



**XX**  
Conferencia  
Internacional sobre  
20th International **PALMA**  
**DE ACEITE**  
Oil Palm Conference

**EL PODER TRANSFORMADOR  
DE LA PALMA DE ACEITE**



**XX**  
Conferencia  
Internacional sobre

**PALMA  
DE ACEITE**

**EL PODER TRANSFORMADOR  
DE LA PALMA DE ACEITE**

## **Optimizando la toma de decisiones en planta de beneficio en pérdidas y calidad de aceite a través de tecnología NIR**



## Entrepalmas

- **Jaime H. Acero-Hernández**  
*Gerente de producción Entrepalmas*
- **Ivonne C. Gutiérrez-Novoa**  
*Coordinadora aseguramiento de calidad Entrepalmas*
- **Hernando Saavedra-Sánchez**  
*Analista de calidad Entrepalmas*



- **Nathalia M. Forero-Cabrera**  
*Especialista NIR Büchi Labortechnik*
- **Leonardo Ramírez-Lopez**  
*Especialista Ciencia de Datos Büchi Labortechnik*

## Equipo de trabajo



- **Cesar A. Díaz-Rangel**  
*Investigador asociado, Proyecto NIR*
- **Jesús Alberto García Núñez**  
*Coordinador Programa de Procesamiento*
- **Alexis González-Díaz**  
*Investigador asistente, laboratorio  
Procesamiento*
- **Jenny L. Rodríguez-Ardila**  
*Investigador asistente, laboratorio Bioquímica*

# ENTREPALMAS S.A.S.

## Datos generales

Localización	San Martin Meta
Capacidad de prensado	40 t RFF/h
Año de inicio de operaciones	1992





# Contenidos de la presentación

- 1. Objetivos y alcances**
- 2. Línea de tiempo del proyecto**
- 3. Descripción de tecnologías espectrales**
- 4. Metodología de calibración y validación de modelos**
- 5. Modelo de pérdidas de aceite en fibra de prensado**
- 6. Modelo de índice de yodo para identificación de aceites**
- 7. Análisis de oportunidades**
- 8. Conclusiones**

# Objetivos y alcances

## Objetivo general:

- Actualizar el uso de la tecnología NIR para las determinaciones de calidad y pérdidas de aceites en planta de beneficio.

## Alcances:

- Validar modelos de predicción existentes a partir de muestras en planta de beneficio.
- Construir nuevos modelos de predicción incluyendo las pérdidas de aceite en fibra y el índice de yodo.
- Estimar los costos asociados usando la tecnología NIR y los métodos convencionales.

# Línea de tiempo del proyecto

2017

Se inicia el desarrollo de modelos de predicción para aceite y agua en licor de prensa para el proyecto TEMIS en línea (Cenipalma y Agroince)

2017

Convenio Cenipalma / Büchi Labortechnik de Suiza (envío de equipos NIR Proximate para planta de beneficio y NIRflex N500 para laboratorios)

2017

Llega el primer equipo a Cenipalma zona oriental e inicia pruebas en tusas, fibra y CPO. Se comparan espectros con datos previos de Malasia.

2018

Construcción y validación de modelos de predicción para tusa, fibra y CPO (Büchi/Cenipalma) con muestras de varias plantas de beneficio.

2019

Se envía el equipo NIRflex N500 a la Vizcaína para hacer pruebas en frutos e iniciar curvas de validación

2019/2020

Se envía el equipo NIR Proximate a las plantas de zona central para validación en sitio: Palmas del Cesar, Monterrey, Palmatra, Palmeras de Puerto Wilches.

2021

Con los equipos NIR Proximate y NIRflex N500 en Vizcaína (campo experimental zona central), se desarrollan modelos de predicción para parámetros de calidad y química de aceites.

# Línea de tiempo del proyecto

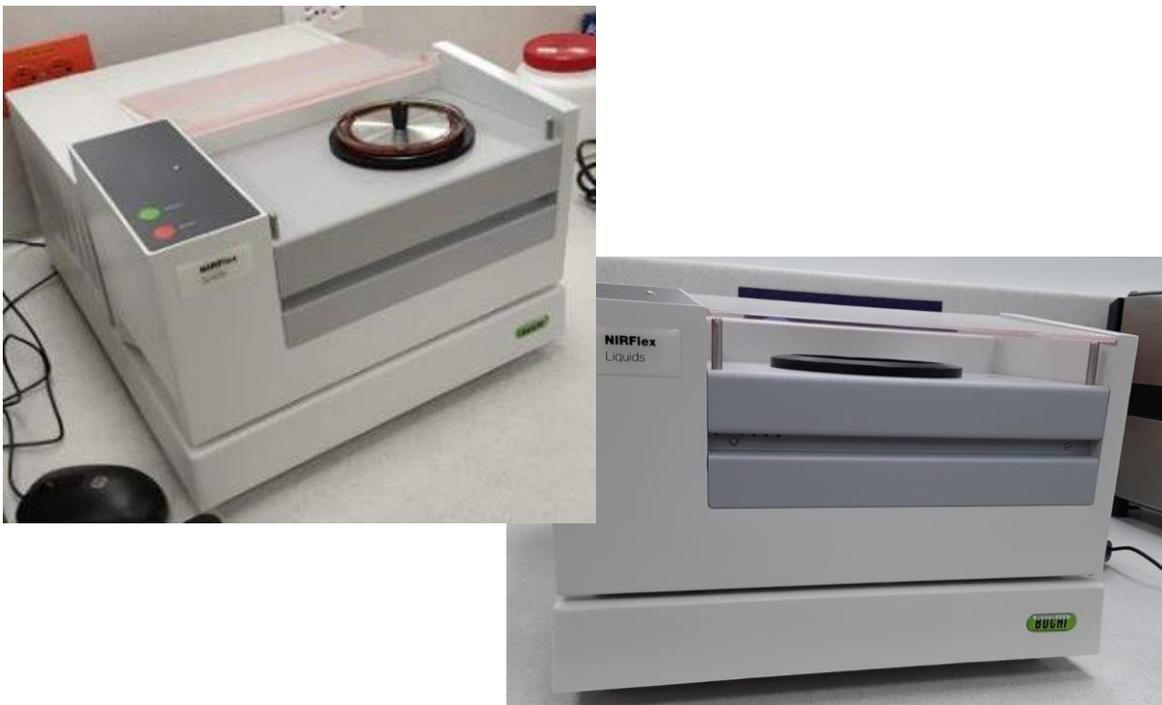
2022

Traslado del equipo NIR Proximate para la planta de Entrepalmas S.A.S. con el fin de realizar la actualización e implementación de nuevos modelos de predicción entre los más destacados:

