



ANÁLISIS ESPACIAL DE LA ABUNDANCIA DE *Lactarius deliciosus* MEDIANTE ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y HUMEDAD: UN ENFOQUE MICOLÓGICO BASADO EN LA TELEDETECCIÓN Y MUESTREO DE PARCELAS

Carolina Magalí ERRUVIDARTE¹; Santiago Andrés MARTÍNEZ²

RESUMEN

Este estudio se realizó en un pinar experimental en Eldorado, Misiones, Argentina, para investigar cómo las condiciones edafoclimáticas, monitoreadas mediante teledetección, afectan la presencia del hongo comestible *L. deliciosus*. Este hongo, que crece en suelos con hojarasca y acículas de *Pinus sp.*, es común en otoño y se encuentra en diversas provincias argentinas. Se seleccionaron 10 parcelas de 1 m² en el pinar, donde se registró la abundancia de hongos entre marzo y agosto de 2022 y 2023. Para el análisis, se utilizaron imágenes satelitales de Sentinel-2 L2A, y se calcularon los índices NDVI y NDMI para evaluar la vegetación y la humedad del suelo, respectivamente. El análisis de correlación y regresión realizado con planillas de cálculo mostró una relación débil entre los valores de NDVI y NDMI con la abundancia de *L. deliciosus*, sugiriendo que factores como la calidad del suelo podrían ser más determinantes. Para asegurar la validez, se implementaron controles de calidad en la recolección de datos y la precisión de las imágenes. Estos resultados indican la necesidad de considerar una mayor variedad de factores y usar técnicas de teledetección más avanzadas para comprender mejor la distribución de este hongo.

Palabras claves: *Sensores remotos; NDMI; NDVI; Misiones; Hongos comestibles*

1. INTRODUCCIÓN

En los bosques de coníferas, la teledetección permite monitorear la salud y el vigor de la vegetación, así como la humedad del suelo y los factores críticos para la gestión sostenible de estos ecosistemas. Estos bosques son el hábitat de especies micorrízicas como *Lactarius deliciosus*, una especie comestible. En Argentina, esta especie es conocida en provincias como Entre Ríos, Buenos Aires, Tucumán, Corrientes y Misiones (Singer, 1956; Niveiro et al., 2009). Esta crece únicamente en suelos con hojarasca y acículas de *Pinus sp.*, formando asociaciones ectomicorrízicas. Es frecuente encontrar esta especie en otoño, a menudo formando anillos de brujas (Niveiro et al., 2009).

La simbiosis entre hongos y especies forestales ofrece oportunidades para investigaciones innovadoras (Chung Guin-Po, 2022). Laiho (1970), en su trabajo concluyó que los factores climáticos tienen menos impacto en la producción de cuerpos fructíferos que los factores edáficos. Mientras que, otros estudios sobre diferentes especies de macromicetos, indican que la fructificación se ve beneficiada por temperaturas elevadas en el suelo y un alto contenido de humedad edáfica (Hering, 1966; Peredo et al., 1983). Sin embargo, son pocos los estudios que han cuantificado el efecto específico de estas variables climáticas en la producción de macromicetos, siendo más comunes en la literatura los estudios solamente descriptivos (Laganà et al., 2002).

La teledetección ofrece grandes posibilidades para avanzar en el conocimiento de la naturaleza, aunque todavía no se ha alcanzado todo su potencial debido a la necesidad de mejorar la resolución espacial, espectral y temporal de los datos. Además, es fundamental aplicar un mayor rigor científico en la interpretación de los resultados, evitando extraer conclusiones definitivas de estudios medioambientales realizados con técnicas de teledetección. Los modelos utilizados para interpretar estos datos deben centrarse en eliminar los efectos de la variabilidad en las condiciones de captura, la

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones



distorsión atmosférica y la influencia de parámetros como la posición del sol, la pendiente, la exposición y la altitud (Sacristán-Romero, 2006).

El NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) evalúa el vigor de la vegetación mediante la relación entre las bandas del infrarrojo cercano (700-1300 nm) y rojo (650 nm). Su fórmula es $(\text{infrarrojo} - \text{rojo}) / (\text{infrarrojo} + \text{rojo})$, con valores de -1 a +1 que indican desde vegetación débil hasta vigorosa. Variantes como SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo) y ARVI (Índice de Vegetación Resistente a la Atmósfera) ajustan el NDVI para corregir efectos del suelo y la atmósfera, mejorando la precisión en distintas condiciones (Manrique, 1999).

