



# ESTUDIO DE FIRMAS ESPECTRALES DE PALMAS DE ACEITE AFECTADAS CON MARCHITEZ LETAL, USANDO ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS FUNCIONALES

**Ramón Giraldo<sup>1</sup>, Angie Molina<sup>2</sup>, María Acosta<sup>2</sup>**

**Jorge Torres<sup>2</sup> & Sergio Martínez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Profesor Asociado, Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia, <sup>2</sup>Cenipalma, <sup>3</sup>Estudiante, Maestría en Estadística, Universidad Nacional de Colombia.



# Contenido

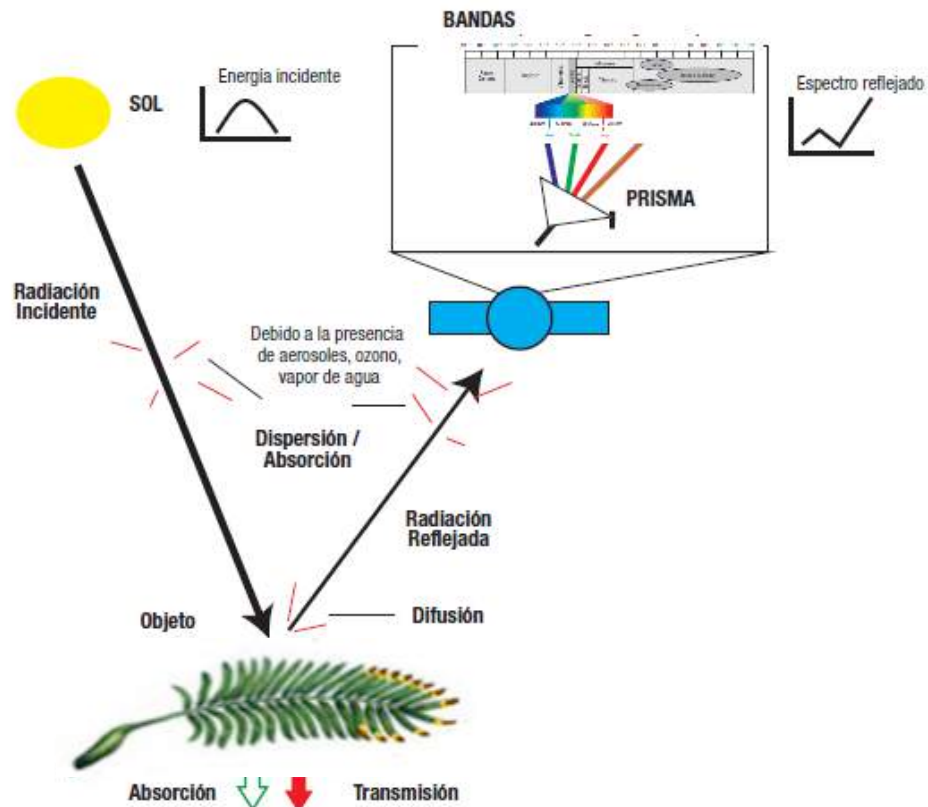
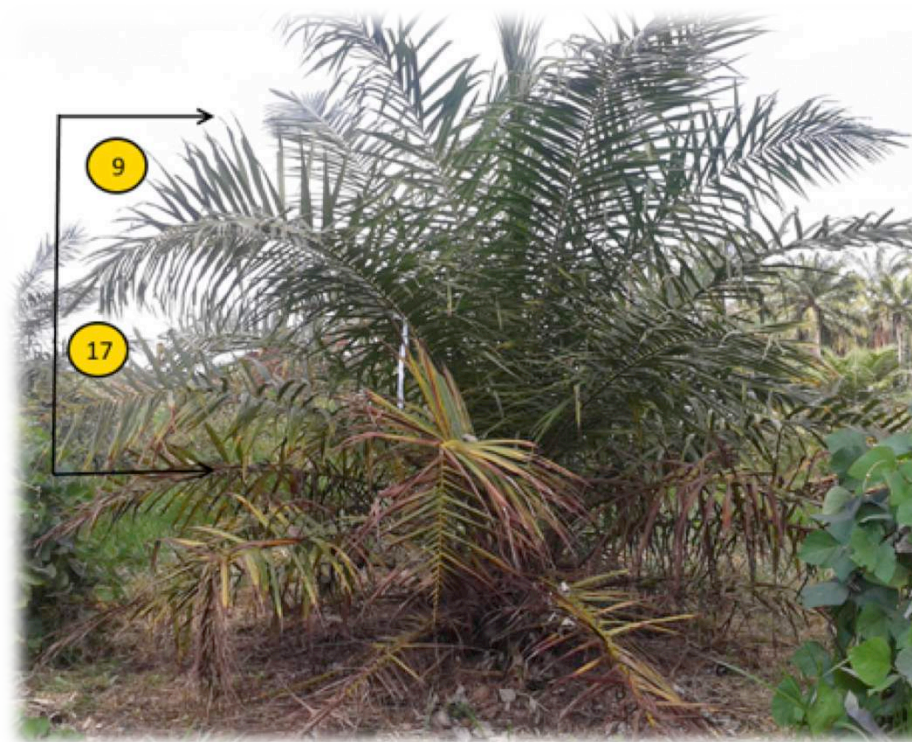
- Introducción
- Descripción de datos
- Metodología
- Resultados e interpretación
- Conclusiones y trabajo futuro



22 al 25 de septiembre de 2015

# 1. Introducción

# Introducción (1)



## Introducción (2)

- Marchitez Letal (ML) se ha convertido en una de las patologías más amenazantes del sector palmero por su carácter letal.
- La espectroscopía de reflectancia se ha usado como una metodología para la detección temprana de enfermedades en plantas.
- Técnicas estadísticas univariadas y multivariadas han sido usadas para analizar datos de espectrometría.