- Complementación de modelos existentes para *E. guineensis* e *Híbridos OxG*:
  - Aceite y humedad en mesocarpio picado
  - Aceite y humedad en cuesco
  - Aceite y humedad en almendra triturada
  - Índice de Yodo
  - Ácidos Grasos Libres (AGL),
  - DOBI
- Creación de los modelos para cultivares *E. guineensis* e *Híbridos OxG*:
  - Peróxidos
  - Aceite en Tusa (húmeda y seca),
  - Aceite en lodos
  - Aceite en Efluentes
- Creación de MODELO GLOBAL para predicción múltiple:
  - Índice de Yodo (depuración y mejoramiento a partir de modelos por cultivar y mezclas de aceites)
  - Aceite y humedad en fibra de prensado (depuración y mejoramiento de modelos mixtos entre muestras frescas, secas y por cultivares)

# Descripción de tecnologías espectrales

## *Transformada de Fourier (TF)*



### **NIRflex N500**

Para uso en laboratorios exclusivamente  
Para mediciones más exigentes en cuanto a resolución  
Rango espectral más amplio respecto a otros equipos

## *Dispersivos*



### **NIR PROXIMATE**

Para uso en laboratorio o dentro de proceso.  
Resolución adecuada para una plantación, planta de beneficio o refinería debido a que es capaz de capturar una gran mayoría de parámetros.



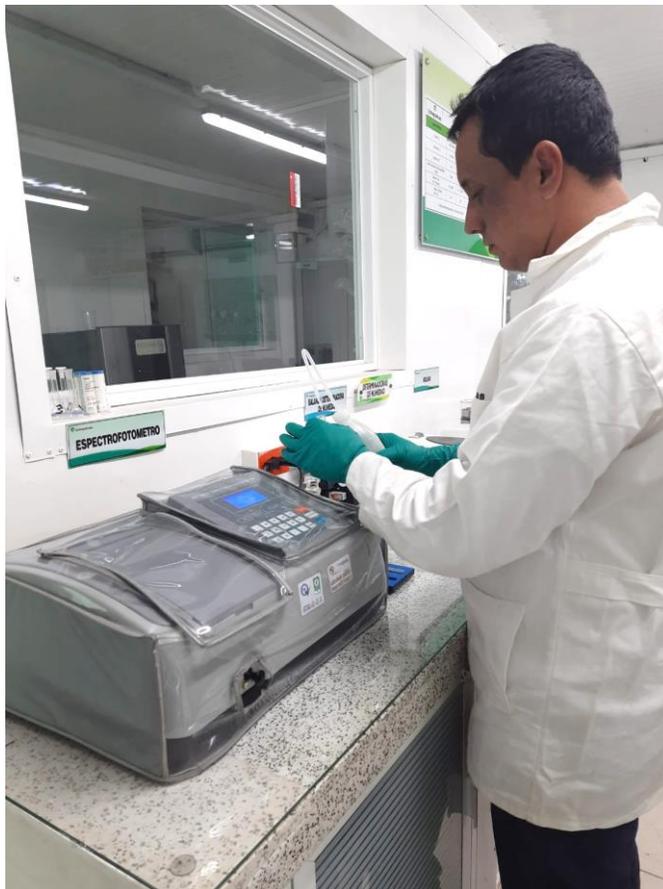
### **NIR ONLINE (PROYECTO TEMIS EN LÍNEA)**

Equipo flexible para medición en línea o laboratorio (con base)  
Resolución ideal para monitoreo y control de procesos críticos

# Metodología de calibración y validación de modelos



Se inicia el proceso con auditoría para verificar muestreos en planta, montaje de perdidas, curva de secado y técnicas de análisis fisicoquímicos en el laboratorio.



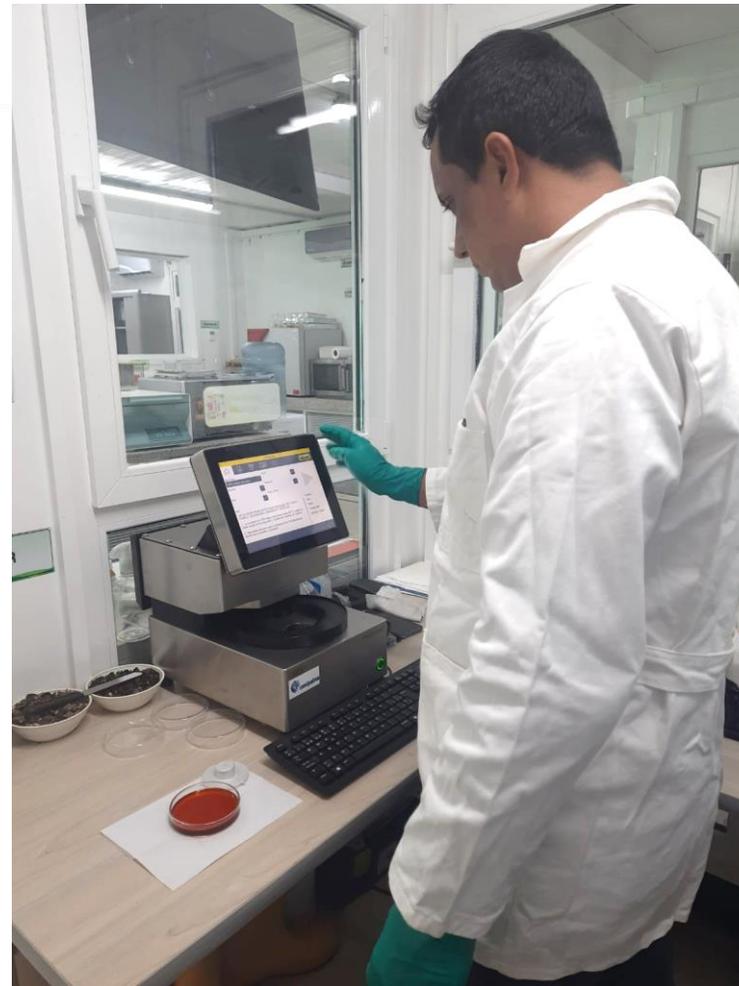
Junto con Cenipalma, se verifican previamente las condiciones y entrenamiento del personal del laboratorio, generando sugerencias de mejoramiento antes de implementar el equipo NIR



# Metodología de calibración y validación de modelos



Las muestras tanto sólidas como líquidas se disponen en cajas de petri para su lectura en el equipo



Lectura de muestras en 1 minuto, se obtienen múltiples parámetros simultáneamente según el tipo de muestra analizado.



