



## Teledetección espacial aplicada a la determinación del estado hídrico a escala de lote. Caso de estudio en cultivo de palma de aceite en Agustín Codazzi, Cesar-Colombia

Andrea Zabala-Quimbayo (azabalaq@cenipalma.org), Jorge L. Torres León, Osmar R. Barrera Agudelo

<sup>1</sup>Auxiliar de Investigación de Cenipalma; <sup>2</sup>Líder de Geomática de Cenipalma; <sup>3</sup>Especialista en Aplicaciones Geoinformáticas de Cenipalma.

### Introducción

Las técnicas tradicionales para determinar la variabilidad del estado hídrico de los cultivos conllevan a invertir grandes esfuerzos en personal técnico, adquisición de equipos y una logística exigente, además, los rigurosos protocolos de manejo influyen en la baja adopción e implementación de estas técnicas en la agricultura. Por lo tanto, con las últimas tendencias tecnológicas en el área del sensoramiento remoto, este proyecto de investigación viene trabajando en la adaptación de técnicas de teledetección para determinar la variabilidad espacial del estado hídrico a escala de lote en el cultivo de palma de aceite. En ese sentido, el proyecto propone generar dos productos principales: teledetección aplicada al uso eficiente del agua a partir del cálculo del balance hídrico y del índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI por sus siglas en inglés) e implementar un piloto para el control automatizado de un sistema de riego por aspersión, el cual se encuentra a cargo del área de investigación en Geomática del Programa de Agronomía de Cenipalma. Esta última, corresponde a una de las siete actividades que se desarrollan en el marco del proyecto Tecnologías de Adaptación de la Palma de Aceite al Cambio Climático (TAPACC), realizado con recursos del Sistema General de Regalías del departamento del Cesar, en el Convenio de Ciencia y Tecnología número 2019 02 133 del 2019, el cual busca desarrollar un sistema integrado de manejo agronómico para el cultivo de la palma de aceite como respuesta a los efectos de la variabilidad climática en el departamento del Cesar.

### Metodología

Las tareas programadas se ejecutan en seis etapas consecutivas, las cuales se entrelazan durante los tres años del proyecto. En el siguiente esquema se muestra la línea de tiempo de ejecución (Figura 1).

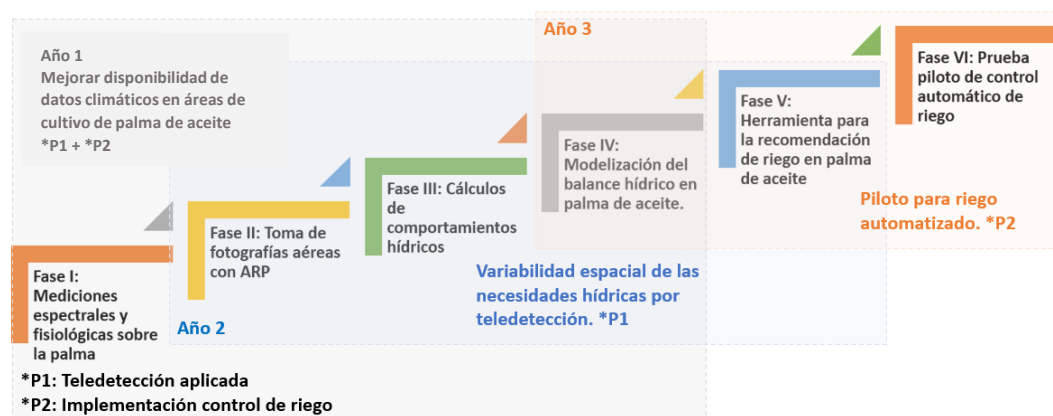


Figura 1. Fases de ejecución del proyecto

**Área de estudio:** plantación de cultivo comercial de palma de aceite, cultivar Damí Las Flores, localizada en Agustín Codazzi, Cesar. Los lotes objeto de estudio son ambos con sistema de riego por aspersión:

C1: teledetección (requerimiento hídrico), siembra año 2012, 8 ha.

C3: simulación y control de riego, siembra año 2013, 4 ha.

**Monitoreo del clima, suelo, planta:** se diseñaron 3 tipos de nodo de monitoreo (Figura 2) para registrar en condiciones reales del cultivo (plantas de porte alto y robusto). Son prototipos trabajados en diseño y operación con Visualiti S. A. S. Todos tienen transmisión inalámbrica con protocolo de comunicación punto a multipunto de baja frecuencia 900 MHz.

**Nodo climático (Tipo 004):** 8 estaciones meteorológicas integradas con datalogger para transmisión de datos por tecnología GSM. Registros con frecuencia horaria precipitación (mm), temperatura ambiente (°C), humedad relativa (%), radiación solar (W/m<sup>2</sup>) y viento (dirección y velocidad).

