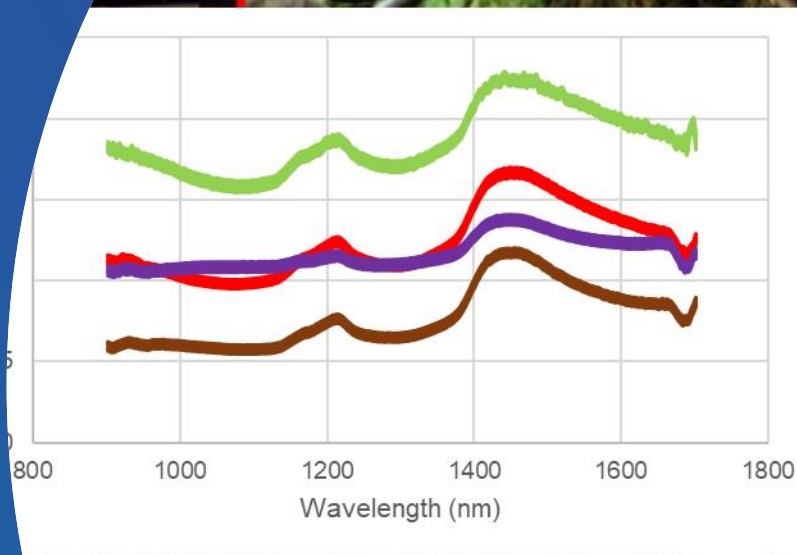




XVIII  
REUNIÓN TÉCNICA  
NACIONAL  
DE PALMA DE ACEITE  
2023

# IA RFF: medición portátil de la calidad de racimos ideal para plantaciones y plantas de beneficio



# Objetivos y alcances



## Objetivo general:

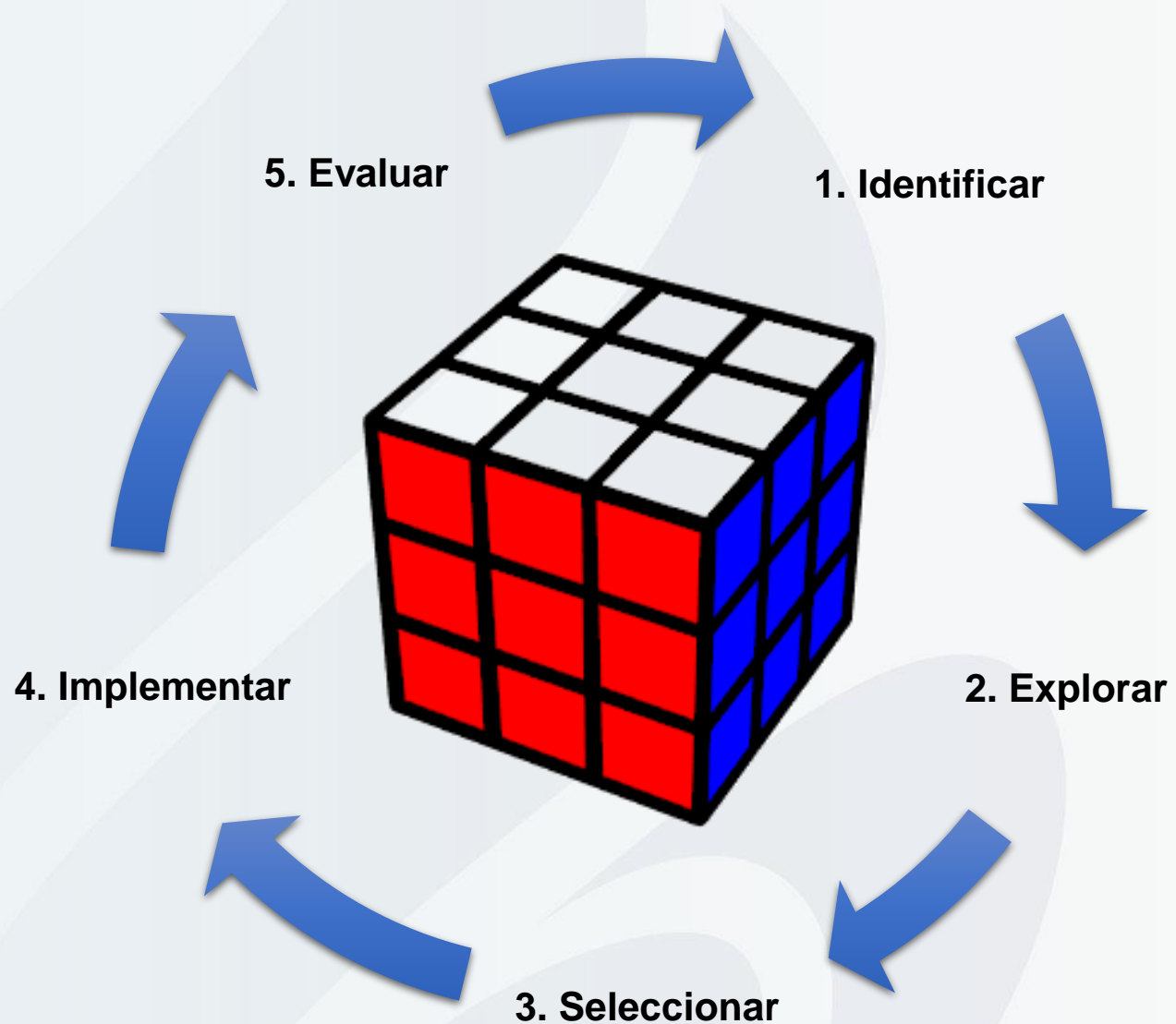
- Desarrollar tecnologías para optimizar la calificación de RFF dada la **alta subjetividad y baja representatividad de los métodos actuales.**

**¡Problema!**

## Alcances:

- Desarrollo de equipos para planta de beneficio y para plantación.
- Entrenamiento y desarrollo de modelos de predicción a partir de criterios de maduración, inicialmente verde para racimos *E. guineensis*.
- Caracterización espectral del fruto en función del grado de madurez a través de tecnologías espectrales tipo NIR.

# Un problema con múltiples aristas



XVIII  
REUNIÓN TÉCNICA  
NACIONAL  
DE PALMA DE ACEITE  
2023



**¡Re-search tantas veces sea necesario!**



# Evolución recursiva de alternativas



XVIII  
REUNIÓN TÉCNICA  
NACIONAL  
DE PALMA DE ACEITE  
2023

## INVENTARIO

Inventario tecnológico sobre sistemas de identificación y clasificación

2019



## DISEÑO

Diseño de propuesta de prototipo considerando aspectos en plantación y en planta de beneficio

Selección de algoritmos Deep Learning para clasificación y segmentación

2020



## CONSTRUCCIÓN

Construcción de prototipo utilizando dispositivos portátiles, batería para autonomía móvil, tarjetas de neuroprocesamiento

Captura de imágenes en plantación y en planta de beneficio

Etiquetado y postprocesamiento digital de imágenes

2021



## EVALUACIÓN

Evaluación funcional de prototipo en transportador de racimos en planta de beneficio.

Evaluación funcional de prototipo en tolva de recepción de racimos en planta de beneficio.

2022



2023

## RE-SEARCH

Re-entrenamiento de modelos de detección de imágenes.