# Introducción (3)

- En este trabajo se combinan técnicas tradicionales (ANOVA, ACP, Discriminante, Regresión, etc.) con análisis de datos funcionales (ADF) para detectar diferencias en la respuesta espectral de palmas que presentan síntomas visibles de *ML*, palmas aparentemente sanas que se encuentren dentro del foco de la enfermedad (*SDF*) y palmas sanas fuera de foco (*SFF*)

# 2. Descripción de los datos analizados



# Zona de estudio

Este trabajo se realizó en una plantación comercial localizada en el departamento del Meta, Colombia





# Características de observación





# Datos

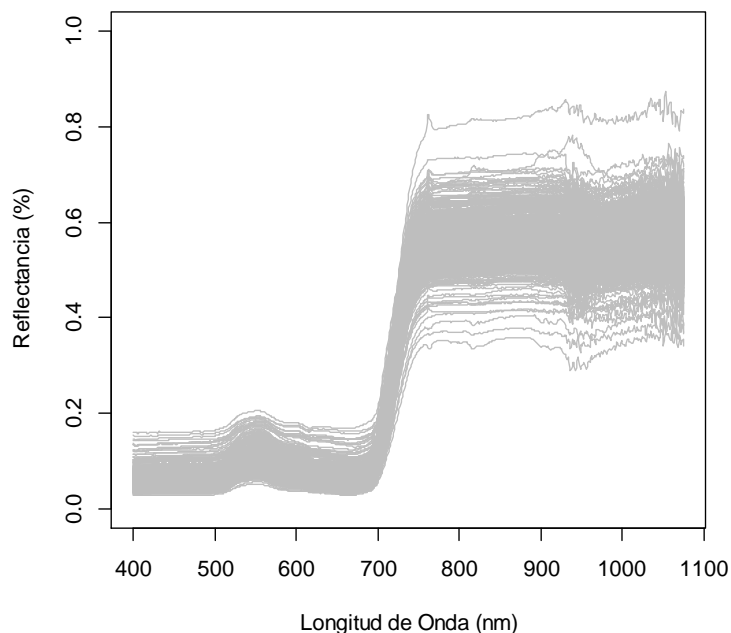
## Datos en campo y laboratorio

- 3 Condiciones de observación (SFF, SDF, ML)
- 40 palmas dentro de cada condición
- 2 hojas por palma (9 y 17)
- 2 réplicas para cada condición y hoja

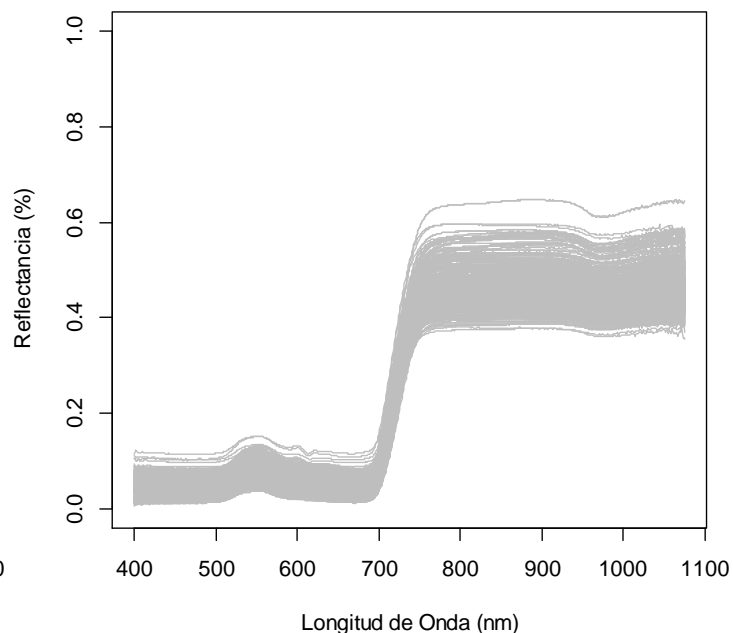
Un total de 480 curvas de reflectancia obtenidas en campo y 480 en laboratorio.

# Curvas de reflectancia en campo y laboratorio

Curvas Observadas de Reflectancia en Campo



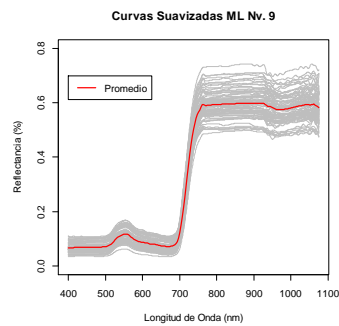
Curvas Observadas de Reflectancia en Laboratorio



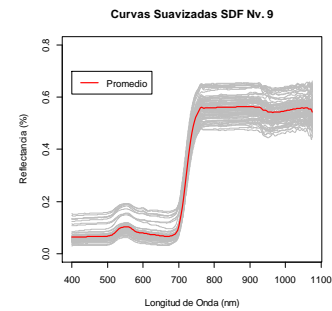
**En laboratorio hay menor media y menor variabilidad en las curvas de reflectancia**

