

# Espectroscopía aplicada al análisis foliar de nitrógeno en palma de aceite en la Zona Norte de Colombia

Andrea Zabala-Quimbayo<sup>1</sup>, Estefanía Vargas-Medina<sup>2</sup>, Álvaro H. Rincón-Numpaqué<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Área de Geomática, Programa Agronomía, autora para correspondencia: azabalaq@cenipalma.org

<sup>2</sup>Área de Biometría, Unidad de Validación, <sup>3</sup>Área de Suelos y Aguas, Programa Agronomía, Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma

## Introducción

La palma de aceite es la especie vegetal más productiva entre los cultivos oleaginosos, con rendimientos promedio en Colombia de 3,80 t/ha de aceite y un potencial superior a 7 t/ha, consolidándola como una fuente importante en las cadenas de productividad de aceite vegetal a nivel mundial (Rendana *et al.*, 2015). En este contexto, con el actual desarrollo tecnológico, se espera que la producción del aceite de palma sea más eficiente, considerando la limitación actual para la incorporación de nuevas áreas de desarrollo agrícola. Las estimaciones de la FAO apuntan a que en el año 2050 la producción de palma de aceite puede crecer al menos un 40 %, ya que la población mundial superará los 9.000 millones de personas y precisará un 70 % más de alimentos y fuentes de aceite vegetal (Fundación española de aceite de palma sostenible, 2024). En este sentido, el uso e implementación de herramientas de teledetección es de especial interés en el diagnóstico y determinación de los requerimientos nutricionales de manera eficiente. Este trabajo presenta una propuesta metodológica para la medición de nitrógeno foliar a partir de la caracterización de la respuesta espectral de palma de aceite *Elaeis guineensis* en condiciones de la zona palmera norte de Colombia.