Disposición de muestras líquidas, oleosas y sólidas.

# Consideraciones sobre métodos de referencia y nuevas tecnologías

1. **DIAGNÓSTICO** del laboratorio, métodos de muestreo en el proceso y contexto operacional de cada planta.
2. **NUNCA** olvidar los **MÉTODOS DE REFERENCIA BÁSICOS** (ej. Soxhlet). La confiabilidad de los datos entregados por las nuevas tecnologías dependerán de la estandarización de éstos métodos de referencia convencionales.



3. **VALIDACIÓN** frecuente entre tecnologías de predicción simultánea y los métodos convencionales de referencia.
4. Las nuevas tecnologías **SIEMPRE** requerirán del proceso de adaptación, validación y ajuste de modelos de predicción antes del uso extensivo y continuo.

# Modelos de predicción desarrollados por Cenipalma y Büchi en PBs de Colombia:

## Inventario de modelos en NIR Proximate

### Mesocarpio de fruto y almendra:

- E. guineensis fresco
  - Contenido de aceite
  - Contenido de humedad
- E. guineensis seco
  - Contenido de aceite
- Híbridos OxG fresco
  - Contenido de aceite
  - Contenido de humedad
- Híbridos OxG seco
  - Contenido de aceite

38 modelos de predicción que incluyen matrices líquidas y sólidas.

### Aceite de palma crudo (CPO):

- E. guineensis
  - Ácidos grasos libres (AGL)\*
  - DOBI\*
  - Humedad\*
  - Índice de yodo\*
  - Peróxidos
  - Carotenos
    - a-caroteno
    - b-caroteno
  - Ácidos grasos
    - Mirístico
    - Palmítico
    - Esteárico
    - Oléico
    - Linoléico

*\*También para Híbridos OxG.*

### Pérdida de aceite:

- Fibra prensado E. guineensis e Híbridos OxG
  - Fresca (modelo con mejores resultados)
  - Seca
- Tusa prensada E. guineensis e Híbridos OxG.
  - Fresca
  - Seca
- Lodos recuperados de centrífugas
- Lodos de efluentes
- Cuesco E. guineensis
- Torta de palmiste

### Macro modelos:

- Índice de Yodo
- % Aceite fibra fresca y seca para E. guineensis e Híbridos OxG

# Modelo de pérdidas de aceite en fibra de prensado



Toma de muestra de fibra de prensa (previamente se separan nueces y almendras)



Preparación de muestra en caja Petri para lectura inicial en NIR (fresca)



Lectura de muestra por métodos de referencia convencional (secado en horno y soxhlet)



Preparación de muestra en caja Petri para lectura inicial en NIR (seca)