# Datos de campo

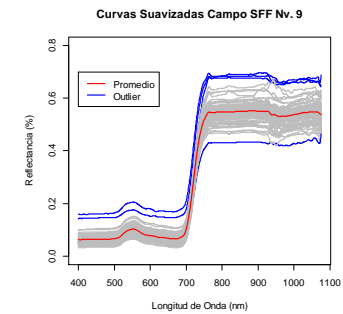
## ML Hoja 9



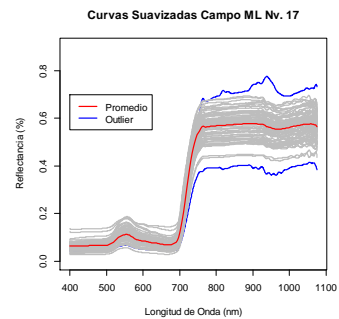
## SDF Hoja 9



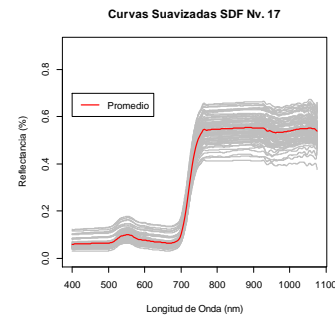
## SFF Hoja 9



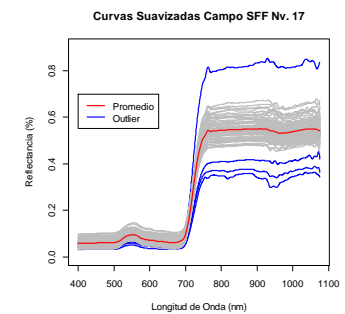
## ML Hoja 17



## SDF Hoja 17

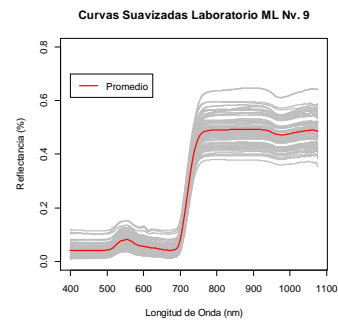


## SFF Hoja 17

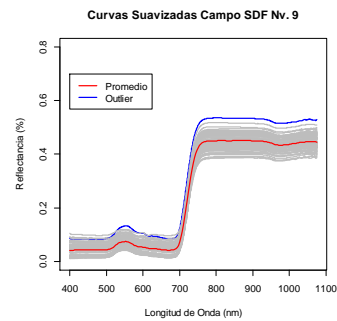


# Datos de laboratorio

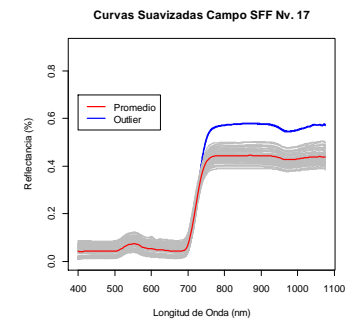
## ML Hoja 9



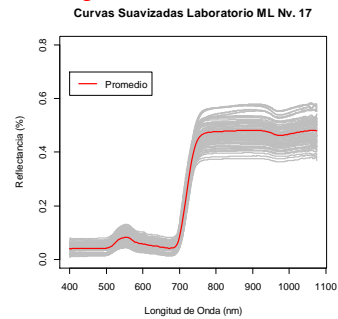
## SDF Hoja 9



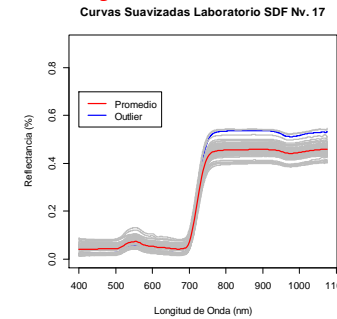
## SFF Hoja 9



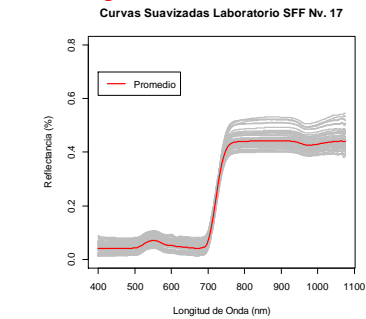
## ML Hoja 17



## SDF Hoja 17



## SFF Hoja 17





# Objetivos del estudio

- Describir el comportamiento de las curvas de reflectancia obtenidas de palmas bajo tres condiciones fitosanitarias (ML, SDF y SFF) en las hojas 9 y 17 (campo y laboratorio).
- Determinar si existe diferencia en el comportamiento espectral de las curvas entre los grupos.
- Definir los valores “Red Edge” (longitud de onda donde hay mayor tasa de cambio de la reflectancia) en cada condición y hoja seleccionada.
- Establecer si hay diferencias entre las mediciones de campo y de laboratorio.

# 3. Metodología de análisis estadístico

# Etapas de análisis (1)

1. Suavizado de datos por B-splines
2. Análisis de profundidad de datos funcionales para detectar curvas de reflectancia atípicas (outliers)
3. Análisis descriptivo (curvas medias de cada grupo)
4. Pruebas de normalidad y de homogeneidad de varianzas sobre los datos suavizados, para cada longitud de onda.
5. ANOVA o Kruskal-Wallis (según el resultado en 4) para comparar condiciones de observación

## Etapas de análisis (2)

6. Comparaciones múltiples de Tukey o Nemenyi (según el resultado de 4) para determinar entre cuales condiciones (ML, SDF, SFF) se dan las diferencias.
7. Pruebas t-student o de Wilcoxon de muestras pareadas para establecer diferencias entre datos de campo y laboratorio.
8. Para cada curva de reflectancia se calcula también su derivada y se obtiene a partir de esta el red edge (RE) (Shafri et al., 2011) como aquella longitud de onda donde se da el valores más alto de la derivada.

## Etapas de análisis (3)

- Test ANOVA (Kruskal-Wallis), Comparaciones de Tukey (Nemenyi) y pruebas de Wilcoxon (pasos 4 a 7) con las derivadas de las curvas.
- Test ANOVA (Kruskal-Wallis), Comparaciones de Tukey (Nemenyi) y pruebas de Wilcoxon con base en los valores RE de cada una de las curvas.



# Resumen de la metodología: Pre-proceso de datos

**Suavizado de datos por B-splines**



**Medidas de Profundidad de Datos funcionales (detección de outliers)**



**Estudio descriptivo y evaluación de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (para anova y comparaciones múltiples)**

# Resumen de la metodología: Test de comparaciones

## **ANOVA o Kruskal-Wallis Test**

(Hay diferencias entre las condiciones?)



## **Tukey o Nemenyi Test**

(Entre cuáles condiciones hay diferencias?)



## **Wilcoxon Test**

(Hay diferencias entre Campo y Laboratorio?. Hay diferencias entre los Hojaes foliares de la misma condición)