## Materiales y métodos

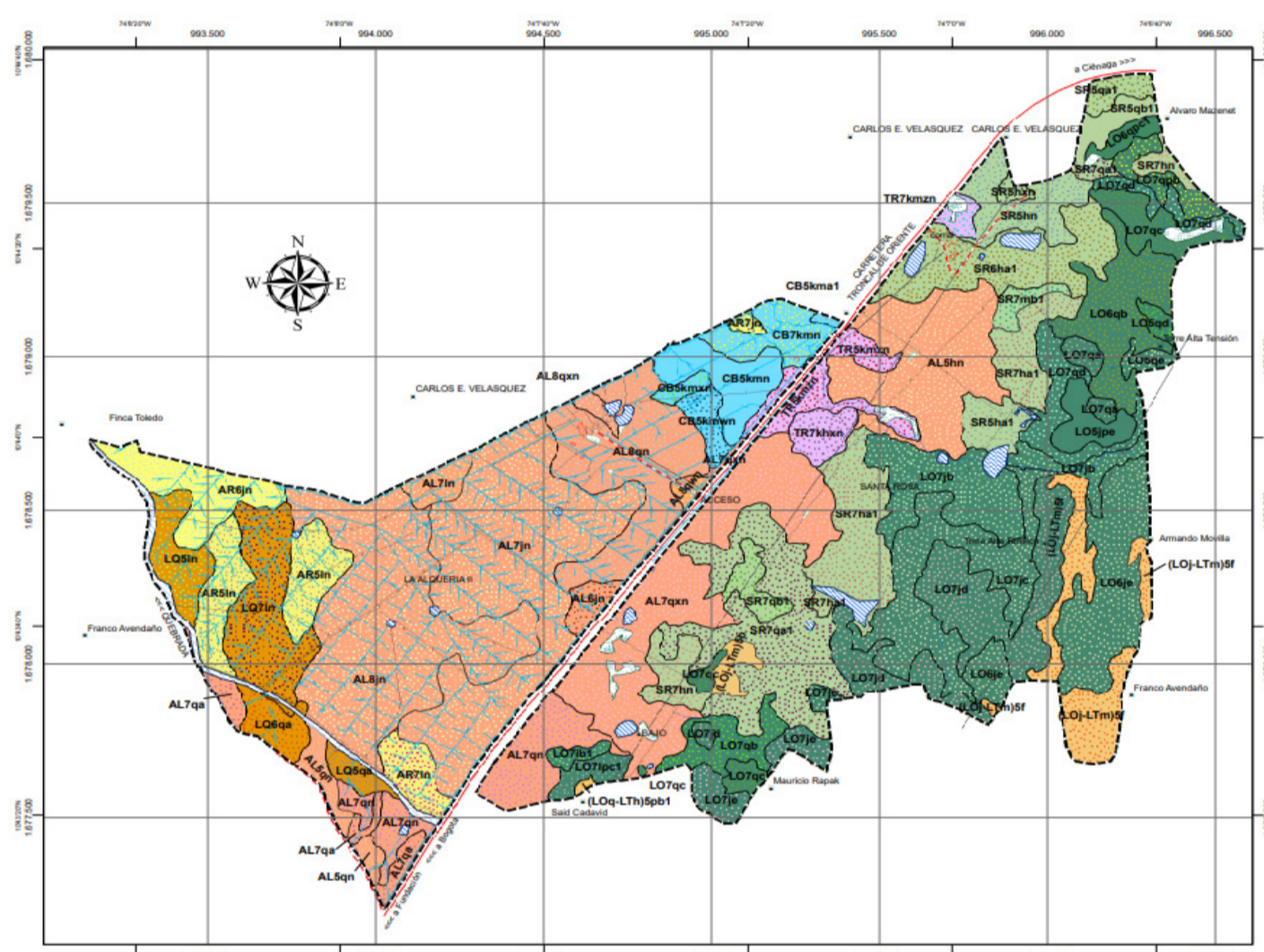


Figura 1. Mapa de suelos del CEPS.

### Área de estudio

Campo Experimental Palmar de la Sierra (CEPS), de Cenipalma, localizado en el municipio de Zona Bananera, Magdalena, Colombia.

A partir de los mapas de suelos (Figura 1) se seleccionaron los lotes para realizar los muestreos de respuesta espectral, teniendo en cuenta los más representativos dentro del orden inceptisol.

### Muestreos foliares

- Foliolos de la porción central de la hoja 17 (Figura 2) de 110 palmas para remitir a análisis de laboratorio foliar.
- Respuesta espectral (% reflectancia) de 110 palmas por medición con espectrorradiómetro (Figura 3). Se realizaron tres lecturas en 10 foliolos de la hoja 17.



Figura 2. Esquema parte central de la hoja.

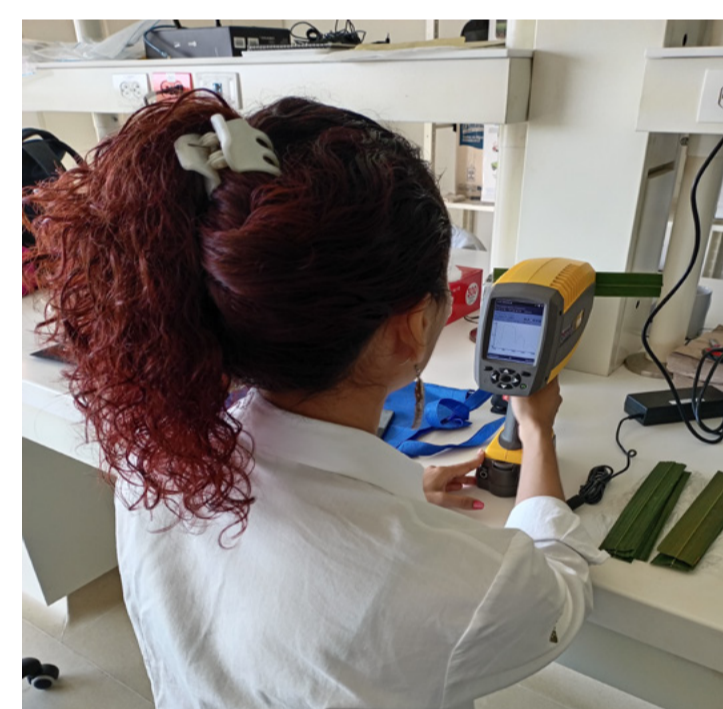


Figura 3. Medición con espectrorradiómetro.