Calibración de modelos de predicción Aceite y Humedad.

Mejoramiento portabilidad y autonomía

2023



.....



**Representatividad de los métodos actuales**

**Subjetividad**

**Variabilidad**

**Escala fenológica (madurez de racimos)**

**Condiciones agroclimáticas**

**Época del año**

**Conformación de los racimos**

**Plagas y enfermedades**

**Nutrición de suelos**

**Tipo de cultivar y material genético**





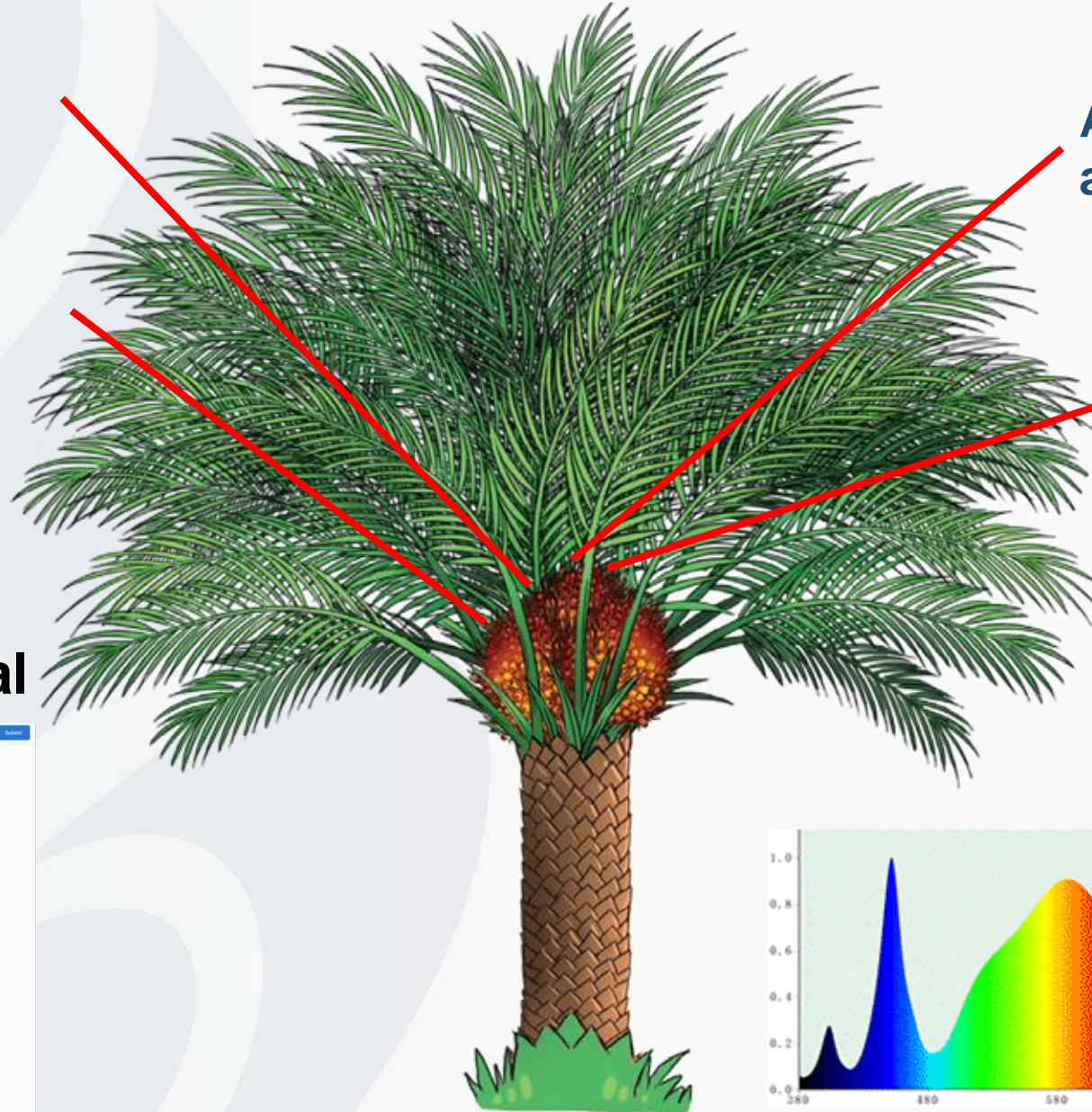
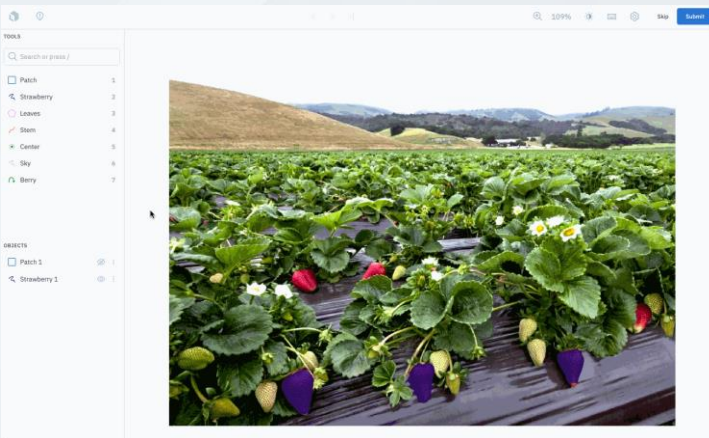
# Perspectivas de una misma solución:

## Visión Computacional (Inteligencia Artificial) y Espectroscopía NIR

Caracterización mediante imágenes (colorimetría y geometría)

Detección de anomalías morfológicas naturales y ocasionadas por externos

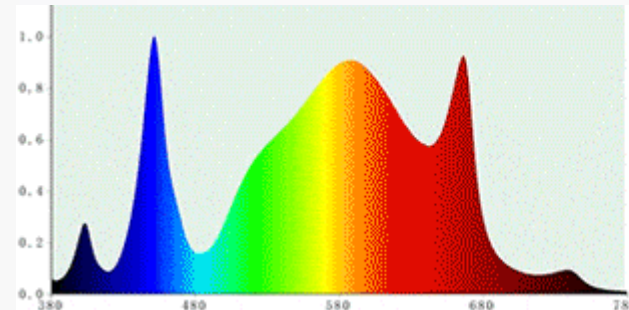
Calificación por Visión Computacional



Asociación de espectros a muestras de frutos

Calibración y validación de modelos de predicción

Caracterización espectral





# Proceso de entrenamiento de red neuronal

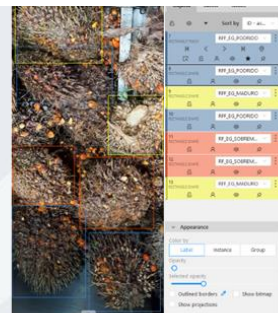
RFF en plantación



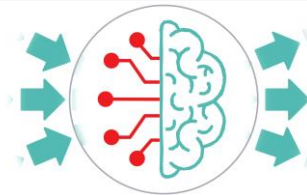
Etiquetado de imágenes plantación



Etiquetado de imágenes en PB



Desarrollo de modelos de predicción para uso en equipo portátil (plantación) o para instalación en sitio (PB)