El NDMI (Índice de Humedad Normalizada) mide la humedad de la vegetación usando reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) y del infrarrojo de onda corta (SWIR). Su fórmula es $(\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$, con valores entre -1 y +1, donde valores más altos indican mayor contenido de agua (EOS, n.d.). Khanmohammadi et al. (2015) y Kheradmand et al. (2015) destacaron la precisión del NDMI para estimar la humedad del suelo utilizando imágenes satelitales.

Este trabajo tiene como objetivo explorar la aplicación de la teledetección para el monitoreo de las condiciones edafoclimáticas en diferentes ambientes para examinar la relación entre estos factores y la presencia de *Lactarius deliciosus*. A través de la integración de tecnologías avanzadas y el análisis de datos ambientales, se busca contribuir al conocimiento y manejo de este hongo comestible.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

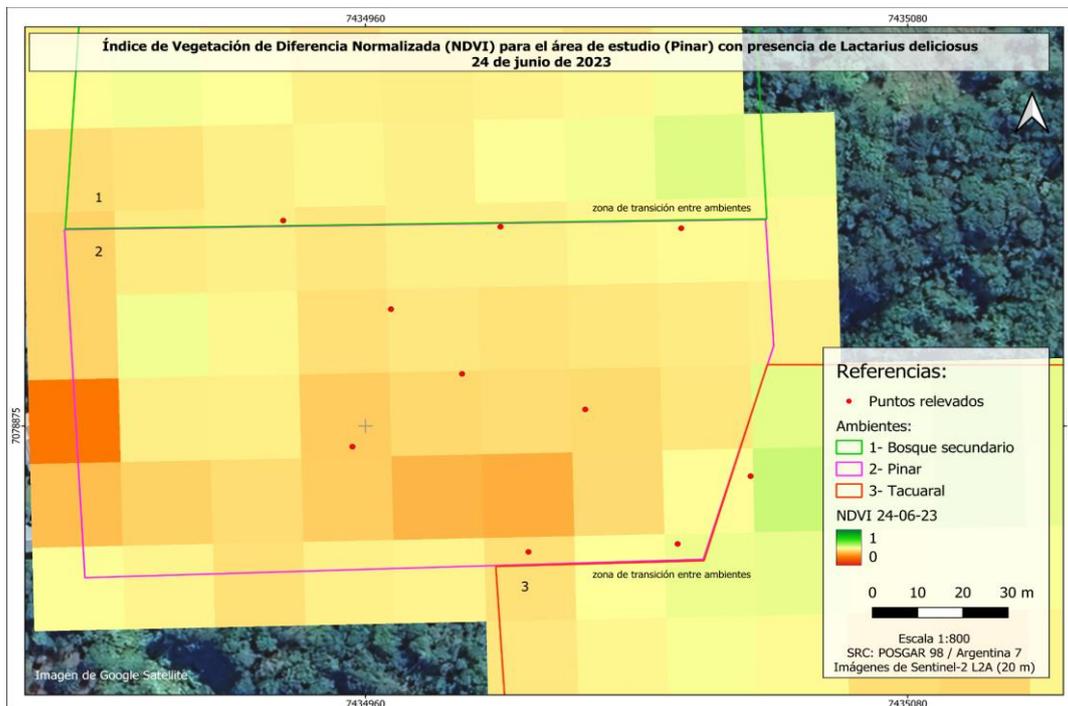
El estudio se realizó en un pinar experimental abandonado de 15 años, ubicado en Eldorado, Misiones (coordenadas: -26,415787°, -54,651553°), con una superficie de 1 hectárea con un sotobosque dominado por helechos y *Piper sp.* El área de estudio ocupada por el pinar se encuentra influenciada al norte por un bosque secundario y al sureste por un ambiente ocupado por tacuaras (*Phyllostachys sp.*). Para estudiar la especie de *L. deliciosus* se seleccionaron aleatoriamente 10 parcelas de 10 m², distribuidas en el centro (ambiente ocupado puramente por pinos – “Pinar”) y bordes del área (que corresponden a zonas de transición entre pino-bosque secundario - “Sotobosque” y pino-tacuara - “Tacuaral”) (Mapa 1). Entre marzo y agosto de 2022 y 2023, se registró la abundancia contabilizada por fructificaciones de hongos en un área de 1 m² en el centro de cada parcela de 10 m² establecida al azar, el día 26 de cada mes.