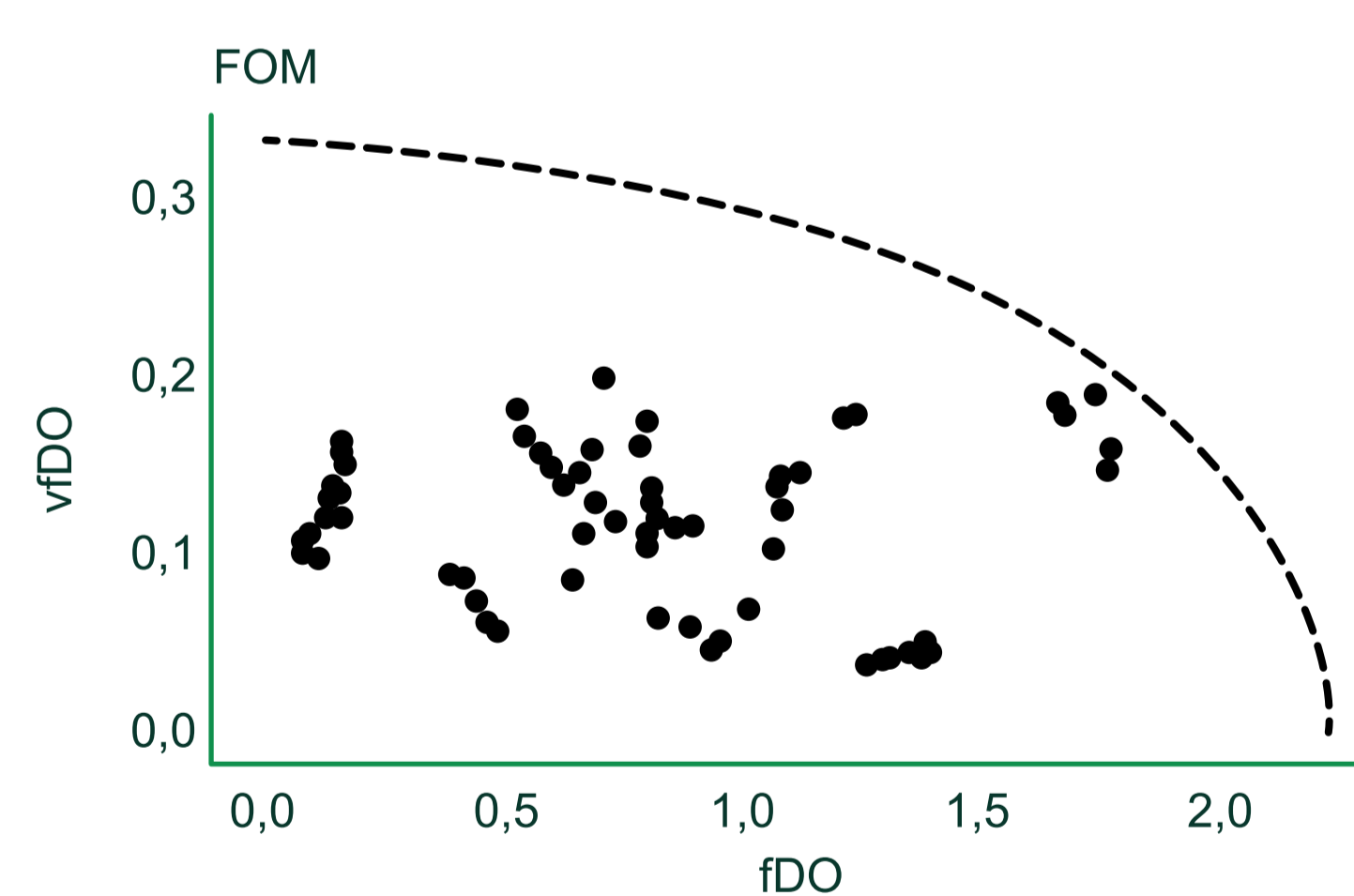


Figura 4. Gráfico de atipicidad funcional direccional.

### Análisis estadístico descriptivo

- Análisis por atipicidad funcional (Figura 4) para determinar la firma representativa por palma, permitiendo identificar las curvas menos atípicas (fDO) y menos variables (vFDO).
- Caracterización del comportamiento del nitrógeno y la respuesta espectral.
- Metodología de datos funcionales para análisis de firmas.

## Resultados y discusión

### Atipicidad funcional

Para la caracterización de las firmas espectrales se logró identificar la más profunda (menos atípica y menos variable) como la firma más representativa por palma (Figura 5a), a partir de las cuales se calcularon las primeras derivadas (Figura 5b).