## **Variables:**

1. Reflectancia
2. Derivada de la Reflectancia
3. Red Edge

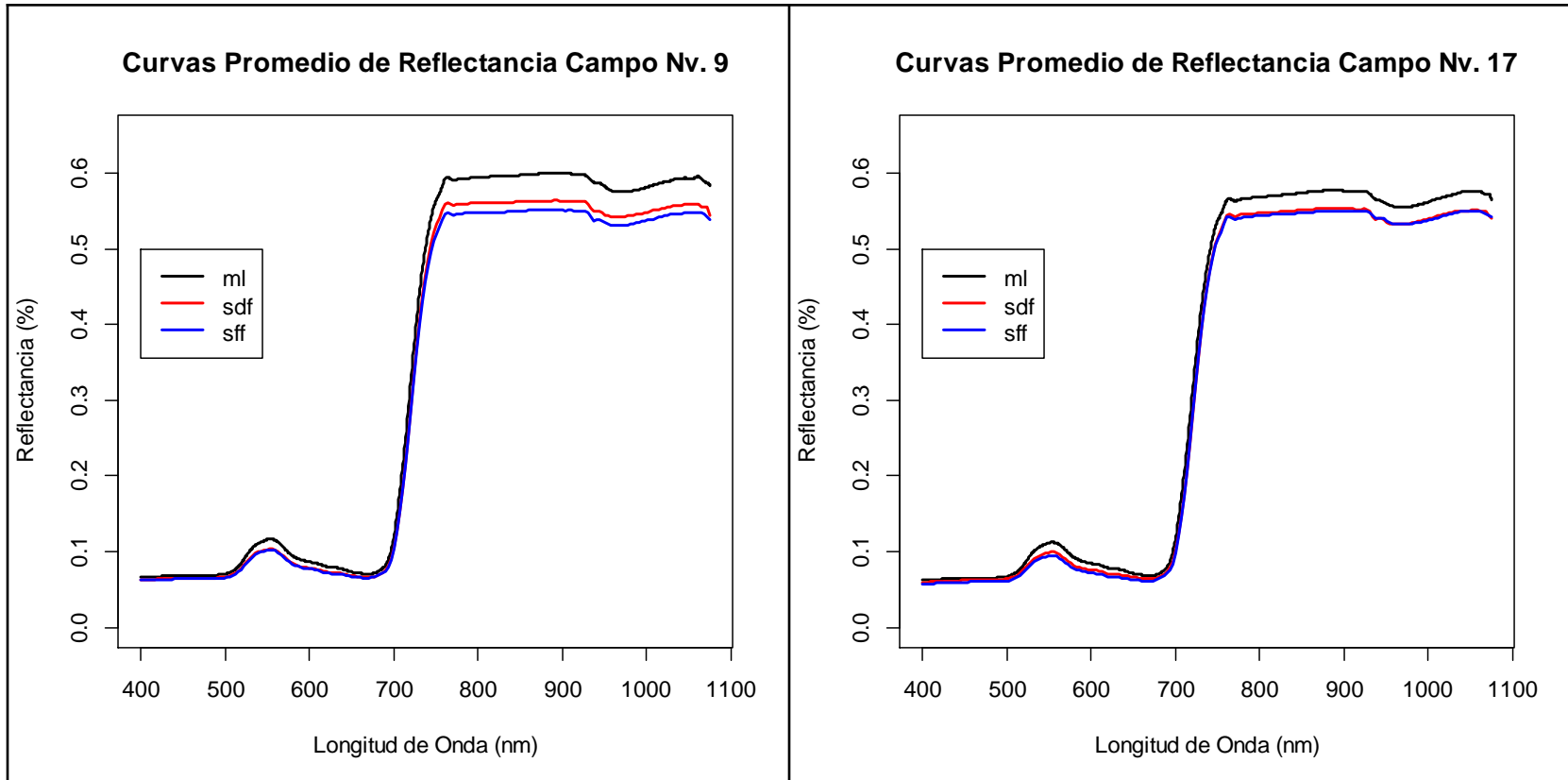


22 al 25 de septiembre de 2015

# 4. Resultados

# 4.1 Gráficos de medias

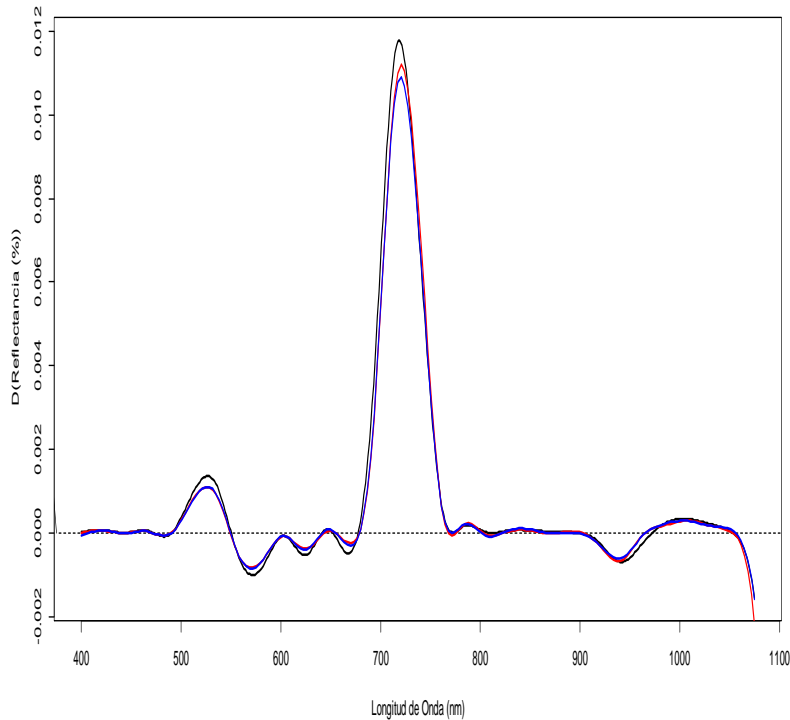
# Curvas de reflectancia promedio en campo