**Tiempo de respuesta**

**Calibración**

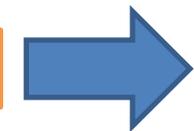
10 minutos

5 minutos\*

4 – 6 horas

5 minutos\*

Más de 4 horas



**Validación**

10 minutos

5 minutos\*

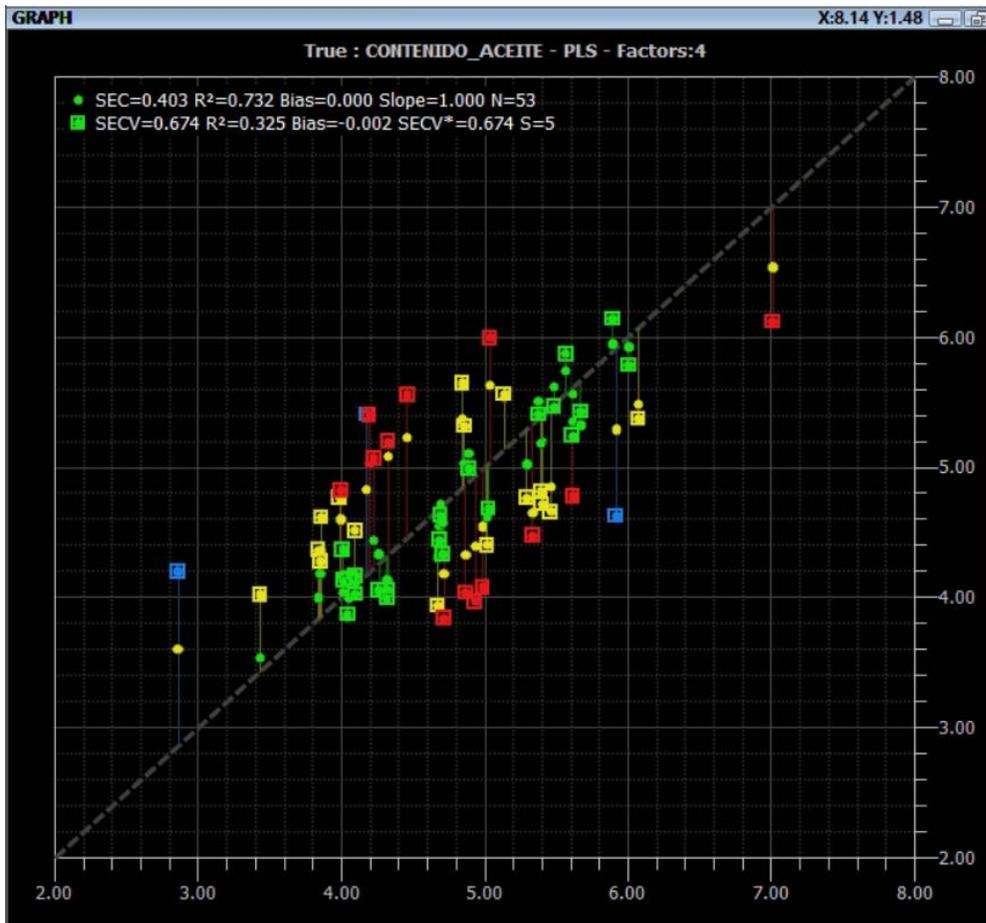


En 15 minutos

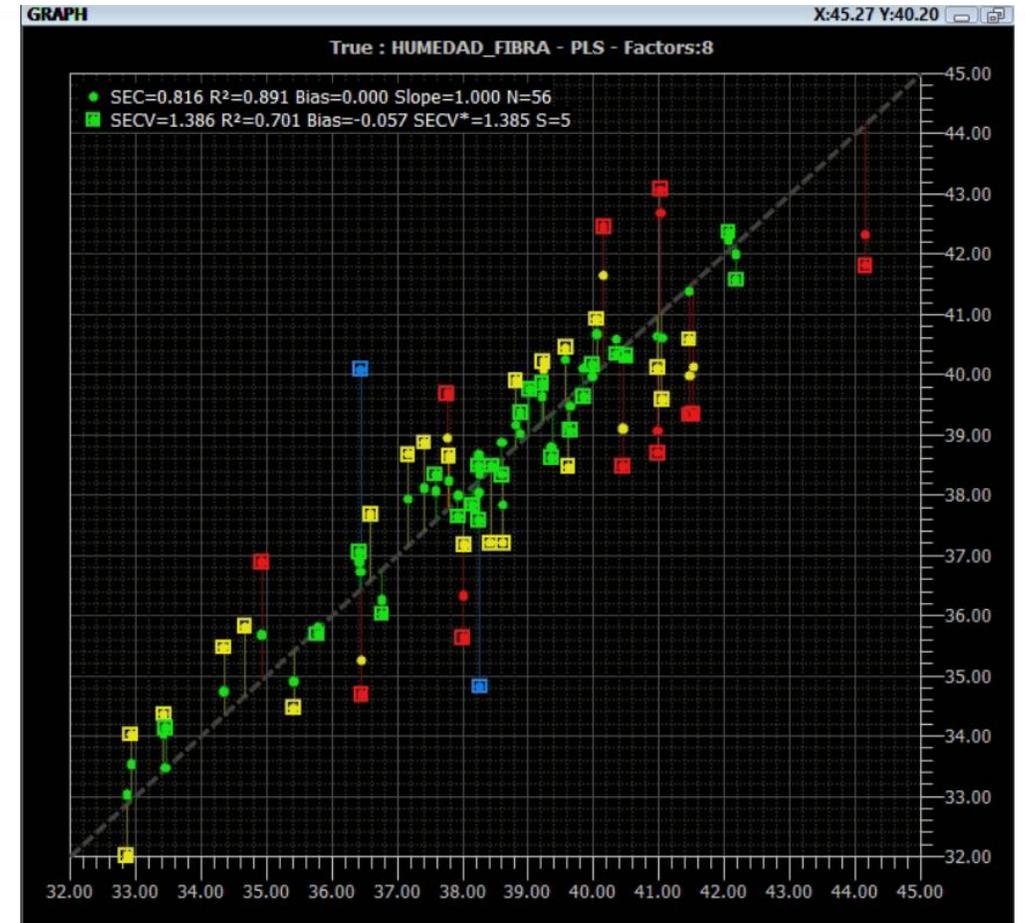
\* El tiempo de respuesta del equipo es 1 minuto, múltiples parámetros simultáneamente.