RFF en tolvas de PB



RFF en transportadores



2020

YOLO V4

2021

SSD Mobilenet V2

2023

YOLO V8

Calificación de racimos con % de probabilidad según:

- Localización dentro del proceso (racimos frescos, racimos esterilizados o racimos desfrutados)
- Tipo de cultivar (inicialmente E. guineensis)
- Madurez:
  - **Inmaduro o verde (actual)**
  - Sobremaduro
  - Podrido
  - Pedúnculo largo
  - Malformado
- Detección de determinados elementos antagonistas de la palma en plantación:
  - Insecto raspador Demotispa N.
  - Deficiencias nutricionales

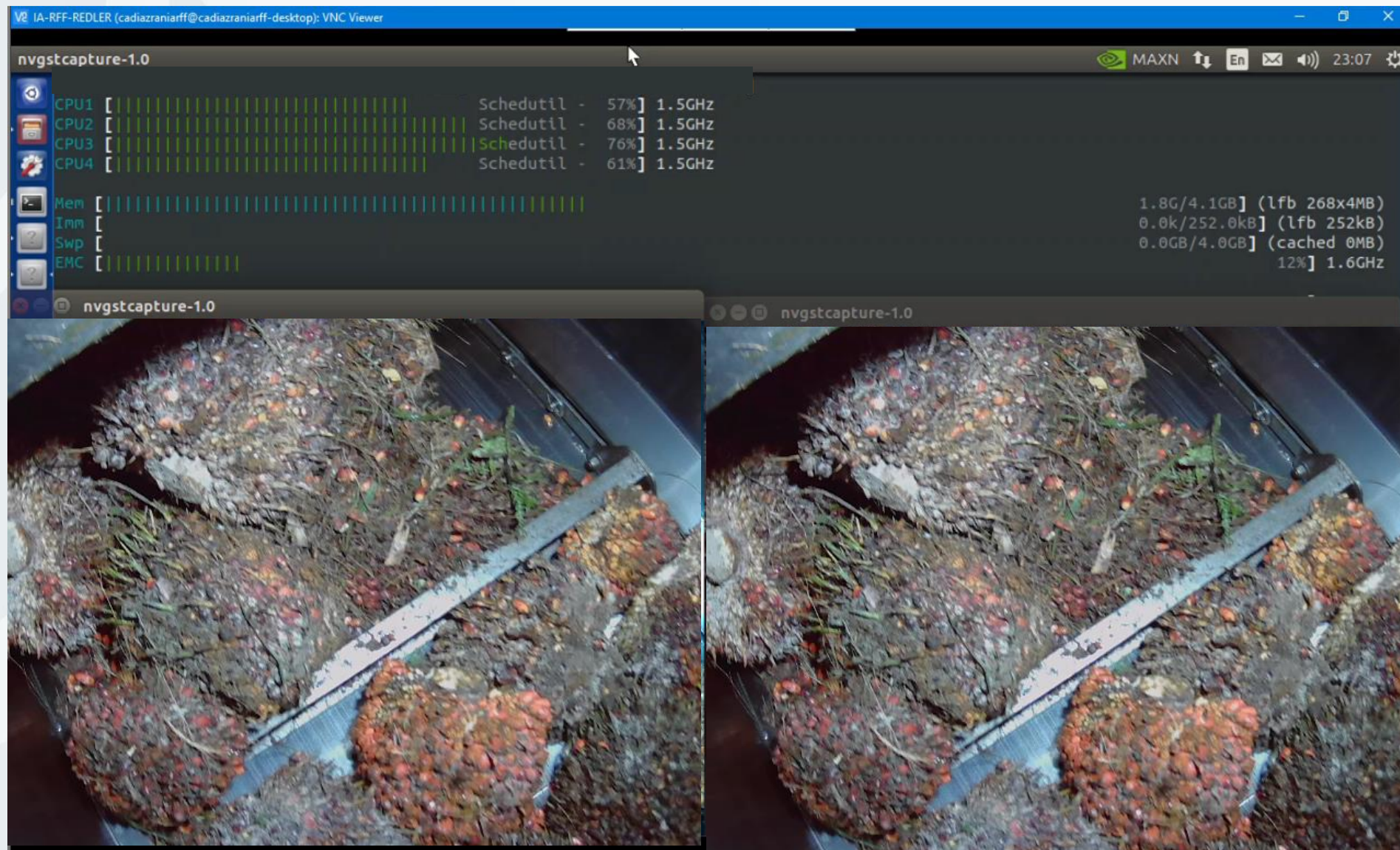


# Prototipo para identificación de racimos en redler (ambiente real en planta de beneficio). Versión 2022

Detección de racimos verdes (escala maduración)

Ensayos con detección de RFF Verde > 70 % (total de muestra)

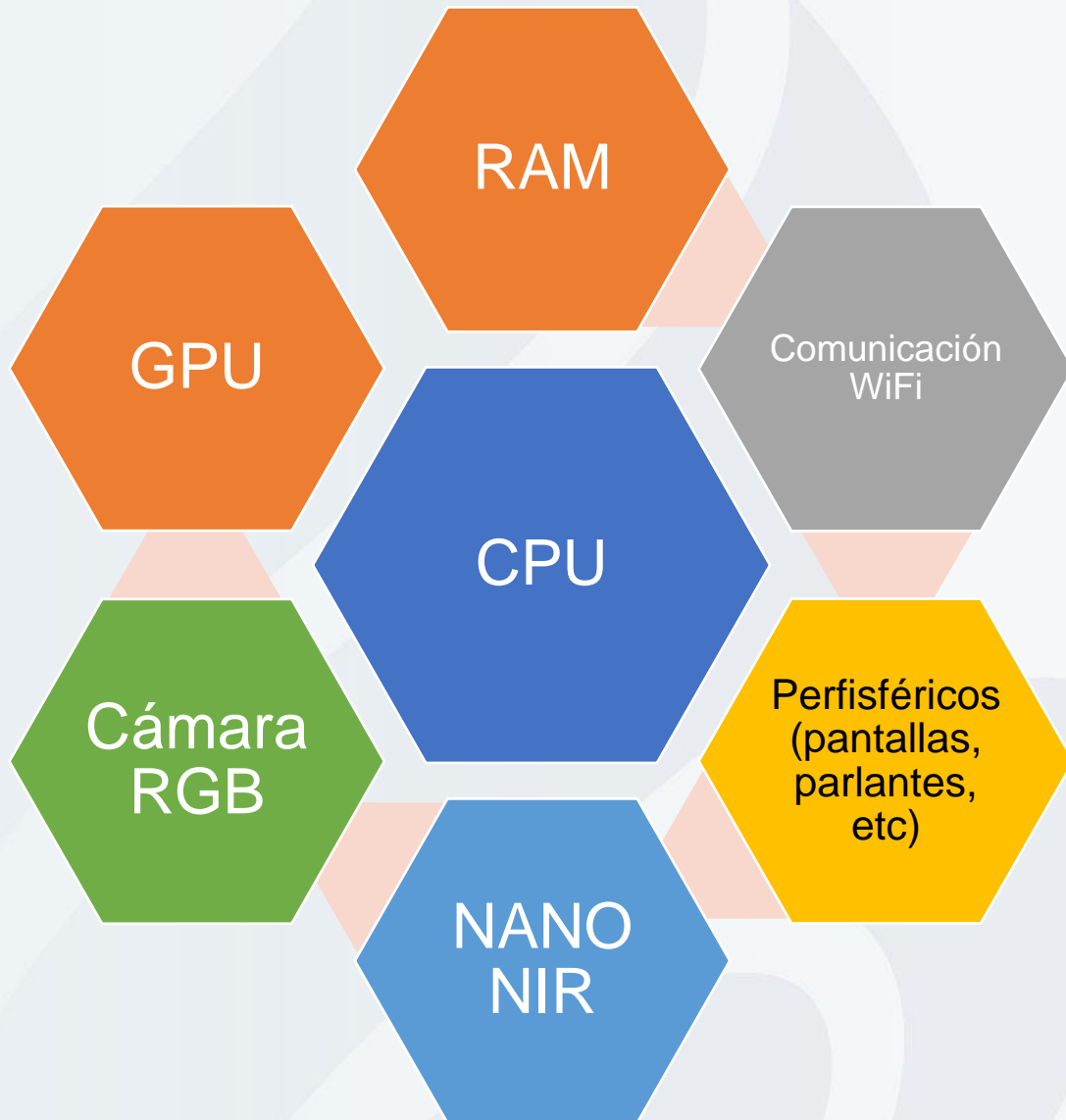
En desarrollo: detección de alvéolos vacíos