Se seleccionaron tres puntos de muestreo para los índices NDVI y NDMI en las zonas de Tacuaral y Sotobosque, y cuatro puntos en el Pinar. Los meses fueron escogidos estratégicamente para representar momentos de mayor y menor abundancia de *L. deliciosus* durante los dos años de estudio (2022 y 2023), con el fin de analizar la relación entre estos índices y la abundancia de la especie. Las fechas seleccionadas corresponden a meses clave, en los que se observaron picos de abundancia del hongo y otros con menor proliferación, permitiendo evaluar la variabilidad temporal y espacial en los diferentes ambientes.

Para el análisis multiespectral, se utilizaron imágenes de Sentinel-2 L2A con bandas del rojo, verde, azul, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta, con una resolución de 20 metros. Se seleccionaron imágenes con baja nubosidad cercanas a las fechas de muestreo, siendo estas: 19-06-2022, 23-08-2022, 21-03-2023 y 24-06-2023. Se calcularon los índices NDVI y NDMI para toda la zona de estudio para evaluar la cobertura vegetal y la humedad del suelo y se generaron mapas temáticos (Mapa 1) para analizar la correlación entre los índices y la abundancia de *L. deliciosus* mediante gráficos de dispersión. Se realizó un análisis de regresión lineal simple. Este método fue seleccionado para modelar la relación entre la variable independiente (abundancia de *L. deliciosus*) y la variable dependiente (valor del índice NDMI en uno de los casos y para el otro los índices NDVI).

Para cada parcela estudiada, se asignó un píxel de 20 m², correspondiente a la resolución de las imágenes de Sentinel-2 L2A utilizadas en el análisis multiespectral. Los valores de NDVI y NDMI se extrajeron de estos píxeles para cada punto relevado, permitiendo evaluar la relación entre la cobertura vegetal, la humedad del suelo y la abundancia de *L. deliciosus* en las parcelas seleccionadas. Para garantizar la validez de los resultados, se llevaron a cabo controles de calidad. Estos incluyeron una

revisión manual de los conteos de basidiomas de *L. deliciosus* en las parcelas, así como la verificación de la precisión geográfica de las imágenes satelitales utilizadas en el cálculo de los índices. Estos pasos fueron fundamentales para asegurar la fiabilidad de los datos obtenidos y del análisis realizado.



Mapa 1. Mapa de índice de Diferencia normalizada (NDVI) para el área de estudio (Pinar) con presencia de *L. deliciosus*. Imagen 24 de junio 2023

3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

El análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) mostró una correlación débil con la abundancia de *L. deliciosus* en todos los ambientes estudiados. En el Tacuaral (Gráfico 1a), las áreas con mayores valores de NDVI tendieron a mostrar una mayor abundancia del hongo, pero la relación fue débil. Esto es consistente con Manrique (1999), quien observó que el NDVI no siempre captura todos los factores determinantes en la distribución de hongos. Esto sugiere que la calidad del suelo y la hojarasca pueden ser factores más relevantes. En el Pinar (Gráfico 1c), la tendencia observada fue similar, pero la amplia dispersión de los datos sugiere que el NDVI no es el único factor determinante. Laiho (1970) argumenta que factores edáficos, como la composición del suelo y las acículas de pino, tienen un impacto significativo en la producción de hongos, lo que podría explicar la falta de una correlación fuerte. En el sotobosque (Gráfico 1b), la relación entre NDVI y la abundancia del hongo fue también débil. La amplia dispersión de los datos sugiere que factores ecológicos adicionales, como la calidad del sotobosque y las interacciones micorrícicas, pueden influir en la presencia del hongo.

Con respecto al Índice de Humedad Normalizada (NDMI) mostró una relación débil con la abundancia de *Lactarius deliciosus* en todos los ambientes evaluados. En el Tacuaral (Gráfico 1d), la tendencia positiva del NDMI con la abundancia del hongo fue débil. La falta de una correlación fuerte puede deberse a que factores como la calidad del sustrato y la presencia de acículas de pino tienen una influencia mayor que la humedad de la vegetación, como sugieren estudios previos (Khanmohammadi et al., 2015). En el Pinar (Gráfico 1f), el NDMI se mantuvo constante con la abundancia del hongo, reforzando la falta de correlación significativa. Esto indica que la humedad no es un predictor confiable de la presencia del hongo en este ambiente específico, lo que sugiere que otros factores podrían estar influyendo. En el Sotobosque (Gráfico 1e), la falta de correlación entre NDMI y abundancia del hongo refuerza la idea de que la humedad no es un factor determinante. Esto sugiere que factores ambientales adicionales, como la calidad del sustrato y las condiciones del sotobosque, tienen un impacto mayor en la abundancia de *L. deliciosus*.



