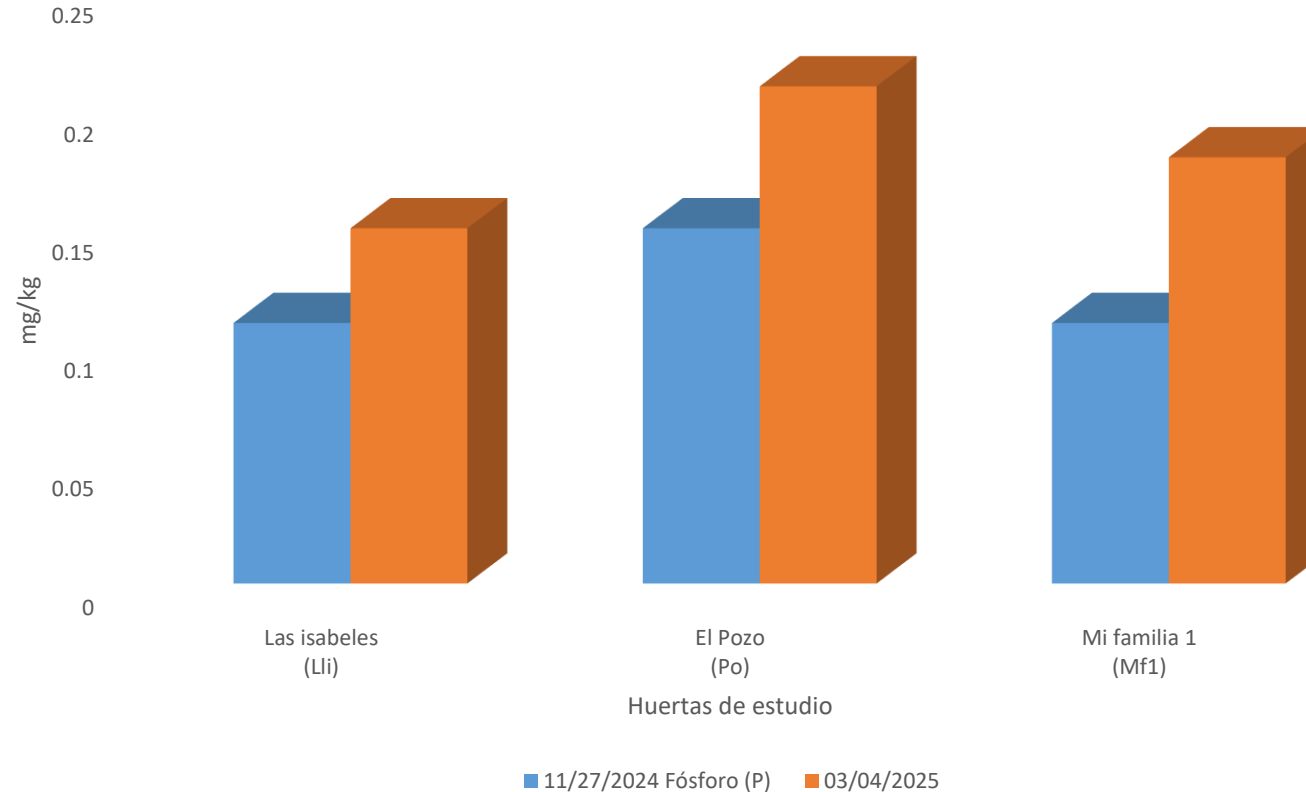


Figura 4. Análisis foliar de Fósforo (P) en el suelo antes y después de la aplicación del biofertilizante.