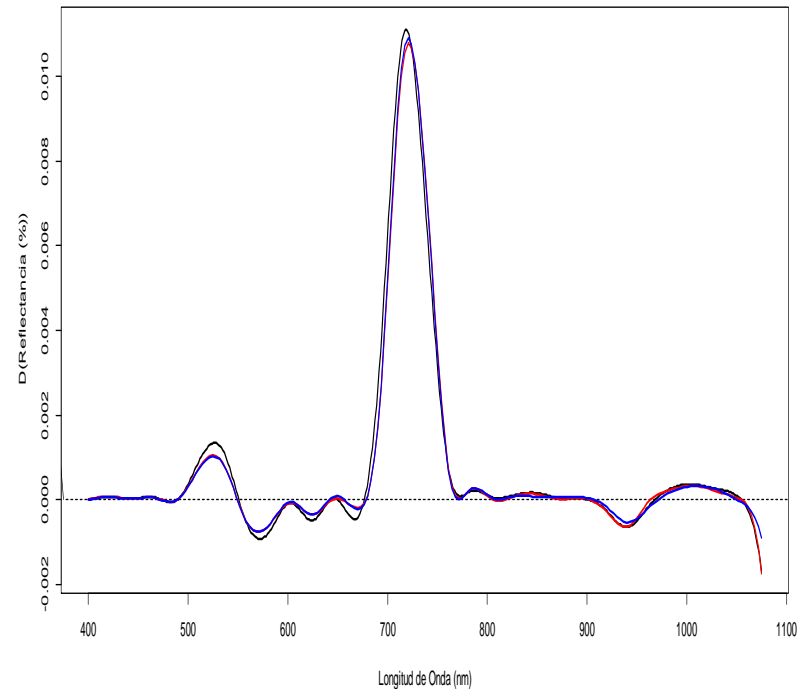


# Curvas promedio de derivadas de reflectancia en campo

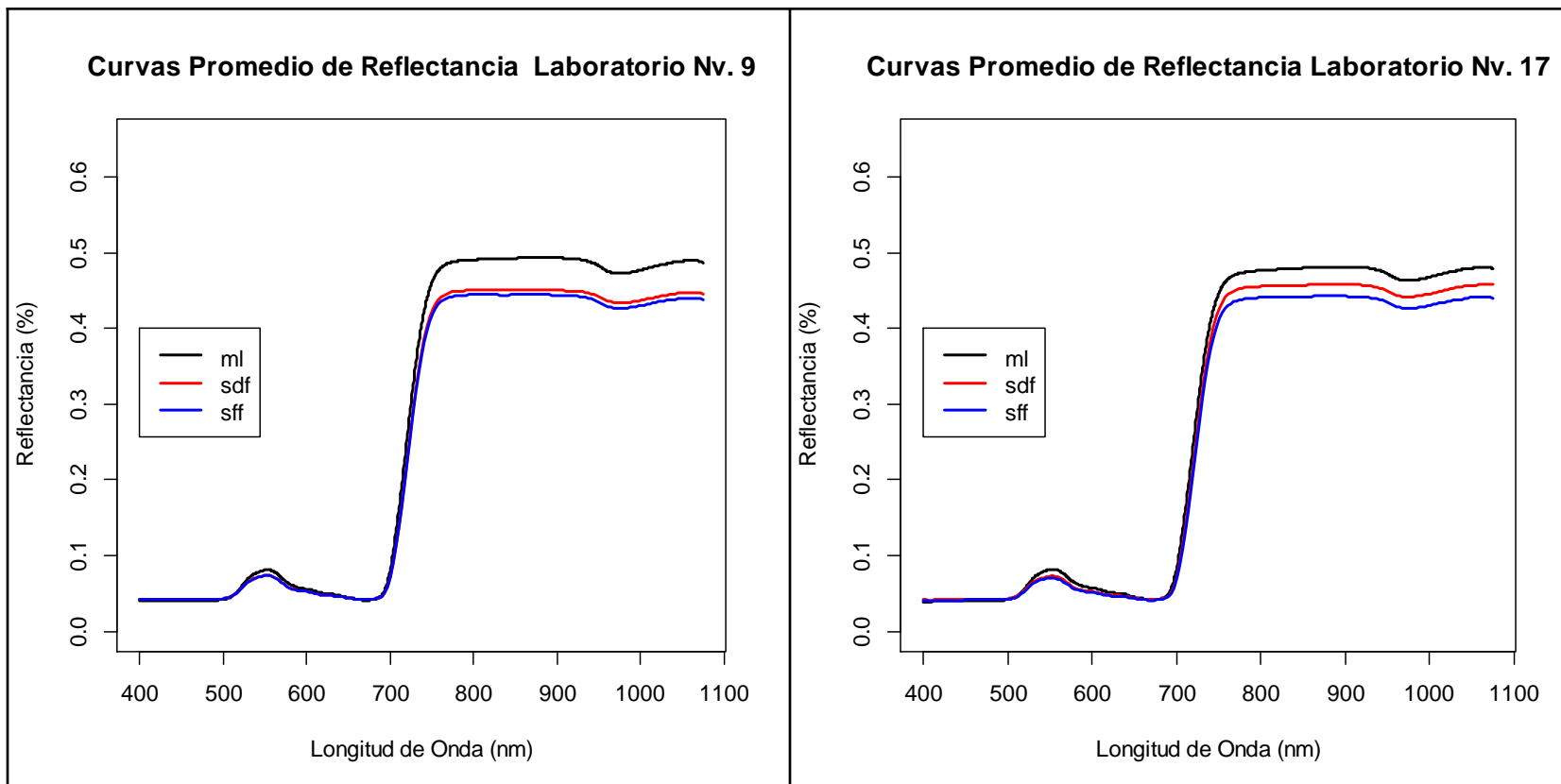
Derivada de las Curvas Promedio de Reflectancia Campo Nv.9