Los resultados indican que tanto el NDVI como el NDMI tienen una correlación débil con la abundancia de *L. deliciosus*. Aunque estos índices proporcionan información sobre el vigor de la vegetación y la humedad, no capturan completamente los factores que afectan la distribución del hongo. Estudios previos, como los de Laiho (1970) y Hering (1966), sugieren que factores edáficos y climáticos pueden tener un impacto más considerable en la fructificación de hongos.

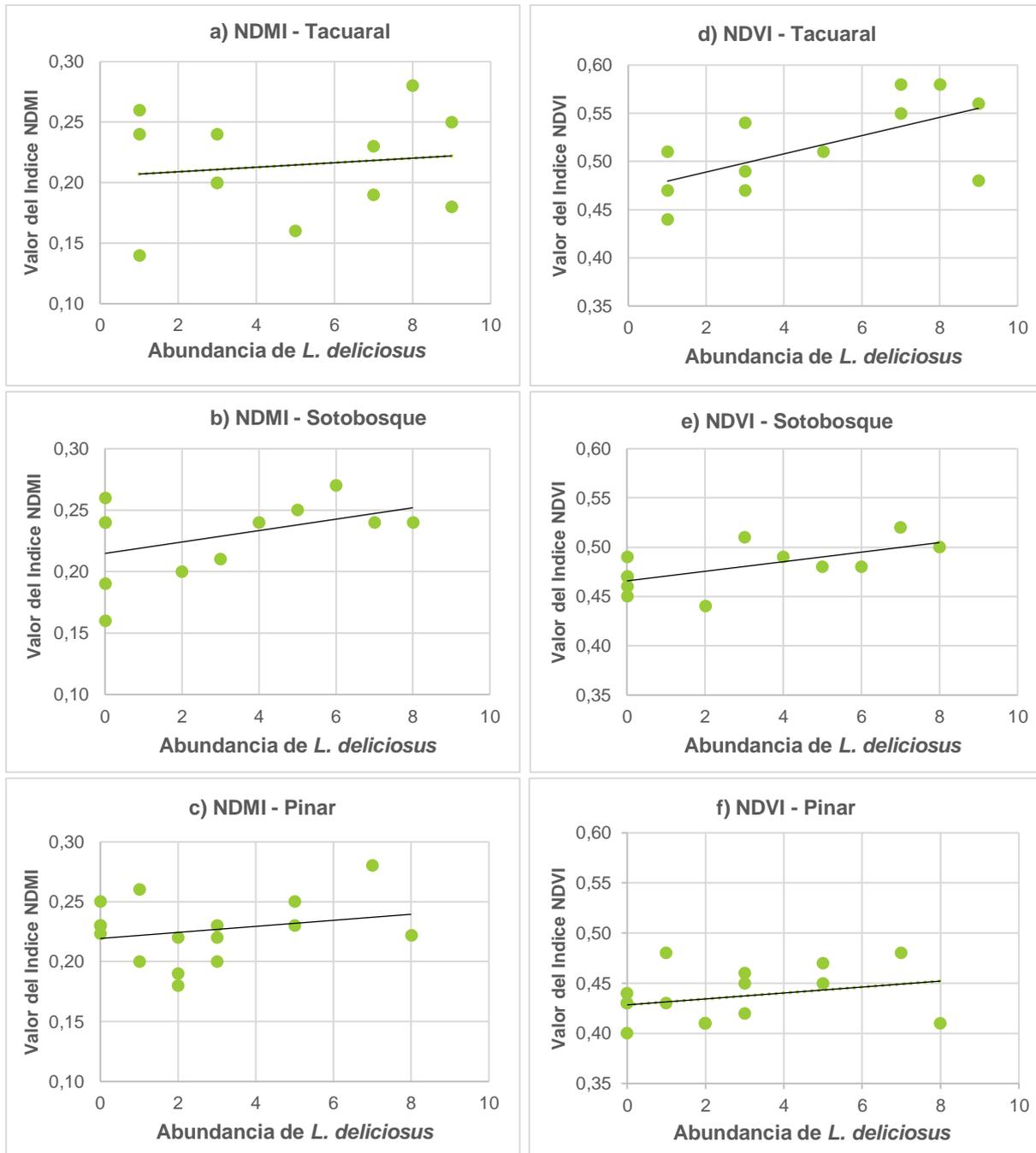


Gráfico 1. Relación entre la abundancia de *Lactarius deliciosus* y el índice NDMI: a) en el Tacuaral, b) en el Sotobosque, c) en el Pinar. Relación entre la abundancia de *Lactarius deliciosus* y el índice NDVI: d) en el Tacuaral, e) en el Sotobosque, f) en el Pinar.