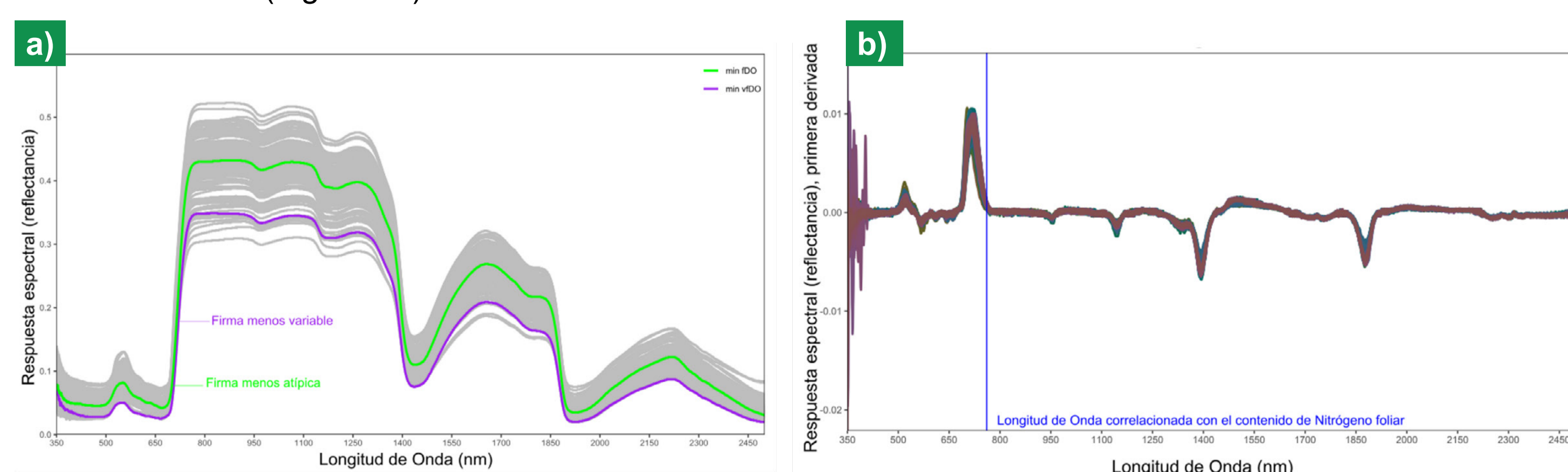


Figura 5. a) Gráficos de caracterización de las firmas espectrales por medio de atipicidad funcional. b) Primera derivada.

La correlación más alta entre el contenido de nitrógeno foliar y el porcentaje de reflectancia se encuentra en la longitud de onda de los 761 nm para la primera derivada (Tabla 1). También, se estimaron los intervalos de confianza (Tabla 2) según el contenido de nitrógeno foliar (bajo, alto).

Tabla 1. Coeficiente de correlación de Spearman del nitrógeno foliar y el porcentaje de reflectancia para *E. guineensis*.

Especie	Firma	Longitud de onda (nm)	Reflectancia (%)	
			Coefficiente de correlación	P-valor
<i>E. guineensis</i>	Original	350	0,49	1,56E-10
<i>E. guineensis</i>	Primera derivada	761	0,57	1,24E-14
<i>E. guineensis</i>	Segunda derivada	716	0,48	2,21E-10

Tabla 2. Intervalos de confianza del 95 % en la longitud de onda 761 según intervalos de nitrógeno foliar.

Especie	Nivel de nitrógeno	Longitud de onda (nm)	Reflectancia (%)	
			Promedio	IC
<i>E. guineensis</i>	Bajo	761	0,404	0,394-0,414
<i>E. guineensis</i>	Alto	761	0,436	0,429-0,443

## Conclusiones

### Firmas espectrales por foliolo y palma

- Se encontró uniformidad en las mediciones de firmas espectrales en foliolos de palma de aceite a partir de la aplicación de la espectrorradiometría portátil.
- La evaluación de la respuesta espectral a nivel foliar mediante el uso de espectrorradiómetro portátil demostró ser eficiente y confiable al realizar tres lecturas por foliolo.
- La medida de atipicidad funcional es útil para analizar las diferencias de las firmas espectrales entre palmas, permitiendo manejar el sesgo como comportamiento característico de los datos en cuanto a forma, magnitud y alta variabilidad.

La lectura de 10 foliolos por palma es un tamaño de muestra representativo para controlar la variabilidad de cada individuo, minimizando el margen de error relativo y ajustando el nivel de confianza según el número de puntos de la firma espectral (2151 entre las longitudes de onda 350-2500 nm). Con esto se busca asegurar la viabilidad para construir un modelo de determinación de nitrógeno foliar a partir de respuesta espectral con un 90 % de confianza y 10 % de error.