Derivada de las Curvas Promedio de Reflectancia Campo Nv.17

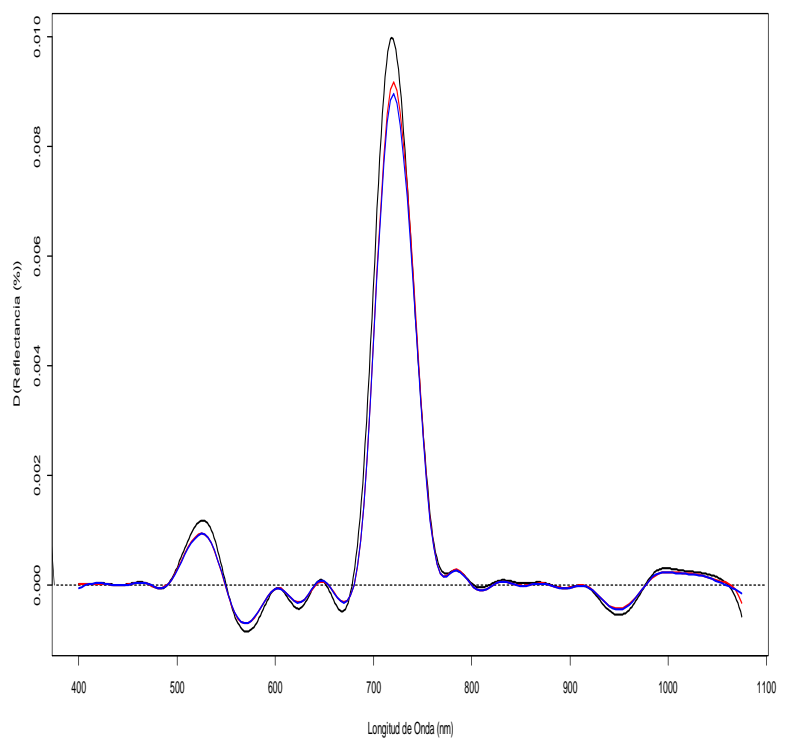


# Curvas de reflectancia promedio en laboratorio

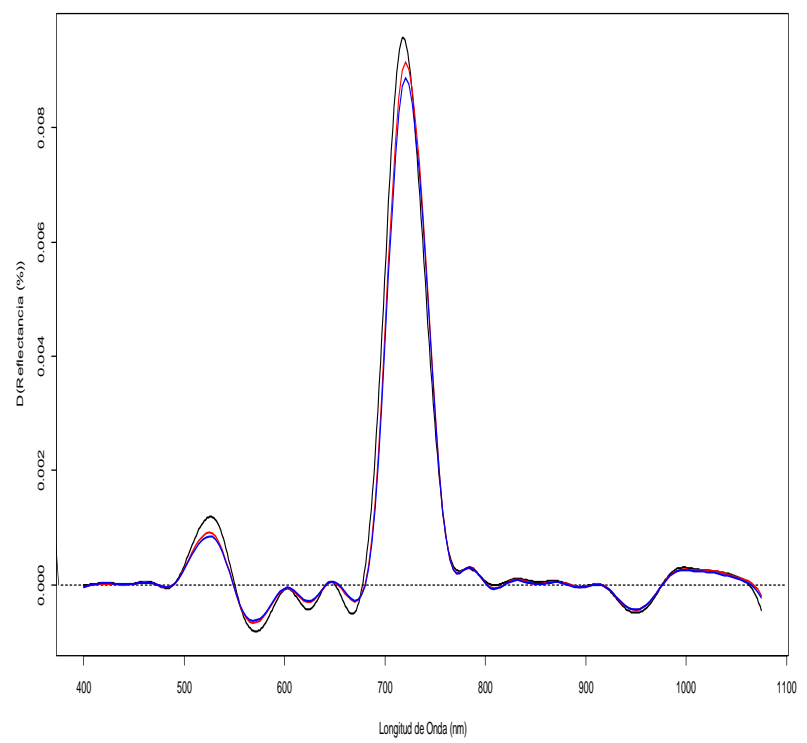


# Curvas promedio de derivadas de reflectancia en laboratorio

Deriva de las Curvas Promedio de Reflectancia Laboratorio Nv.9



Deriva de las Curvas Promedio de Reflectancia Laboratorio Nv.17





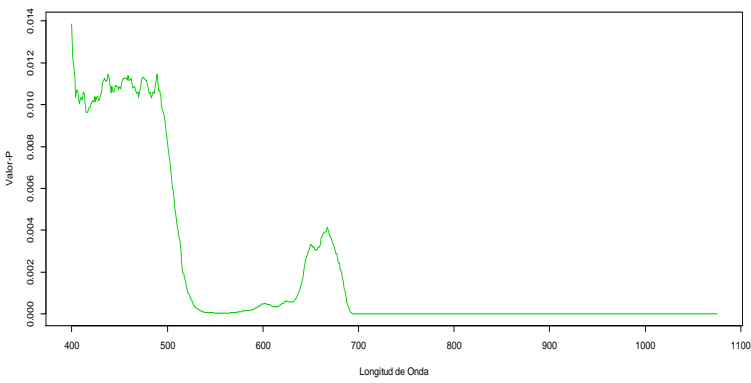
# 4.2 Test de igualdad de medias y comparaciones múltiples