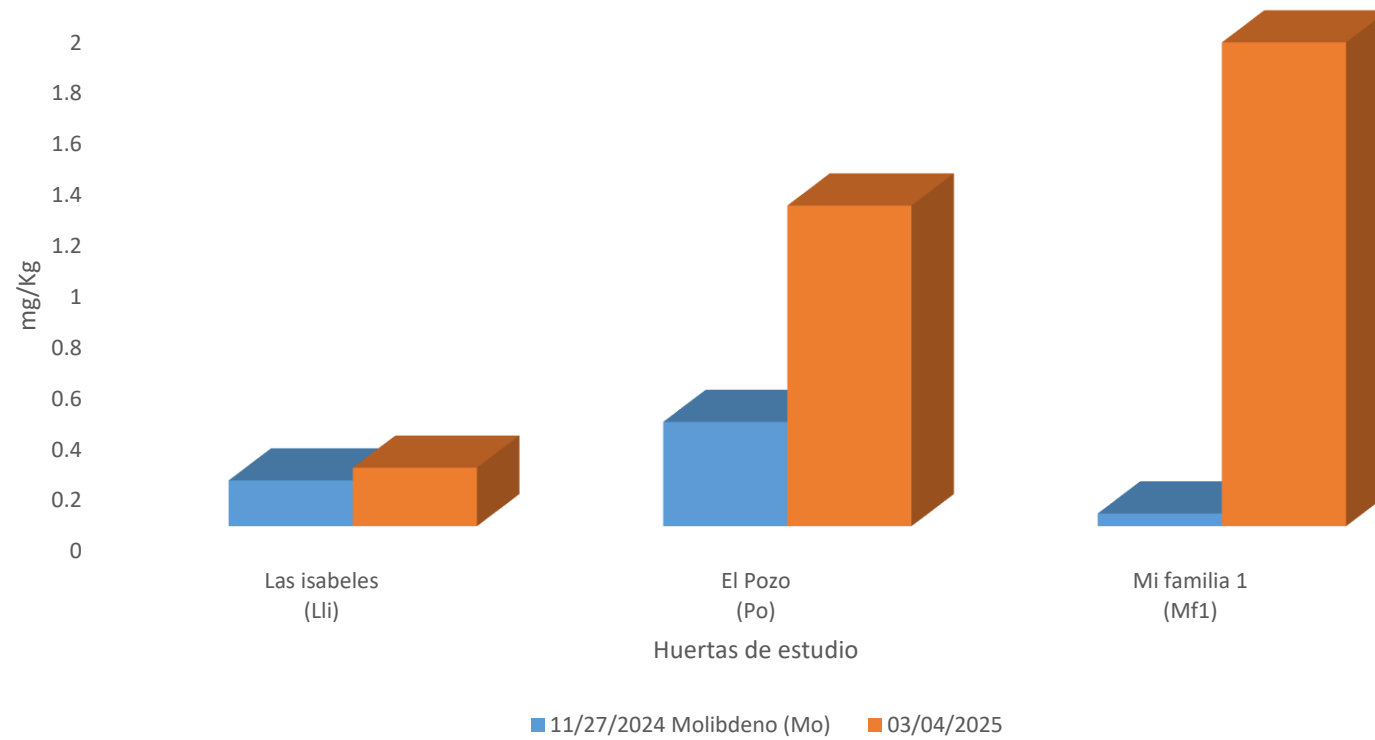
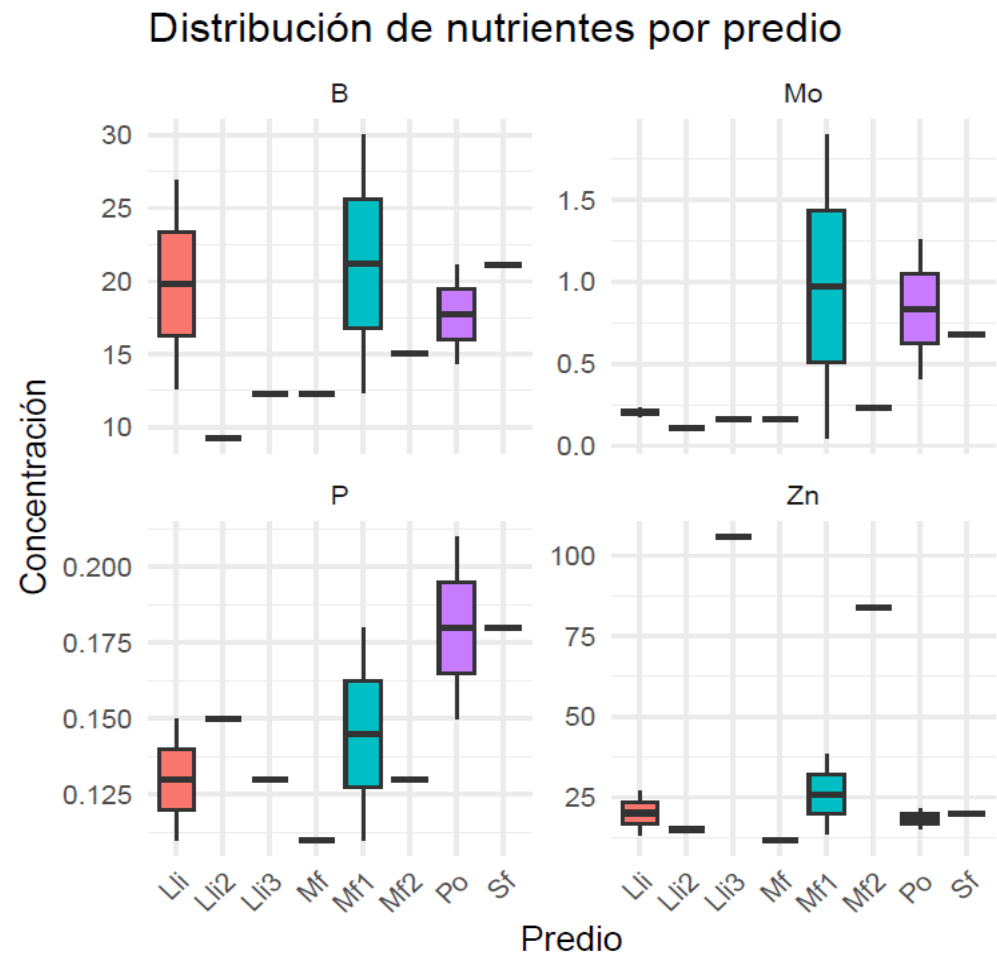


Figura 5. Análisis foliar de Molibdeno (Mo) en el suelo antes y después de la aplicación del biofertilizante.