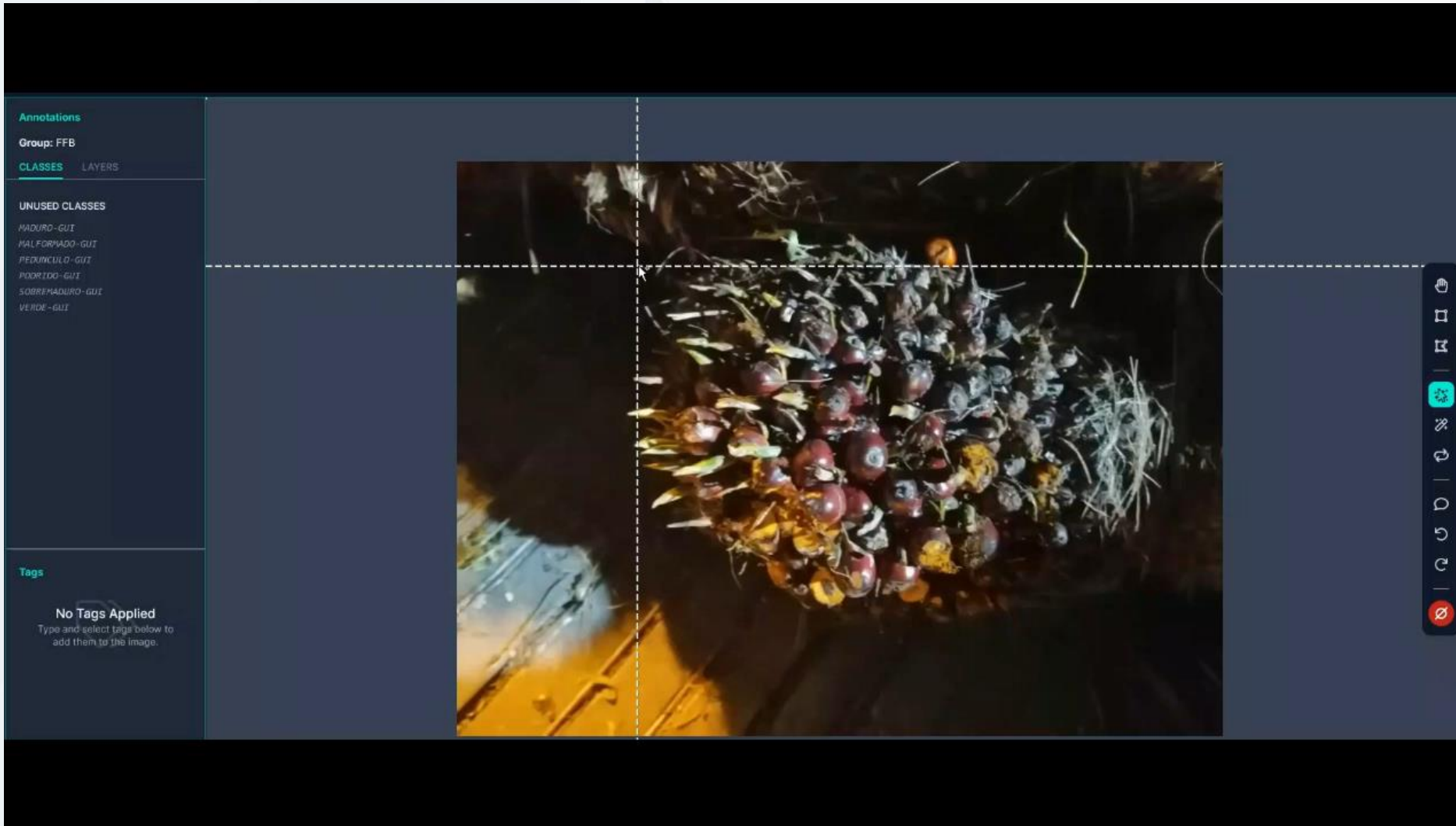
# Prototipo para identificación de racimos en tolva y en plantación