# Valores P del test de Kruskal-Wallis con datos suavizados

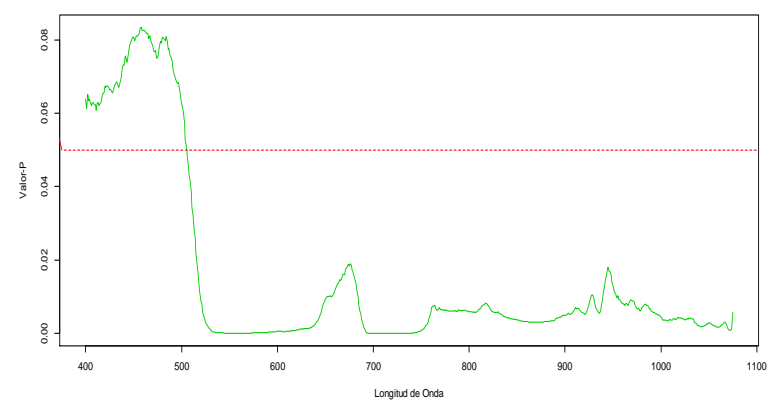
Campo Hoja 9

Valores-P Prueba Kruskal-Wallis



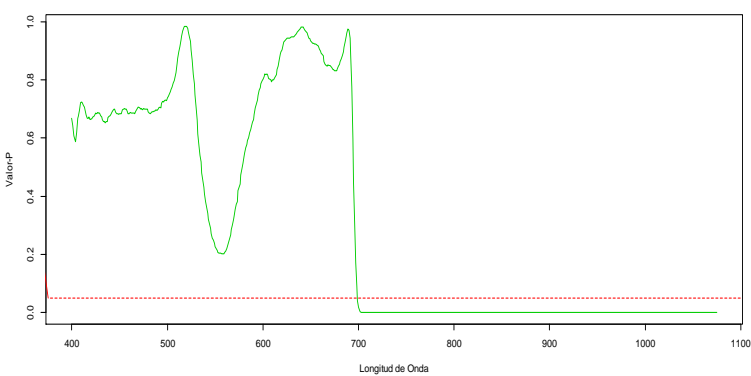
Campo Hoja 17

Valores-P Prueba Kruskal-Wallis



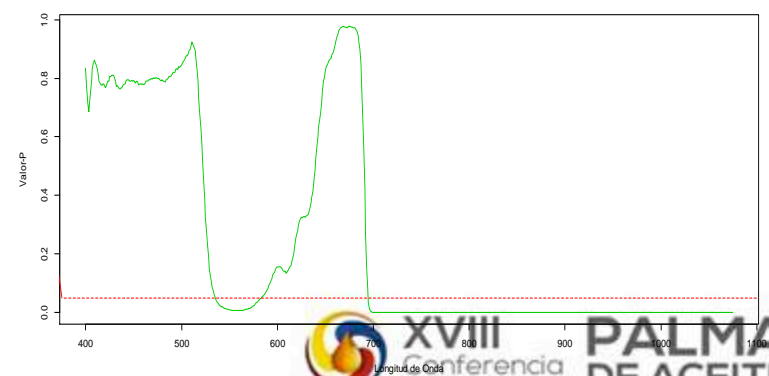
Laboratorio Hoja 9

Valores-P Prueba Kruskal-Wallis



Laboratorio Hoja 17

Valores-P Prueba Kruskal-Wallis

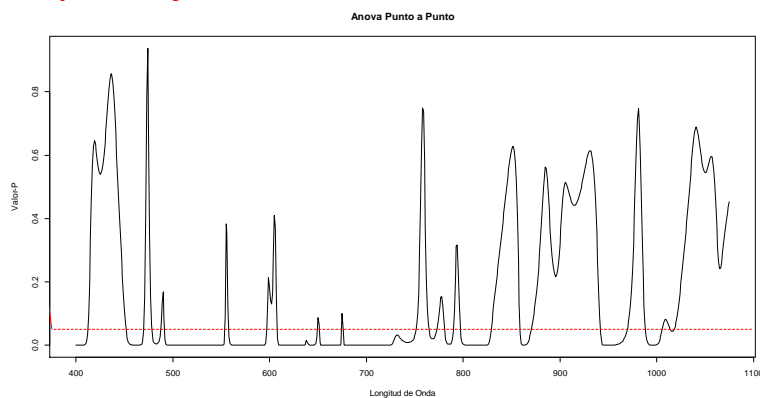


# Test de Nemenyi datos originales

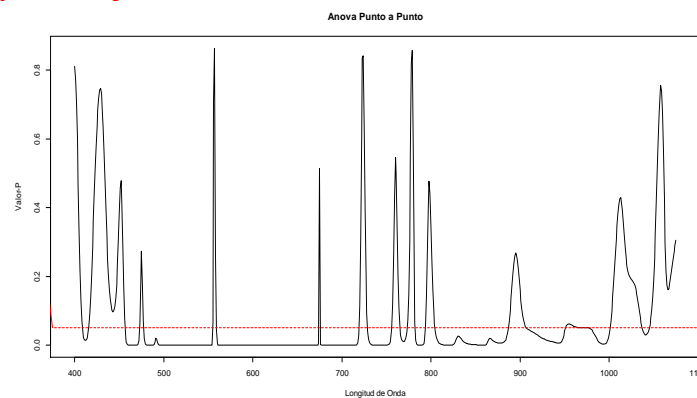
Hoja de Comparación	ML vs SDF	ML vs SFF	SDF vs SFF
Datos de campo, Hoja 9	ML > SDF en todo el espectro	ML > SFF en todo el espectro	No hay diferencias significativas SDF y SFF en ninguna LO
Datos de campo, Hoja 17	ML > SDF en LO de 506 a 1075 nm.	ML > SFF en LO de 506 a 1075 nm.	No hay diferencias significativas SDF y SFF en ninguna LO
Datos de laboratorio, Hoja 9	ML > SDF en LO mayores a 700 nm	ML > SFF en LO mayores a 700 nm	No hay diferencias significativas SDF y SFF en ninguna LO
Datos de laboratorio, Hoja 17	ML > SDF en LO entre 535 a 583 nm , y entre 693 a 1075 nm	ML > SFF en LO entre 535 a 583 nm, y entre 693 a 1075 nm	SDF > SFF en longitudes de onda entre 727 a 1075 nm

# Valores-P del ANOVA con datos de derivadas

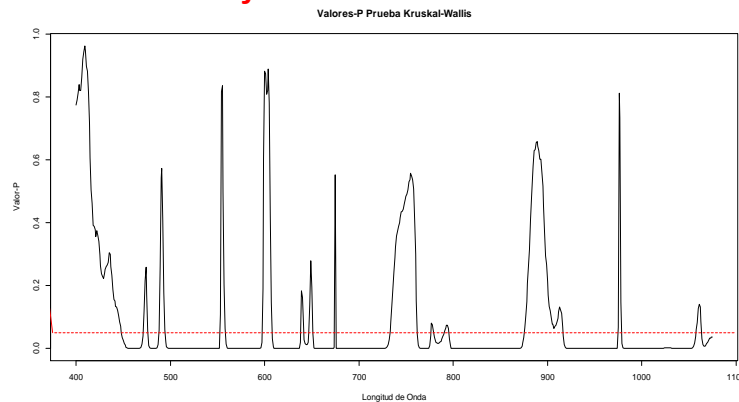
Campo Hoja 9



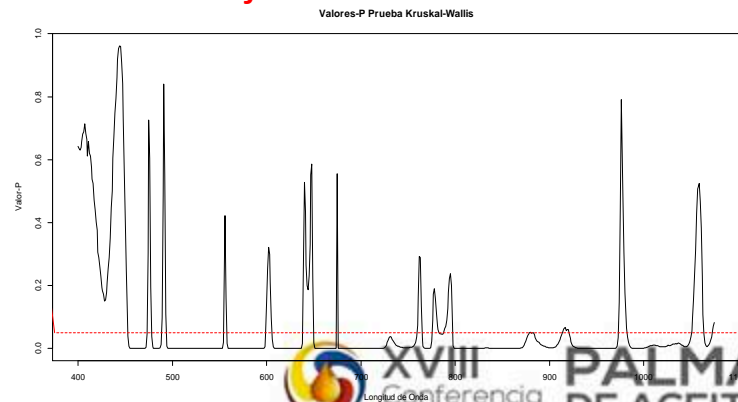
Campo Hoja 17



Laboratorio Hoja 9



Laboratorio Hoja 17








# Test de Tukey datos de derivadas

Hoja de Comparación	ML vs SDF	ML vs SFF	SDF vs SFF
Datos de campo, Hoja 9	Diferencias entre ML y SDF en varias LO (ver gráfica anterior)	Diferencias entre ML y SFF en varias LO	Diferencias entre SDF y SFF en varias LO
Datos de campo, Hoja 17	Diferencias entre ML y SDF en varias LO	Diferencias entre ML y SFF en varias LO	Diferencias entre SDF y SFF en varias LO
Datos de laboratorio, Hoja 9	Diferencias entre ML y SDF en varias LO	Diferencias entre ML y SFF en varias LO	Diferencias entre SDF y SFF en varias LO
Datos de laboratorio, Hoja 17	Diferencias entre ML y SDF en varias LO	Diferencias entre ML y SFF en varias LO	Diferencias entre SDF y SFF en varias LO