**Nodo de suelos, clima y planta (Tipo 006):** 4 nodos, cada uno conformado por 3 sensores de humedad y temperatura de suelo, 2 de ellos localizados a 15 cm (uno volumétrico y uno mátrico) y otro a 45 cm de profundidad (mátrico); 2 sensores IRT para medir temperatura infrarroja de la superficie de la hoja; 1 sensor de humedad relativa y temperatura ambiente localizados a 1,50 m de altura al interior del cultivo. Cada nodo bajo diferentes condiciones de suministro hídrico (ensayo del área de investigación en Aguas Cenipalma), 2 en condiciones de déficit (50 y 150 l/palma/día), 1 en condición de exceso (600 l/palma/día) y 1 en condición ideal (350 l/palma/día).

**Nodo de suelos y controlador de riego (Tipo 007):** 3 nodos, cada uno conformado por 2 sensores de suelos (mátrico), a 15 cm de profundidad; una electroválvula y un medidor de flujo (contador).

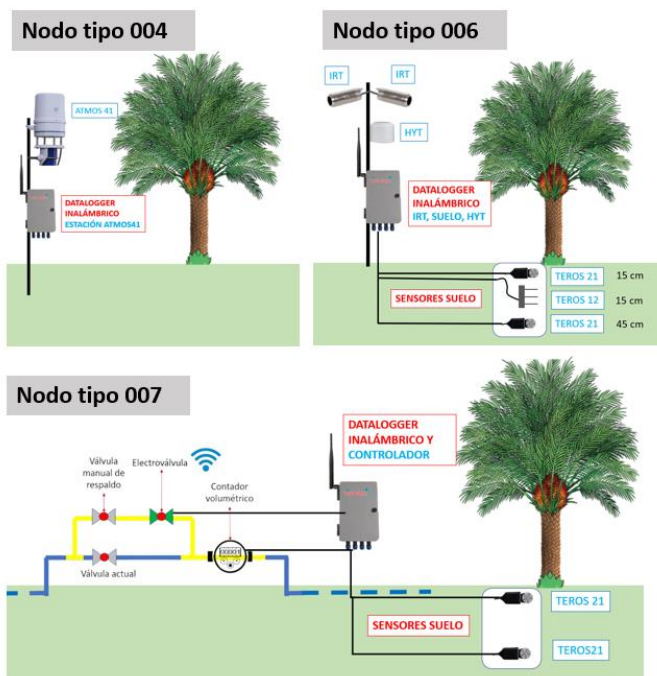


Figura 2. Estructuras de nodos de monitoreo. Diseño prototipo en colaboración con Visualiti S. A. S.

También, se miden condiciones biofísicas (índice de área foliar, conductancia, potencial hídrico, fPAR y reflectancia), que con los vuelos de dron (sensores RGB, térmico y multispectral) y procesamiento de imágenes de satélite son los insumos para el cálculo del CWSI del cultivo de palma de aceite (Figura 3).