## Versión 2023





# Etiquetado y post procesamiento digital de imágenes



Dataset de imágenes  
capturadas  
**440**

Entrenamiento  
**308**

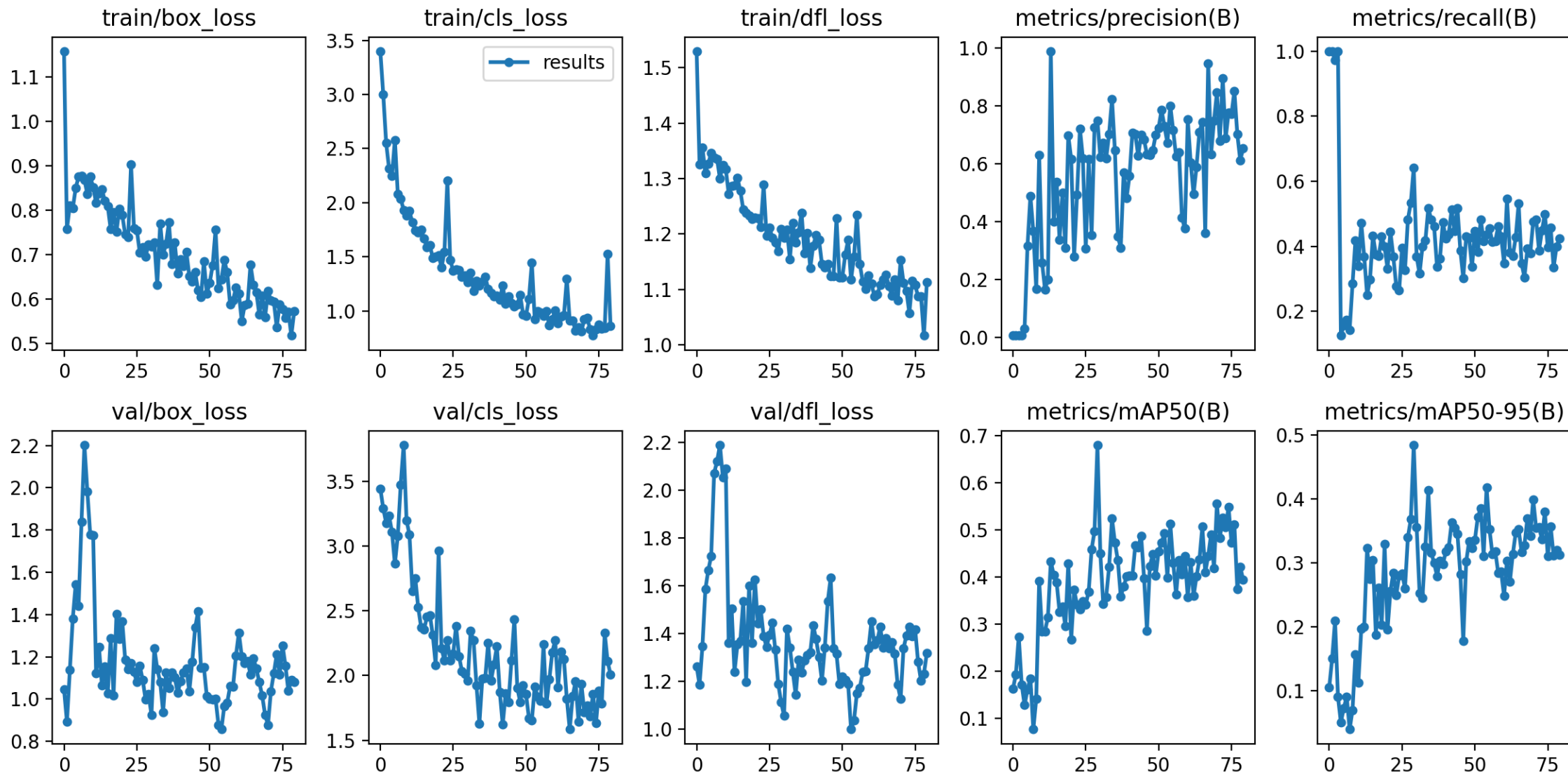
Validación **88**

Pruebas  
(imágenes fuera de  
entrenamiento)

**44**

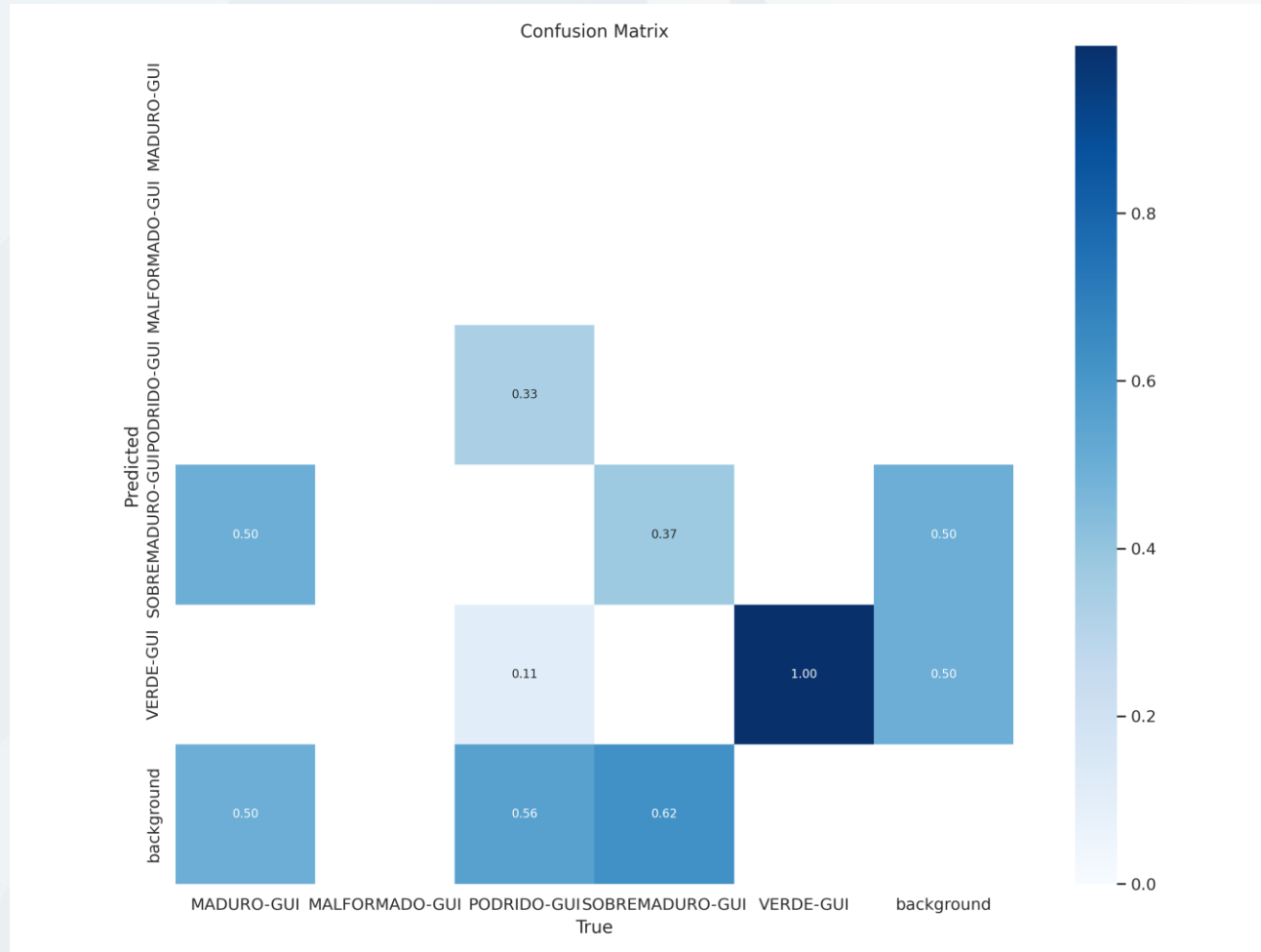


# Parámetros estadísticos de entrenamiento y validación de red de clasificación de imágenes (convergencia y error)





# Parámetros estadísticos de entrenamiento y validación de red de clasificación de imágenes (matriz de confusión)



**Racimos verdes cuentan con mayor probabilidad de detección (R = 0,99 y mAP = 0,995)**

**Racimos maduros y sobremaduros (R = 0,50 y mAP = 0,650)**

**Racimos podridos cuentan con probabilidad de detección por mejorar (R = 0,44 y mAP = 0,735)**

**R (recall)** = la recuperación es la relación del número de positivos verdaderos respecto al número total de objetos reales (relevantes)

**mAP** = la precisión es la relación del número de positivos verdaderos respecto al número total de predicciones positivas.