# Modelos de predicción para fibra de *E. guineensis*

## Modelo de predicción para aceite



## Modelo de predicción para humedad

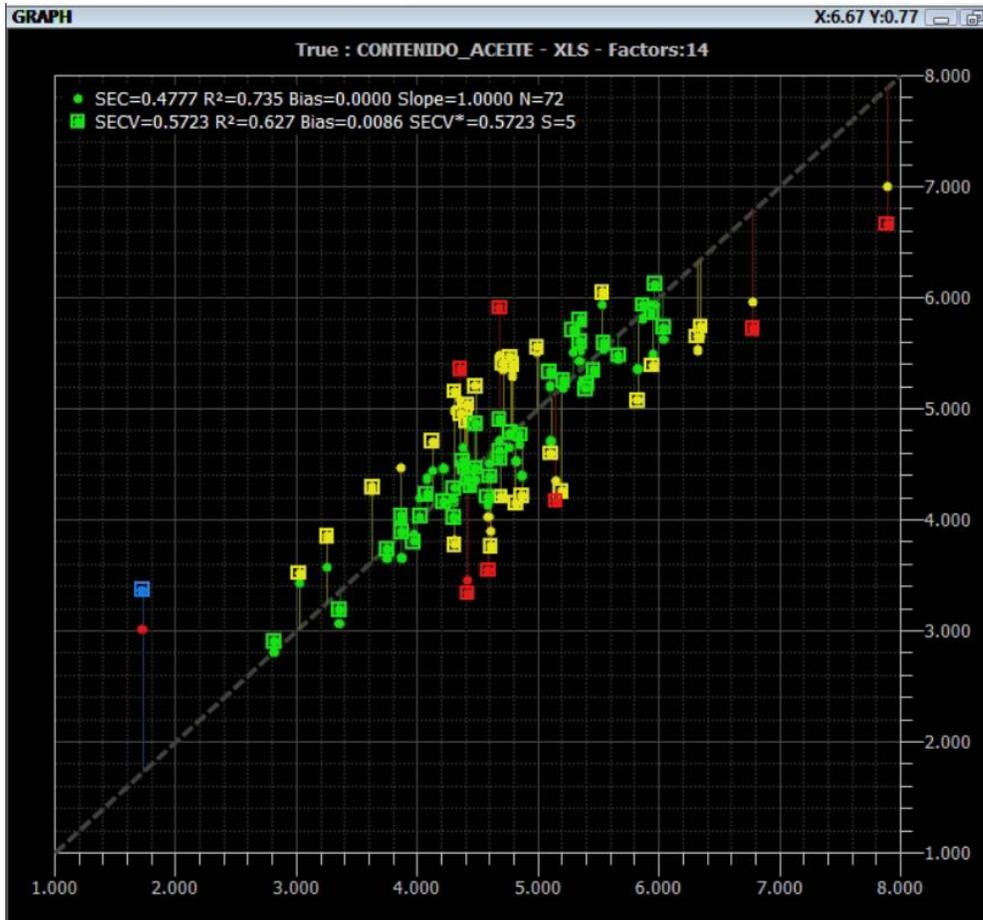


### Indicadores estadísticos:

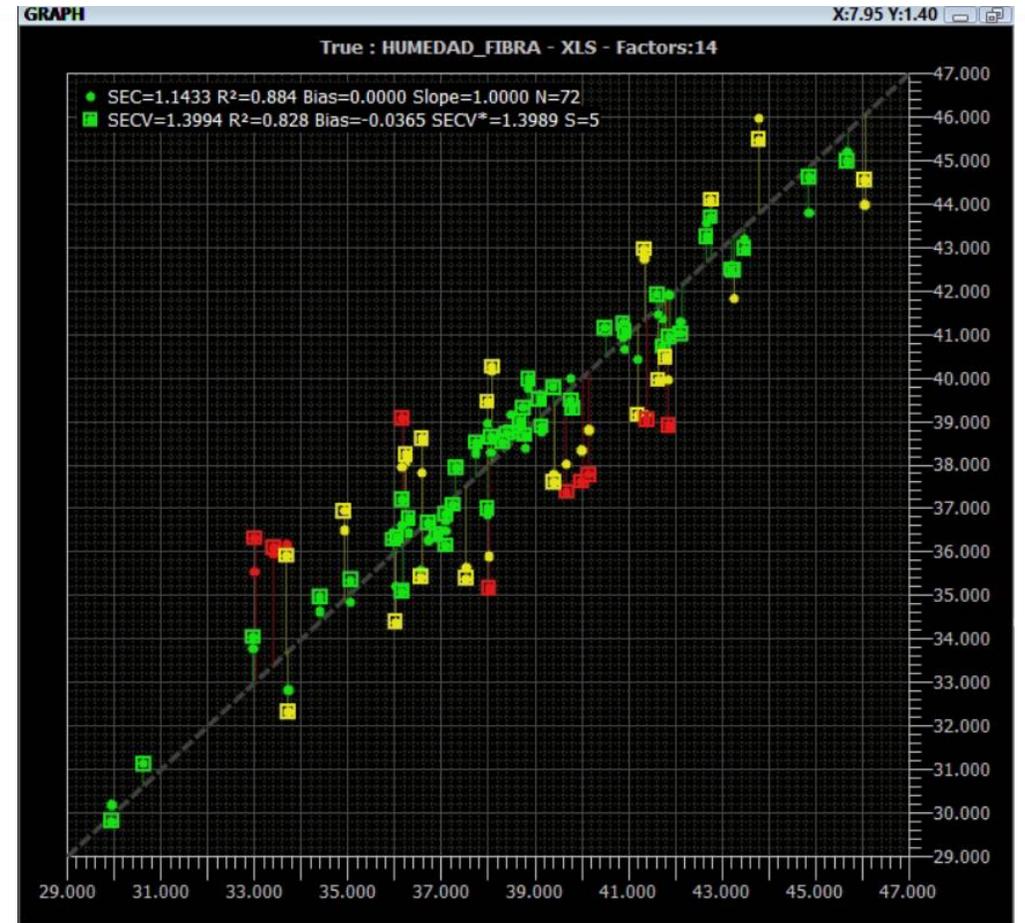
- R<sup>2</sup> superior a 0,70, pero aun más importante es la similitud entre los Errores Medio Cuadrático durante la calibración y posterior validación de cada modelo (diferencia inferior a 0,5 en ambos modelos).
- Modelos mejorados a partir del análisis de validación cruzada de muestras frescas y muestras secas.

# Modelos de predicción para fibra de Híbridos OxG

## Modelo de predicción para aceite



## Modelo de predicción para humedad

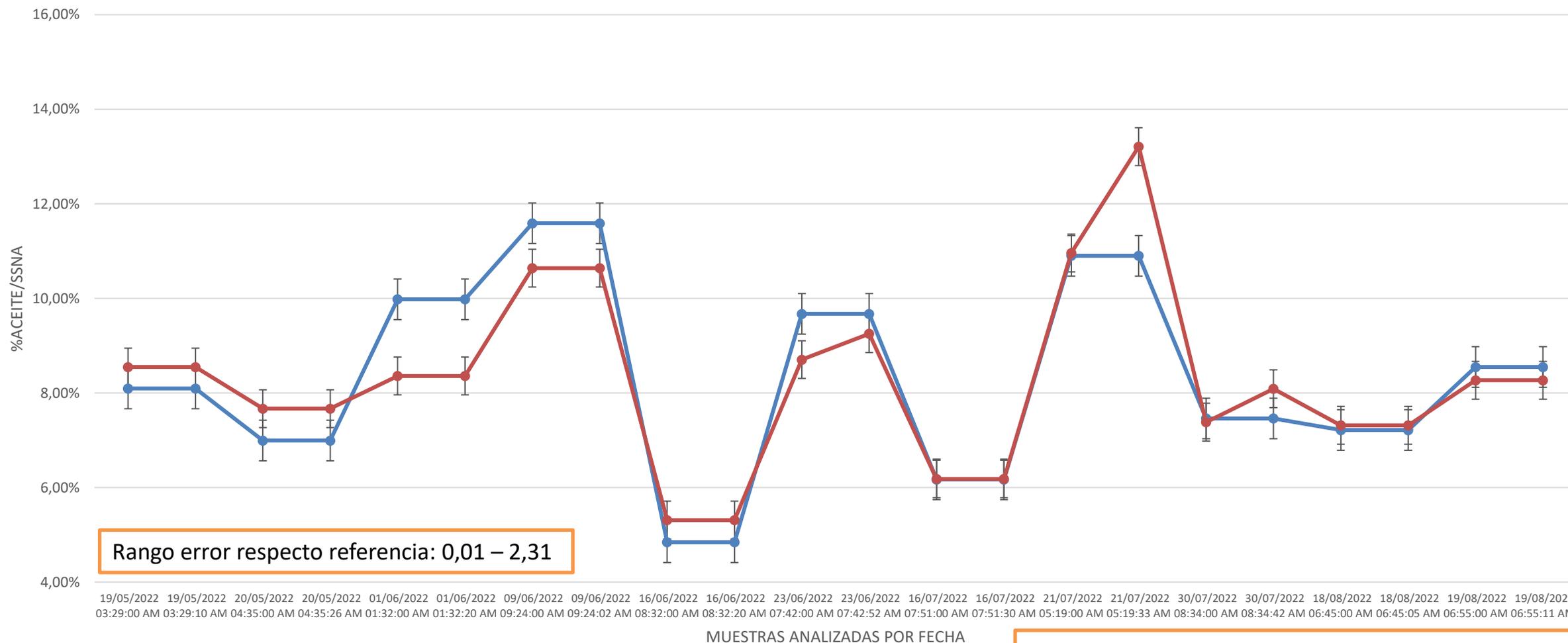


### Indicadores estadísticos:

- R<sup>2</sup> superior a 0,70, pero aun más importante es la similitud entre los Errores Medio Cuadrático durante la calibración y posterior validación de cada modelo (diferencia inferior a 0,5 en ambos modelos).
- Modelos mejorados a partir del análisis de validación cruzada de muestras frescas y muestras secas.