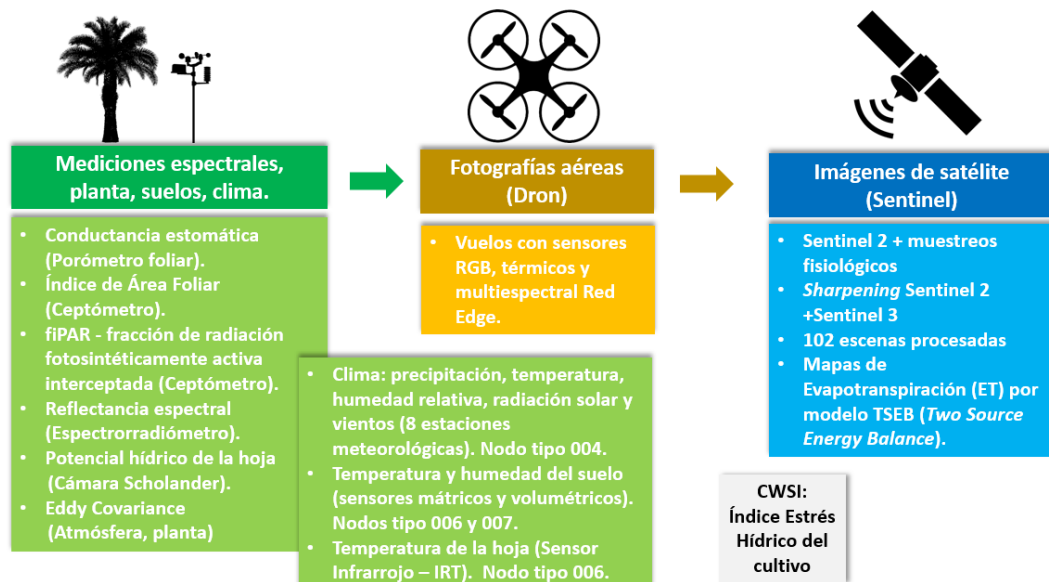


Figura 3. Resumen de la metodología implementada

### Resultados

Durante los dos primeros años de ejecución se priorizó la instalación y puesta a punto de las estructuras y sistemas de monitoreo (electrónica y telemática), así como los protocolos de medición de variables biofísicas para las condiciones del cultivo. Hoy se cuenta con una base de datos (BD) estructurada con más de 250.000 registros de variables meteorológicas, 254.000 registros de suelo y 49.000 de temperatura IRT de hoja. Se tienen 102 escenas de imágenes Sentinel procesadas y mapas de Evapotranspiración obtenidos por el modelo TSEB desde enero/2021 (Figura 4). Además, se desarrolló el software de recomendaciones adaptado a condiciones de palma de aceite, el cual se trabaja con el Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA) de la Generalidad de Cataluña, España. Actualmente se adelanta la integración a Geopalma Corp.

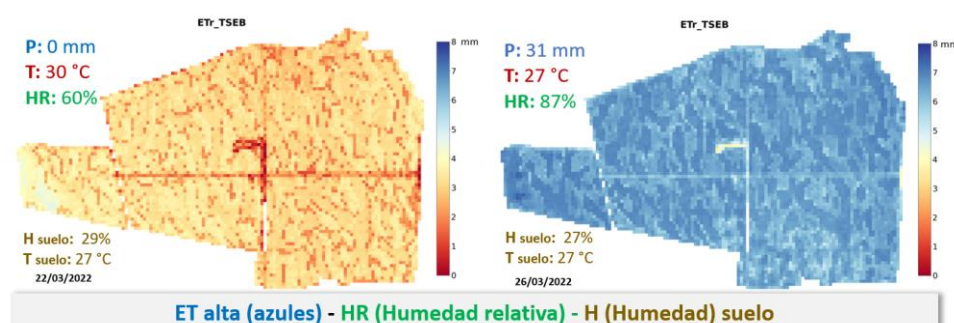


Figura 4. Mapas de evapotranspiración modelo TSEB. Fuente: IRTA.

Se estableció la metodología para generación de ortomosaicos (composición de imágenes) térmicos (Figura 5) con procesos de georrectificación y correcciones atmosféricas para estimación de CWSI a partir del uso de sensores Aero-transportados en dron.

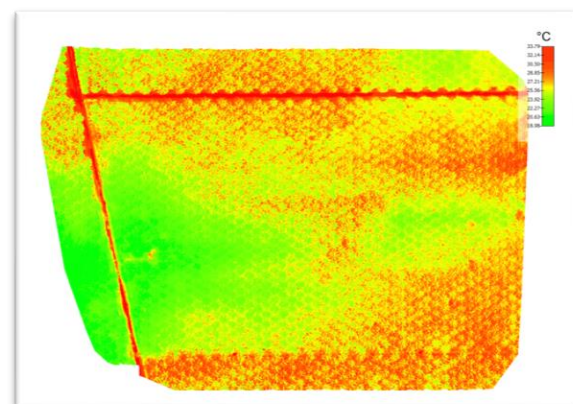


Figura 5. Ortomosaico térmico del lote C1. Colores rojos, mayor temperatura, Fuente: Geomática-Cenipalma.

### Conclusiones parciales

Las técnicas de teledetección espacial permiten aprovechar diferentes recursos tecnológicos emergentes que, aplicados a la agricultura, tienen un gran potencial para los estudios regionales y áreas de gran extensión, permitiendo así una visión global que posteriormente se pueda puntualizar y afinar con estudios más detallados.

En el caso de las imágenes de satélite, se presenta alta dificultad de adquisición durante los periodos de clima predominado por lluvias, dado que las condiciones con alta nubosidad no permiten su total aprovechamiento. En este caso, el dron es una alternativa de apoyo importante.

Las pruebas de transmisión inalámbrica de datos de monitoreo en condiciones de campo para palma de aceite adulta, insumo importante para la aplicación de técnicas de teledetección, definieron como 1,2 km la distancia máxima óptima, utilizando el protocolo de comunicaciones tipo malla (descentralizada con conexión a todos los nodos).

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero, al departamento del Cesar, al Sistema General de Regalías, a investigadores de las áreas de Suelos y Aguas de Cenipalma y a la plantación Palmeras de La Cartuja S. A. S. por su entera disposición para apoyar los requerimientos del proyecto en pro del desarrollo tecnológico para el sector palmero.