# Ejercicio de monitoreo de calidad de RFF y PIA en línea

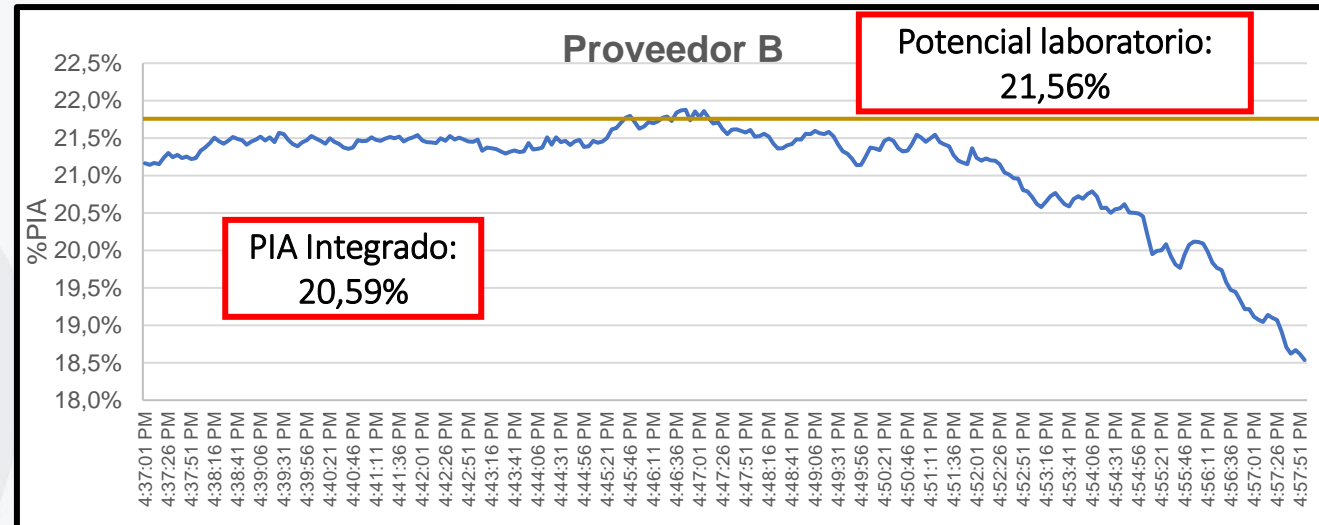


VS



CALIDAD DE FRUTO CONVENCIONAL (Tamaño de muestra inferior al 6% del total, 40 RFF analizados)				
Medición	Verde	Sobremaduro	Podrido	Pedúnculo Largo
Análisis 1	0	10%	2,50%	0
Análisis 2	5% (2 RFF)	15%	7,50%	0

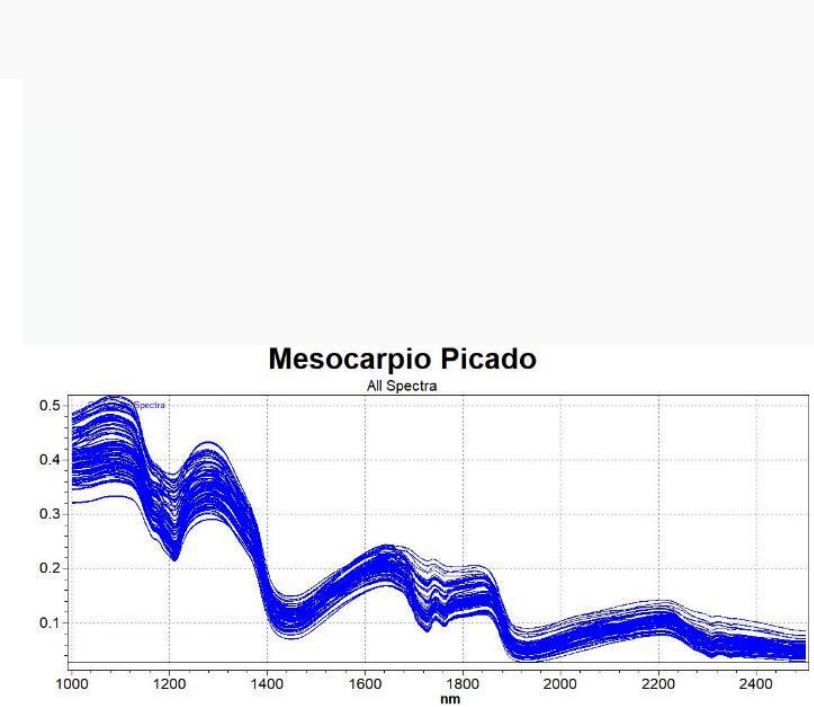
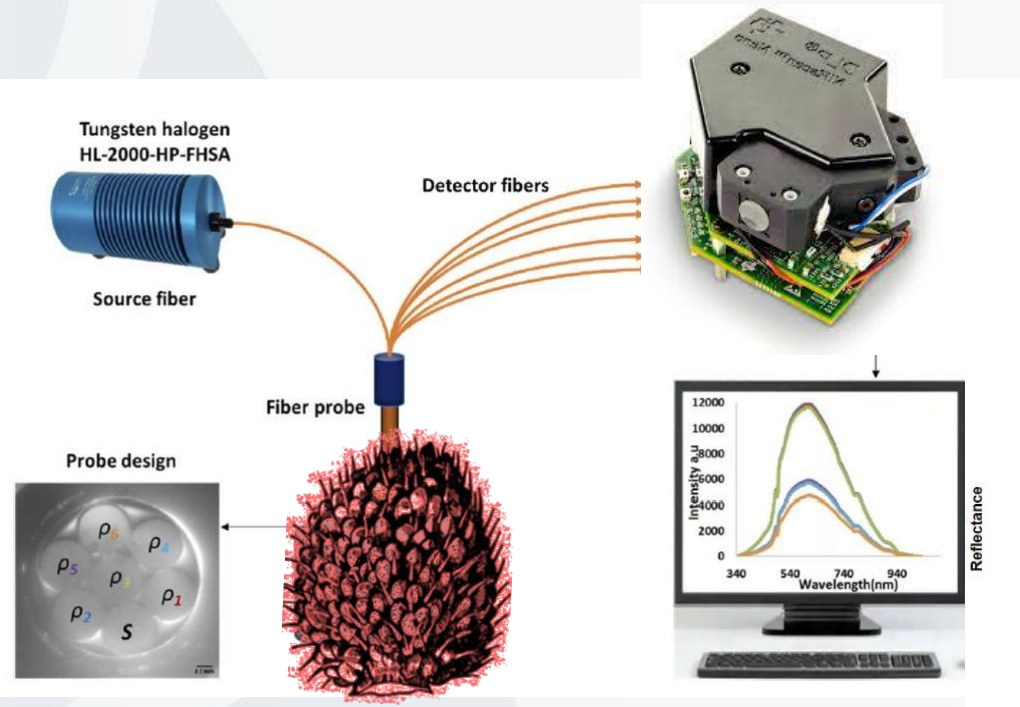
IDENTIFICACIÓN CON PROTOTIPO EN TOLVA (Tamaño de muestra entre 90 y 150 RFF analizados)					
Medición	Peso del viaje (kg)	Racimos Verdes	Racimos podridos	Total racimos contados	% RFF Verde/Total RFF
Análisis 1	13.880	11	0	586 (98%)	3,87%
Análisis 2	12.750	46	7	520 (98%)	17,71%



La comparación entre ambas metodologías ha permitido analizar más del **10%** de racimos por viaje, encontrando diferencias notables en el **%RFF Verde entre 3 y 17%** respecto a lo hallado convencionalmente, diferencia equivalente a más de **\$1,2 millones COP** por viaje como oportunidad económica no alcanzada que podría beneficiar al productor.