# Validación de respuesta Aceite/SSNA

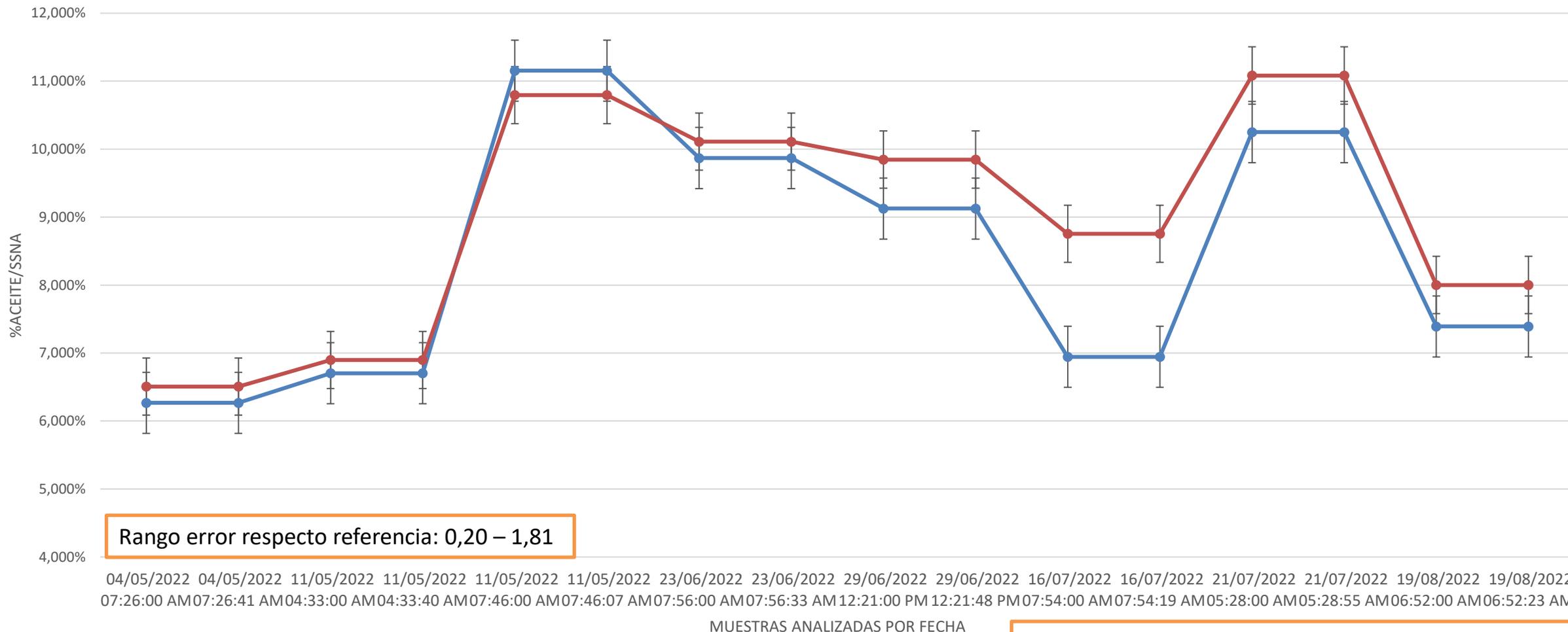
VALIDACIÓN: COMPARACIÓN DATOS REFERENCIA VS PREDICCIÓN  
PRENSA 2 - CAPACIDAD INSTALADA 15 t RFF/h



Validación con muestras NO incluidas dentro de los modelos de predicción

# Validación de respuesta Aceite/SSNA

VALIDACIÓN: COMPARACIÓN DATOS REFERENCIA VS PREDICCIÓN  
PRENSA 3 - CAPACIDAD INSTALADA 9 t RFF/h

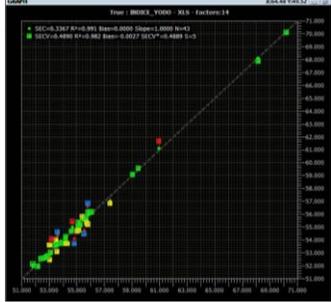


Rango error respecto referencia: 0,20 – 1,81

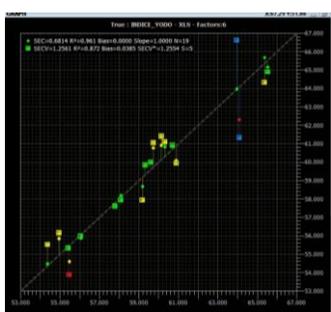
Validación con muestras NO incluidas dentro de los modelos de predicción