- Incremento significativo de P foliar en Po y Mf1 después de la aplicación.
- Diferencias en B del suelo entre sitios; Mf1 con valores más altos post-aplicación.
- No se observó correlación directa NDVI ↔ nutrición del suelo durante los muestreos.

Figura 7. Análisis estadístico de las huertas de estudio

Discusión

La caracterización espectral del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass) representa un avance significativo, ya que, hasta el momento, no se había publicado un estudio tan específico en el rango visible a infrarrojo cercano. Sin embargo, en este estudio no fue posible observar las diferencias entre las hojas jóvenes y maduras del aguacate en la región visible del espectro (aproximadamente 480-650 nm), las cuales son de suma importancia, ya que estas variaciones de color están ligadas a los pigmentos de las hojas y la absorción de clorofila.

Es por ello, que en investigaciones futuras es necesario determinar la capacidad única del aguacate de presentar múltiples etapas fenológicas simultáneamente en una misma planta, ya que esto significa que el follaje de diferentes edades y colores coexistirá, lo que naturalmente modifica su respuesta espectral.

Conclusiones

El análisis de NDVI satelital (en las escalas probadas) no mostró una correlación directa con la nutrición del suelo de los huertos de aguacate en los predios evaluados. Por lo que, es necesario realizar un análisis con datos e imágenes satelitales de otras fuentes como el Sentinel (Agencia espacial europea ESA), Planet (privada COSMOGIA Inc.), los cuales tienen sensores con mayor resolución a las usadas en este estudio.

No obstante, se recomienda ampliar el número de unidades experimentales y ventanas temporales con la finalidad de obtener datos más contundentes. Por otro lado, es indispensable llevar a cabo algunas correcciones a los polígonos de las parcelas de estudio, con el propósito de eliminar áreas que no pertenecen a la cubierta vegetal del cultivo analizado.

Referencias

Artículo de investigación. 5(1), 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i1.1893>.

CNN (2017). "Oro verde: el aguacate le deja más ganancias a México que los hidrocarburos". CNN Español. Recuperado de <https://cnnespanol.cnn.com/2017/03/07/oro-verde-el-aguacate-le-deja-mas-ganancias-a-mexico-que-los-hidrocarburos>

Debangshi, U. (2021). *Drone-Applications in Agriculture Drones-Applications in Agriculture*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5554734>

Kalamkar, R. B., M. C. Ahire, P. A. Ghadge, S. A. Dhenge and Anarase, M. S. (2020). Drone and its Applications in Agriculture. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 9(06): 3022-3026. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.906.363>.

García-Martínez, R.; Cortés-Flores, J.I.; López-Jiménez, A.; Etchevers-Barra, J.D.; Carrillo-Salazar, J.A.; Saucedo-Veloz, C. (2021) Rendimiento, Calidad y Comportamiento Postcosecha de Frutos de Aguacate ‘Hass’ de Huertos Con Diferente Fertilización. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 12, 205–218. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2232>

Gerard Sylvester. (2018). *E-agriculture in Action: Drones for Agriculture*. Editorial FAO. Bangkok, Thailand Páginas; 112 ISBN 978-92-5-130246-0

Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 198). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107017>

Sánchez Valdés, A., & Sánchez Rodríguez, G. (2021). El Clúster del Aguacate en México. Un crecimiento sostenido a partir de la producción y desarrollo del mercado. *RIVAR* (Santiago), 8(24), 21-435 35. DOI <https://doi.org/DOI 10.35588/rivar.v8i24.5165> · ISSN 0719-4994

Zaman, Q. U., and A. W. Schumann. 2006. Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. *Precision Agriculture* 7(1):45-63. DOI:10.1007/s11119-005-6789-z

Basics

FAO. (2022). Major tropical fruits: Preliminary results 2021. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ce1a6fdb-4043-49a4-ae1b-ac6f03f83f27/content>

Gómez, A. R., (2006). Globalización, competitividad y comercio exterior. *Análisis Económico*, XXI(47),131-178.[fecha de Consulta 24 de Septiembre de 2025]. ISSN: 0185-3937. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41304708>

Kogan, F. N. (1997). Global Drought Watch from Space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 621-636. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2)

Lahav, E., Whiley, A. W., & Turner, D. (2013). Irrigation and Mineral Nutrition. In B. Schaffer, B. N. Wolstenholme, & A. W. Whiley (Eds.), *The Avocado: Botany, Production and Uses* (2 ed., pp. 301 - 341). Eds.; CABI Publishing: New York, NY, USA. pp. 259–299. ISBN 1845937015

Méndez Naya, J., & Calo Blanco, A. (2004). Integración económica, barreras no arancelarias y bienestar social. *ICE, Revista De Economía*, 1(814). Recuperado a partir de <https://revistasice.com/index.php/ICE/article/view/637>



MARVID®

© MARVID-Mexico

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162, 163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169, 209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BMARVID is part of the media of MARVID-Mexico., E: 94-443.F: 008- (www.marvid.org/booklets)