# Visión computacional y espectroscopía de infrarrojo cercano como tecnologías para la identificación de variables en PB y plantación



Equipos NIR de laboratorio  
(ajuste referencial)



Equipo NIR nano  
(con información  
capturada en sitio)



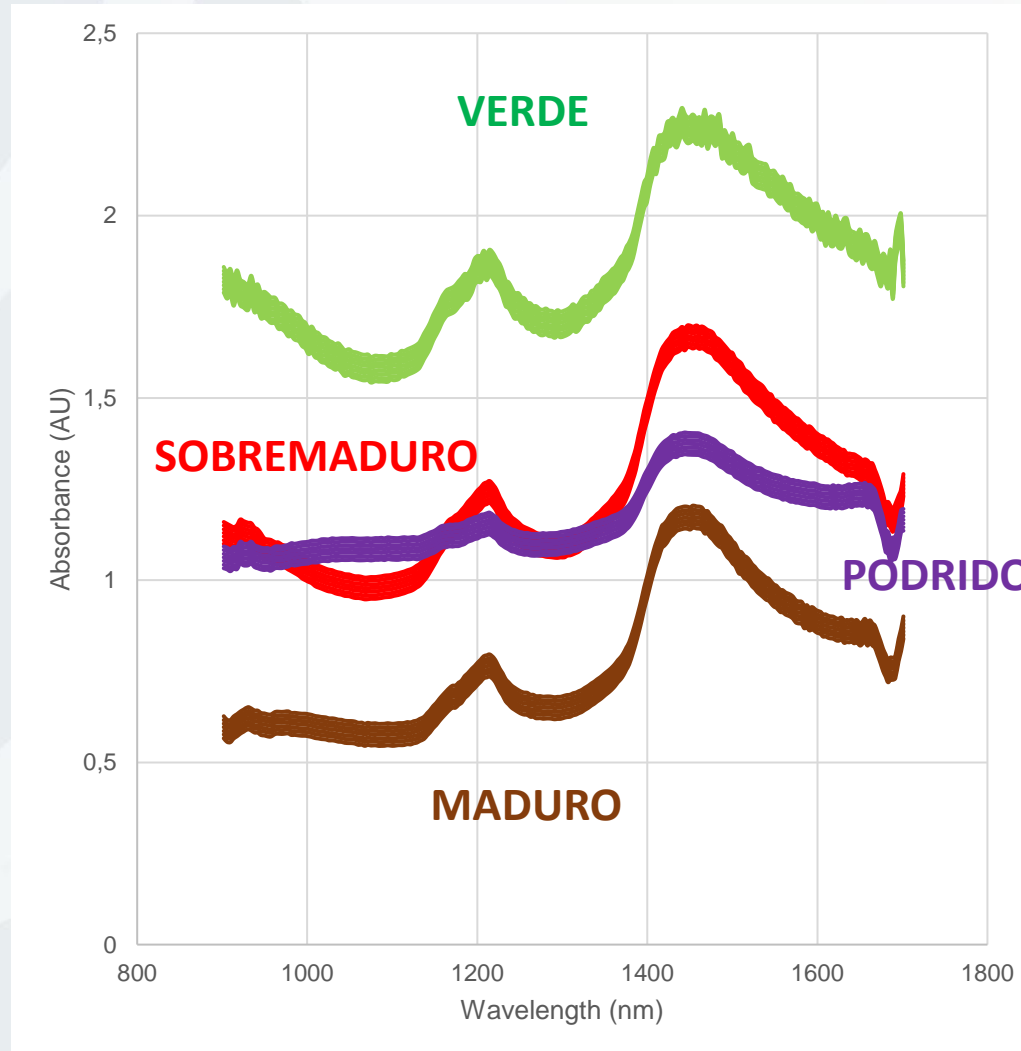
Modelos de predicción  
refinados  
(aceite y agua)