# 4.3 Comparación de campo y laboratorio



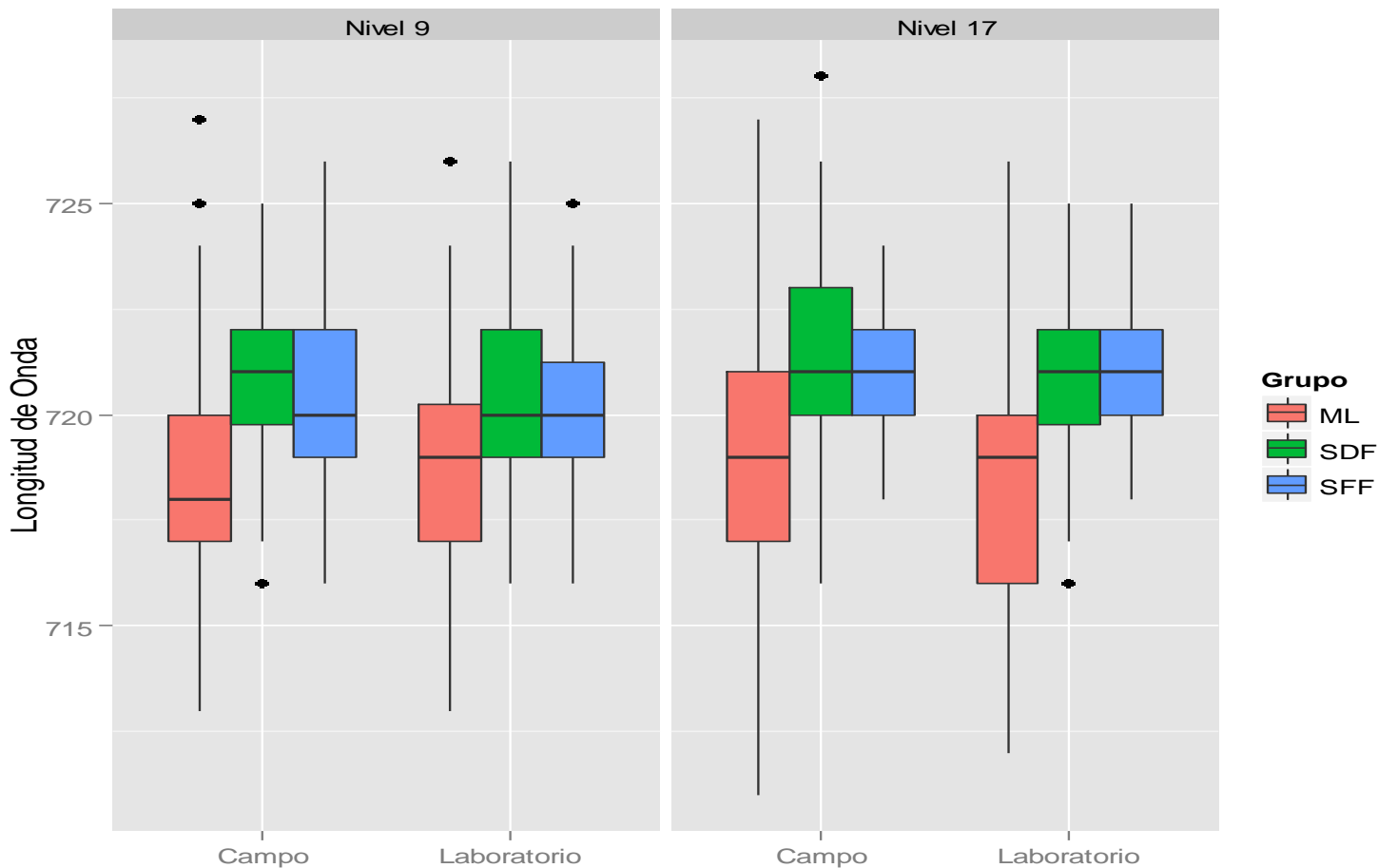
# Comparaciones de firmas espectrales (campo y laboratorio)

- Se realizaron pruebas de Wilcoxon de muestras pareadas para comparar campo y laboratorio (fijando la hoja y la condición)
- Las pruebas indican que en las 3 condiciones (ML, SDF y SFF), en los 2 hojas (9 y 17) y todas las longitudes de onda ***hay diferencias significativas entre los datos de reflectancia de Campo y laboratorio***

# 4.4. Red Edge

# Resultados del Red Edge

Diagramas de Caja y Bigotes Red Edge por Nivel Foliar



# 5. Interpretación de resultados

# Interpretación

n

- Las diferencias en la región del visible (RGB) indican la disminución de los contenidos de clorofila en palmas afectadas por la enfermedad, demostrando el daño en su capacidad fotosintética.
- La alta reflectancia que se presentan en la región del infrarrojo cercano en palmas afectadas con la ML puede estar asociada a la disminución del contenido de agua de las hojas y la limitación del proceso de intercambio gaseoso, viéndose reflejado en la acumulación de CO<sub>2</sub> al interior de la lamina foliar.





22 al 25 de septiembre de 2015

# 6. Conclusiones y trabajo futuro

# Conclusiones (1)

- Tanto con la información de campo como con la de laboratorio, se concluye que existen diferencias en los valores medios de reflectancia de las 3 condiciones (ML, SDF y SFF).
- Con los datos de campo estas diferencias se dan a lo largo de todas las longitudes de onda evaluadas, mientras que con los datos de laboratorio dichas diferencias se presentan en las longitudes de onda correspondientes a las regiones del verde, rojo e infrarrojo.

## Conclusiones (2)

- En general, las firmas espectrales de palmas con ML tienen reflectancia media mayor que las SDF y que las SFF. Además, la reflectancia media obtenidas con los datos de campo (en los tres grupos y las dos hojas foliares) son mayores a las registradas en laboratorio.
- Las técnicas de ADF brindan la posibilidad de tener una visión general del comportamiento de las curvas de reflectancia. Aunque se aplicaron pruebas tradicionales para hacer las comparaciones en cada longitud de onda, la fase preliminar de análisis descriptivo y de identificación de observaciones atípicas desde la perspectiva funcional es fundamental para el posterior uso de las pruebas clásicas.

# Trabajo futuro

22 al 25 de



RGB



NIR camera /NDVI



22 al 25 de septiembre de 2015

# Bibliografía



# Bibliografía estadística

- Hinkelmann, K. & Kempthorne, O. 1994. Design and analysis of experiments. Volume I: Introduction to Experimental Design. John Wiley & Sons.
- Levene, H .1960. Robust tests for equality of variances. In [Olkin, I., Hotelling, H.](#) Stanford University Press. pp. 278–292.
- López-Pintado, S. & Romo, J. 2009. On the concept of depth for functional data. *Journal of the American Statistical Association*, 104 (486), 718-734.
- Kruskal, W. & Wallis, W. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. [Journal of the American Statistical Association](#), 47 (260): 583–621.
- Ramsay, J. & Silverman, B. 2005. *Functional Data Analysis*. Springer.
- Wilcoxon, F. 1945 . Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin* 1 (6): 80–83.