Este estudio resalta la necesidad de investigaciones adicionales que integren una variedad más amplia de factores ambientales y que utilicen técnicas de teledetección con mayor resolución para entender mejor los determinantes de la distribución de *L. deliciosus*. Un enfoque multidimensional en el análisis de datos podría ofrecer una visión más completa de los factores que influyen en la abundancia de este hongo en distintos ecosistemas.



4. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio indican que tanto el NDVI como el NDMI presentan correlaciones débiles con la abundancia de *L. deliciosus* en los ambientes estudiados. Aunque ambos índices proporcionan información valiosa sobre el vigor de la vegetación y la humedad, respectivamente, su capacidad para predecir la presencia y abundancia de *L. deliciosus* es limitada en los contextos analizados. Esto resalta la necesidad de considerar otros factores ecológicos y edáficos, como la calidad del suelo y la composición de la hojarasca, que podrían estar influyendo en la distribución de este hongo. Futuros estudios deberían integrar una gama más amplia de variables ambientales y utilizar técnicas de teledetección con mayor resolución para mejorar la comprensión de los factores que afectan la abundancia de *L. deliciosus*.

5. LITERATURA CITADA

- CHUNG GUIN-PO, P. 2022. Crecimiento in vitro de cuatro cepas de *Lactarius deliciosus* bajo diferentes niveles de pH y medios de cultivo. *Ciencia & Investigación Forestal*, 28(3), 69. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.575>.
- EOS. (n.d.). NDMI - Normalized Difference Moisture Index. EOS. <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndmi/> [consultado el 11 de agosto de 2024]
- HERING, T.F. 1966. The terricolous higher fungi of four lake district woodlands. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 49: 369-383.
- KHANMOHAMMADI, F.; HOMAEI, M.; NOROOZI, A.A. 2015. Soil moisture estimating with NDVI and land surface temperature and normalized moisture index using MODIS images. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 4: 37-45.
- KHERADMAND, V.; JALALI MAJIDI, M.; KHAZAMI, S. 2015. Investigating the possibility of estimating soil moisture from satellite images using the thermal bands. In: *Proceedings of the International Congress on the Ability of the Community in the Field of Management, Economics, Entrepreneurship and Cultural Engineering*, Tehran, Nov 4, 2016: 1-11.
- LAGANÀ, A.; ANGIOLINI, C.; LOPPI, E.; SALERNI, E.; PERINI, C., BARLUZZI, C.; DE DOMINICIS, V. 2002. Periodicity, fluctuations and successions of macrofungi in fir forests (*Abies alba* Miller) in Tuscany, Italy. *For. Ecol. Manag.* 169: 187-202.
- LAIHO, O. 1970. *Paxillus involutus* as a mycorrhizal symbiont of forest trees. *Acta For. Fen* 79: 1-35.
- MANRIQUE, E.G. 1999. Índice de vegetación. Aplicación del NDVI. En S. Castaño Fernández & A. Quintinilla Roedas (Eds.), *Teledetección: Avances y aplicaciones*. VIII Congreso Nacional de Teledetección (pp. 217-219). Albacete, España. Universidad de Málaga.
- NIVEIRO, N.; POPOFF, O.F.; ALBERTÓ, E.O. 2009. Hongos comestibles silvestres: especies exóticas de *Suillus* (Boletales, Basidiomycota) y *Lactarius* (Russulales, Basidiomycota) asociadas a cultivos de *Pinus elliotii* del noreste argentino. *Bonplandia*, 18(1), 65-71.
- PEREDO, H., M. OLIVA, A. HUBER. 1983. Environmental factors determining the distribution of *S. luteus*, fructification in *Pinus radiata* grazing-forest plantations. *Plant and soil* 71: 363-370.
- SACRISTÁN-ROMERO, F. 2006. La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, [S.I.], v. 8, n. 1, p. 315-356, ene. 2006. ISSN 2594-102X. Disponible en: <https://quivera.uaemex.mx/article/view/10575>. Fecha de acceso: 11 jul. 2024.
- SINGER, R. 1956. The *Armillaria mellea* group. *Lloydia* 19 (3): 173-187. - 1957. Las Boletáceas Austroamericanas. *Lilloa* 28: 247-268. - 1969. *Mycoflora Australis*. Lehre. 1. Cramer, 405 pp.