# Modelo de índice de yodo para identificación de aceites

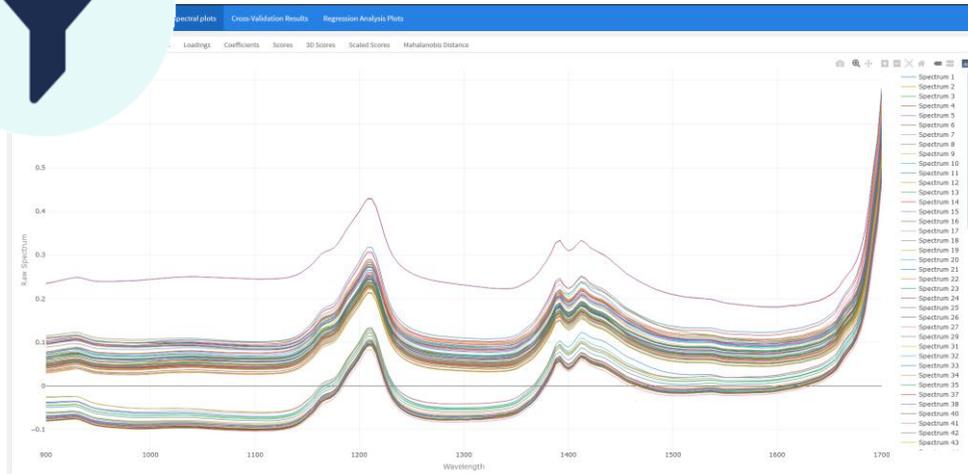
Modelo de IY  
*E. guineensis*



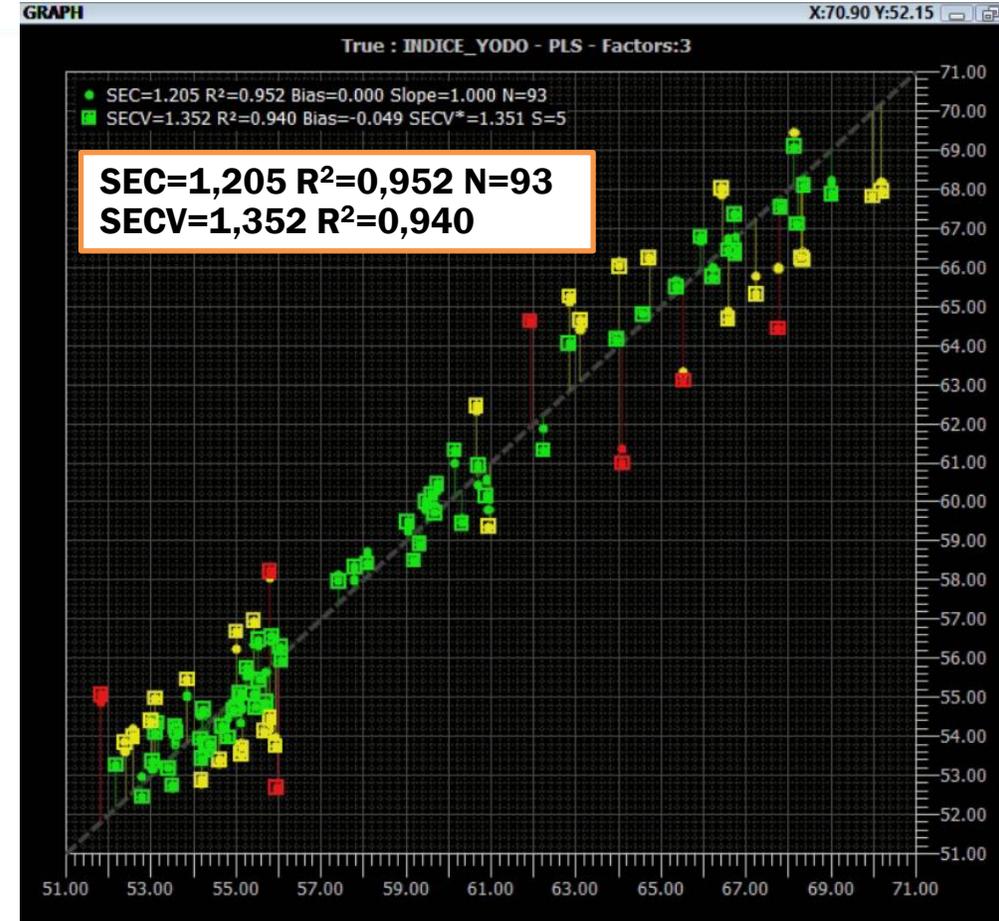
Modelo de IY  
Híbridos OxG



Modelo de IY  
Mezclas



**Depuración y fusión de modelos a partir del análisis de respuesta espectral y desempeño de indicadores estadísticos**

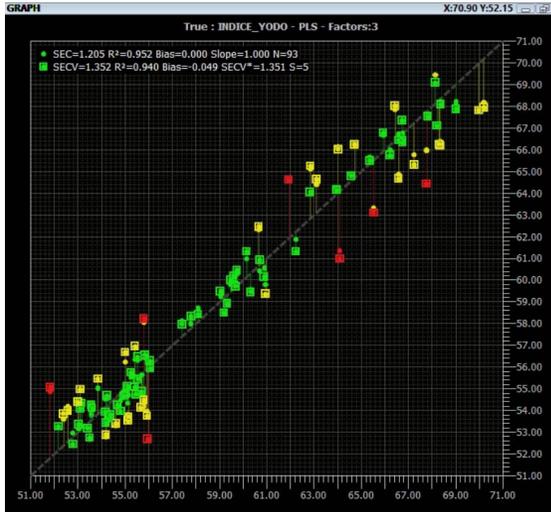


**Creación de modelo global o macro-modelo para predicción unificada de IY considerando muestras de solo *E. guineensis*, solo Híbridos OxG, y mezclas entre sí.**

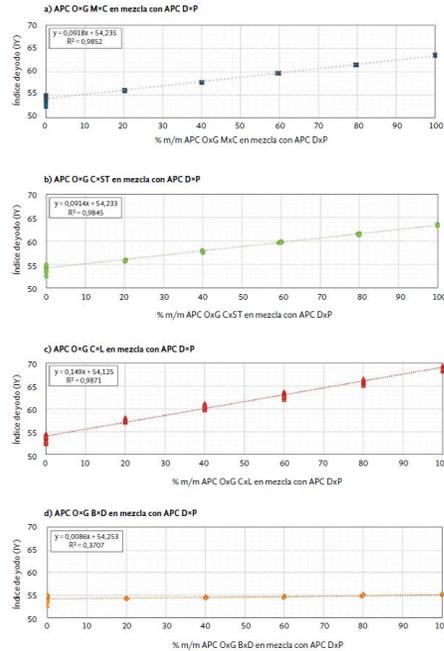
# Validación de macromodelo Índice de Yodo