# Procesamiento de muestras de mesocarpio y análisis por métodos de referencia (contenido de Aceite y Humedad)

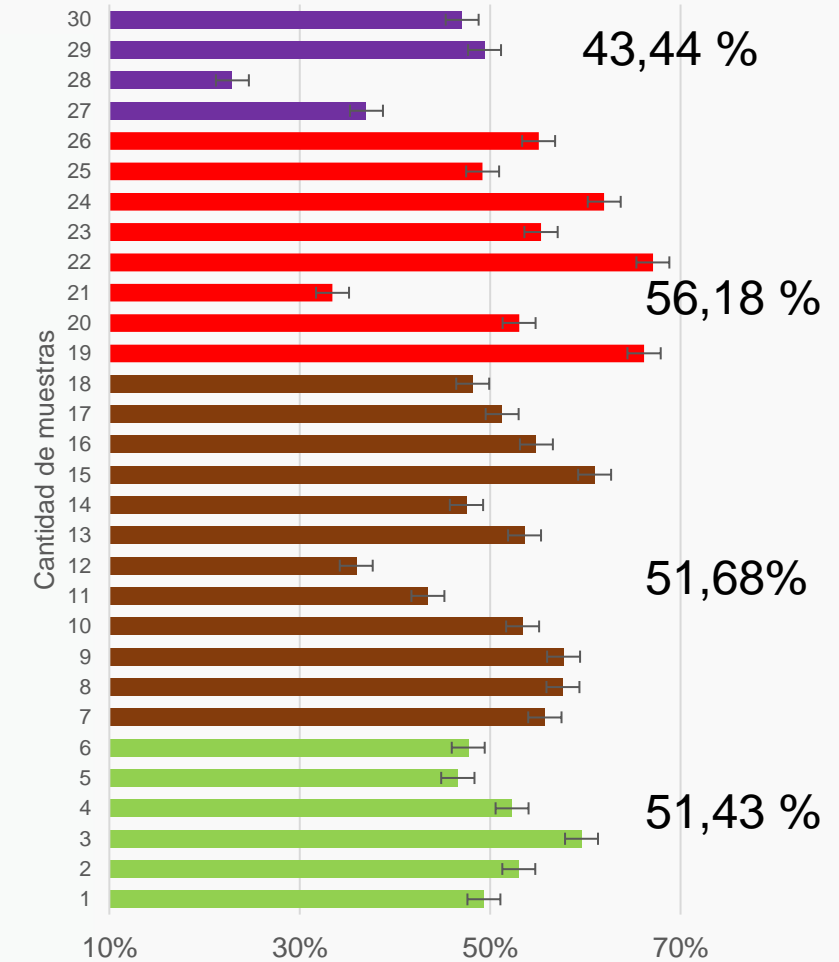
## Muestras de mesocarpio



## Espectros con NANO NIR



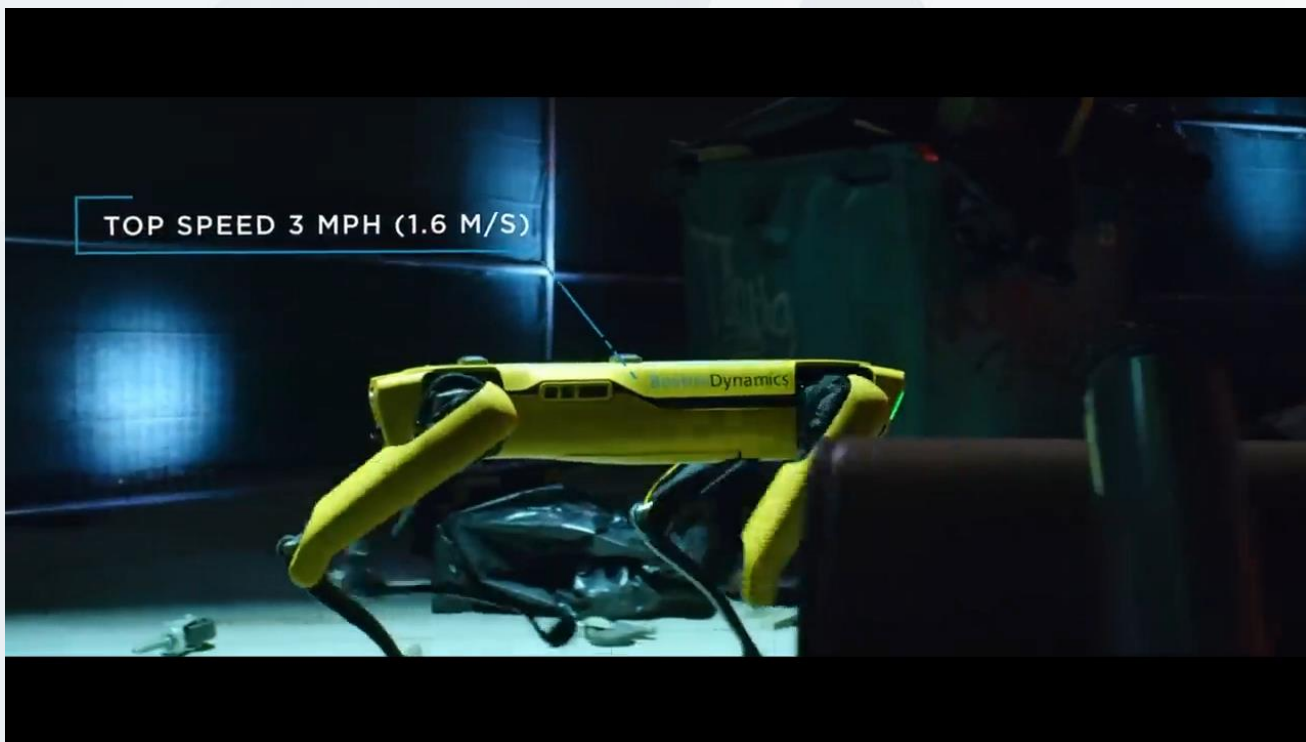
## % Aceite (base húmeda)





# Extra: mejoras tecnológicas a equipo de calificación de racimos

Adaptación de sistema de calificación de racimos a UGV



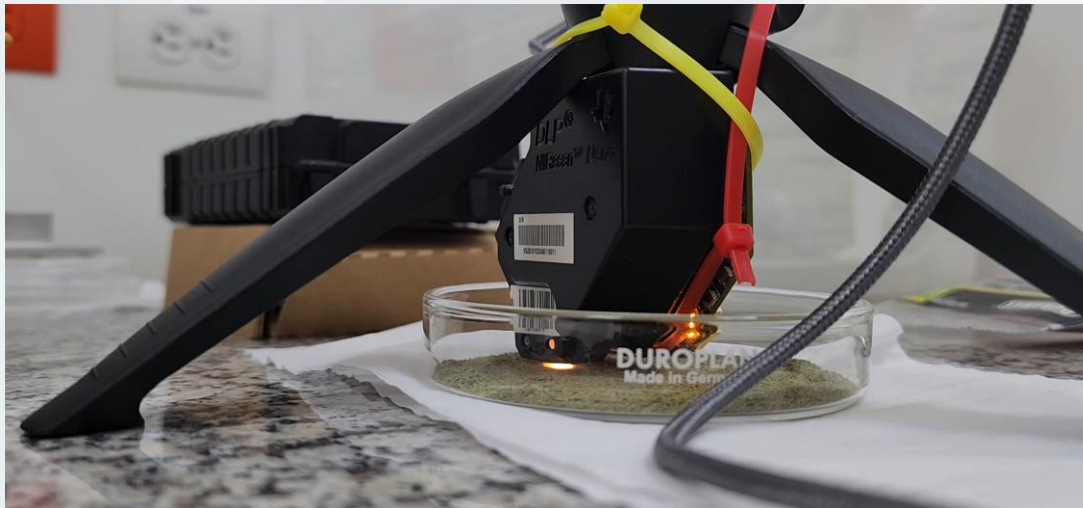
- Actualmente disponible para compra a Boston Dynamics
- Organizaciones de salvamento cuentan con este robot para búsqueda y rescate en ambientes peligrosos
- Empresas cuentan con este tipo de robots con adaptaciones para sus procesos (pinzas, herramientas, etc)

Bastón de fibra óptica para mejorar alcance NIR



- Instalación de módulo de fibra óptica para lograr alcanzar racimos a discreción del operador a través de un bastón.
- Mejoramiento de autonomía y refrigeración de CPU y GPU

# Extra: Exploración de NANO NIR para análisis de muestras foliares y suelos



## Objetivos:

1. Evaluar la capacidad de detección del equipo NIR a partir de muestras foliares y de suelos en condición de polvo seco.
2. Comparar el desempeño y respuesta espectral con otras tecnologías actualmente bajo caracterización (NIR laboratorio)



# Conclusiones

- ✓ Los antecedentes y recursos disponibles en el mercado representadas en tecnologías de hardware portátil y algoritmos para procesamiento de datos mediante métodos de Deep Learning, son aplicables ampliamente al contexto de los problemas que se tienen en el gremio palmero, como es el caso de la calificación de fruto en tolva y la identificación de patrones mediante imágenes en planta de beneficio.
- ✓ El prototipo en desarrollo para optimizar procesos como la calificación de racimos y la identificación de patrones mediante visión artificial en planta de beneficio, si bien, ofrece una alternativa robusta para mejorar estos procesos, sin embargo, aun continúa el camino de investigación para abarcar más criterios y características de racimos, debido a que parte de la variabilidad identificada, aun no puede ser detectada por este tipo de tecnologías.
- ✓ Lograr desarrollar modelos de predicción mediante espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) para cada estado de madurez de racimos permitirá refinar la respuesta final por parte del sistema inteligente. La calificación acerca del grado de madurez se basará en condiciones morfológicas, colorimétricas y de contenido de aceite/agua en el exterior del racimo.
- ✓ Lograr integrar esta tecnología para calificación de racimos a otros dispositivos y equipos que permitan autonomía, definitivamente marcará el punto de partida para la implementación de este tipo de soluciones en plantación y en planta de beneficio, de modo que sean prácticas pero confiables.

# Agradecimientos



- **Ingenieros y operadores en planta de beneficio Agroince**
- **Laboratorio de Procesamiento (CEPC)**
- **Laboratorio de Química de Aceites (CEPV)**
- **Fondo de Fomento Palmero**







**XVIII  
REUNIÓN TÉCNICA  
NACIONAL  
DE PALMA DE ACEITE**

**2023**