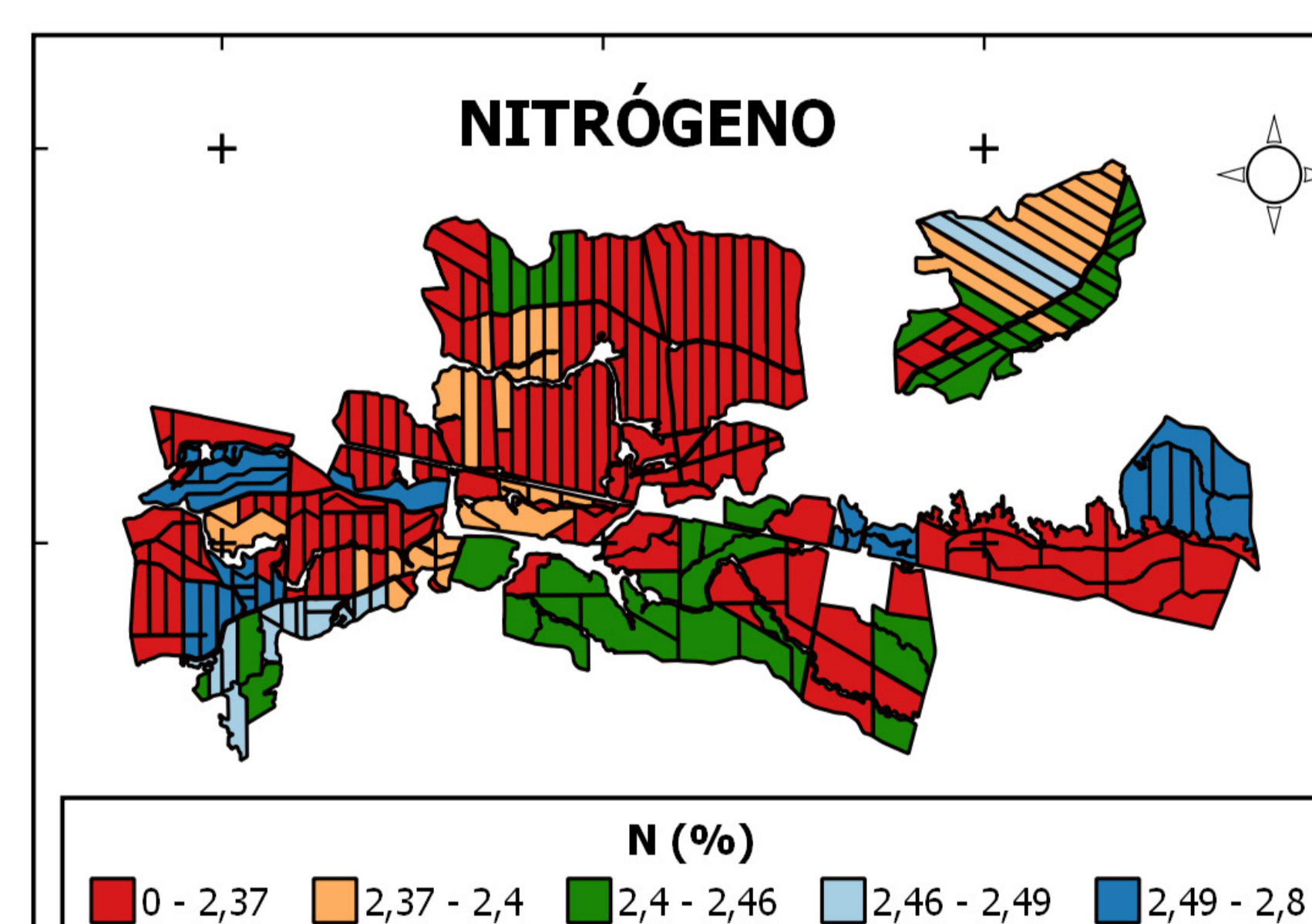


Figura 6. Mapa de clasificación de nitrógeno foliar.

### Proyecciones de uso de la espectrorradiometría en palma de aceite

La longitud de onda de interés, obtenida para la reflectancia foliar según contenido de nitrógeno en palma de aceite, facilita la determinación de rangos de nitrógeno foliar por teledetección y su relación con índices de vegetación aplicables a condiciones de campo del cultivo de palma de aceite, para apoyar la generación de mapas de clasificación de lotes por niveles de contenido de nitrógeno.

## Referencias bibliográficas

- Fundación española de aceite de palma sostenible (2024). ¿Qué es el aceite de palma? <https://aceitedepalma-sostenible.es/#que-es>
- Rendana, M., Abd Rahim, S., Lihan, T., & Ali Rahman, z. (2015). A Review of Methods for Detecting Nutrient Stress of Oil Palm in Malaysia. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*.

## Agradecimientos

Al Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma, por financiar esta investigación y al Campo Experimental Palmar de la Sierra por su apoyo técnico en el desarrollo del proyecto.

La información contenida en este póster es responsabilidad de los autores

CON EL APOYO DEL FONDO DE FOMENTO PALMERO