## Uso de modelos de proporción por cultivar

### Validación de nuevos datos en macromodelo para IY

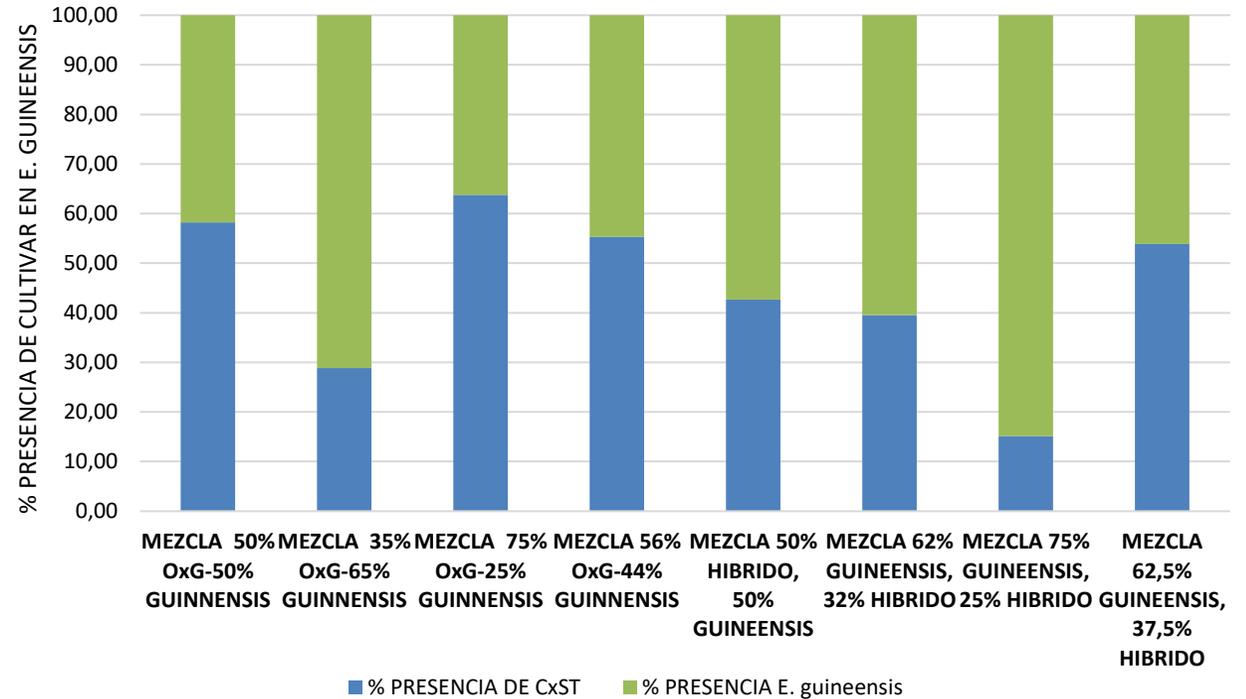


**Predicción de IY para muestras nuevas (validación del macromodelo)**



**\*Modelos de regresión lineal para determinar el % de mezcla de 4 tipos de cultivares Híbridos:**

- MxC
- C-ST
- CxL
- DXP



**Determinación de proporción aproximada de mezcla entre aceites**

**\*González-D., A., García-N., J. A., Cortés-B., I. L., Díaz-O., J. & Dueñas-S., J. (2022). Indicadores composicionales en la química de los ácidos grasos en el aceite de palma. ¿Qué tan relevante es el índice de yodo? Palmas, 43(2), 26-39.**

# Análisis de oportunidades: pérdida de aceite en fibra

Escenario de reducción de pérdidas de Aceite en Fibra de prensado (muestras frescas sin secar)  
(Prensa 2 de 15 t RFF/h capacidad instalada)

Valor promedio actual de  
%Aceite/Muestra húmeda = 4,689 %



Valor promedio a alcanzar  
%Aceite/Muestra húmeda = 4,189 %

Reducción en 0,5% de Aceite/Muestra húmeda

Aceite/SSNA Promedio Actual = 8,27 %

Aceite/SSNA Objetivo con la reducción de  
Aceite/Muestra húmeda = 7,62 %



Reducción lograda de aceite en  
Aceite/SSNA = 0,65%



Flujo de Fibra/RFF  
(promedio) = 15 %



Beneficio alcanzado en  
Aceite/RFF = 0,08 %

Aceite a recuperar (kg)  
= 11,25

Tiempo de operación Prensa 2  
= 6000 horas (anual)

Margen de beneficio anual  
solo en Prensa 2

355 millones de pesos  
(80 mil USD) anuales

# Análisis de oportunidades: mezclas entre aceites

## Macromodelo de predicción para Índice de Yodo:

Junto con los modelos de predicción de mezclas de aceite CPO E. guineensis con otros materiales del cultivar Híbrido OxG, ahora ya es posible asegurar:

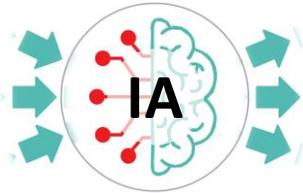
- Detección de mezcla de aceites y proporción durante el proceso.
- Evitar la posibilidad de rechazo de vehículos con aceite cuyo destino sean refinadores y otros clientes.
- Evitar el pago de penalidades asociadas a problemas con aceite despachado (flete, tiempo de espera, logística adicional, prestigio empresarial).



# Tecnologías para el cierre de brechas de productividad desde campo hasta planta de beneficio



**PIA en línea**  
Cantidad y calidad de aceite



**IA**  
Inteligencia Artificial y NIR para calificación de racimos



**NIR**

Tecnología de Infrarrojo cercano  
(Aplicación para monitoreo de pérdidas aceite)

Parámetro	% Ac /RFF	TEA
Potencial Ideal	27%	27%
Pérdida de aceite en campo	0.5%	26.5%
Pérdidas por plagas y enfermedades	2.0%	24.5%
Pérdida por Impurezas	0.5%	24.0%
Pérdida por pedúnculo largo	0.3%	23.7%
Pérdidas en calidad de fruto (madurez)	1.2%	22.5%
Pérdidas en planta de beneficio	1.7%	<b>20.8%</b>

**Tasa de Extracción de Aceite final obtenido en planta**

*García-Núñez, 2017*

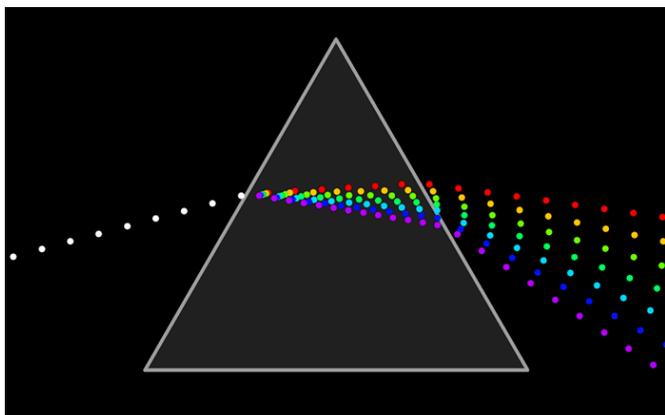
**6.2 puntos perdidos de aceite**  
pero ahora se podrán monitorear para establecer planes de mejora

## Lo que viene

- Macro modelo para predicción de Aceite en Tusa (validación).
- Macro modelo para predicción de Aceite en lodos (validación).
- Validación del potencial de aceite a racimo en laboratorio.
- Compostaje (determinación de parámetros y calidad).
- Análisis de Agua Caldera y Efluentes.
- Análisis de suelos y foliares.
- Validación de modelos de predicción entre tecnologías NIR de laboratorio y NIR online.



# Conclusiones



- Herramienta importante que a nivel de laboratorio garantiza confiabilidad, seguridad, rapidez y economía.
- Es una metodología en proceso de crecimiento que implica tiempo, esfuerzo, confiabilidad y retroalimentación de nuevos participantes.
- Facilidad en la operación del equipo, especialmente la respuesta en cuestión de segundos y simultáneamente junto con otros parámetros de respuesta.
- Posibilidad de nuevos métodos de medición y macro modelos, que se van a convertir en herramientas para la toma de decisiones operativas y administrativas.

## Agradecimientos

Accionistas y Gerencia General de Planta de la Planta de Beneficio de Entrepalmas S.A.S.

Cenipalma. Dr. Jesús García y a los ingenieros Cesar Díaz, Alexis González y Silvia Cala.

Equipo de trabajo del Proceso de Aseguramiento de Calidad de Entrepalmas S.A.S.



**Entrepalmas**

**¡Gracias!**