

Termografía aérea y remota al servicio de la detección temprana de Marchitez letal

Cristhian Giraldo-Betancourt^{1,2}, Jose Manuel Monsalve-Téllez², Jorge Luis Torres-León²

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. ²Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma.

Introducción

El control de la Marchitez letal (ML) es uno de los retos fitosanitarios de la palmicultura colombiana, especialmente en la Zona Oriental, debido a que gran cantidad de palmas terminan muriendo a causa de esta enfermedad, convirtiéndola en una gran limitante para el cultivo en dicha región. Según Cenipalma se han presentado entre 1997 y 2015 un total de 320.000 casos de ML, donde las estadísticas muestran una tendencia creciente que van desde 524 casos anuales en el año 1997 hasta 81.287 casos para el año 2020, causando así la desaparición de más de 5.636 hectáreas que representaron un efecto en pérdidas económicas de más de 146 millones de dólares (Rivera Méndez & Romero, 2020).

Una Palma de aceite afectada por esta enfermedad se caracteriza por presentar un complejo cuadro sintomatológico que incluye clorosis de las hojas jóvenes y secamiento progresivo de las hojas de los tercios medio e inferior. (Figura 1) (Martínez *et al.*, 2013).



Figura 1. Síntomas de ML en palma joven del híbrido alto oleico (*E. oleifera* x *E. guineensis*).

La tecnología de las Aeronaves Remotamente Pilotadas, conocidas comúnmente como *drones*, pueden estar equipados con una amplia gama de sensores útiles para diversas aplicaciones. Una de estas aplicaciones es la adquisición de imágenes térmicas de alta resolución adquiridas por un sensor abordo, el cual captura de manera detallada la temperatura del dosel de la planta (Matese & Di Gennaro, 2018). Además, ha demostrado ser una herramienta sumamente útil para la detección de diferentes tipos de estrés (Messina & Modica, 2020). Este trabajo describe la implementación de cámaras térmicas adaptadas a un dron, a partir de la cual se pretende establecer una nueva metodología para la detección temprana de enfermedades como la ML en el cultivo de Palma de aceite, con el objetivo de reducir la propagación del inóculo a palmas sanas y a zonas en las cuales no se ha reportado presencia de esta enfermedad. La hipótesis es que exista una diferencia en la respuesta térmica de palmas sanas y palmas con síntomas de ML a partir de imágenes térmicas adquiridas con dron tratadas con un proceso de normalización.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en lote comercial en Zona Oriental, en el municipio de San Carlos de Guaroa en el departamento del Meta, Colombia. La captura de los datos se realizó en un área total de 7 hectáreas. Dentro del lote se seleccionaron 60 palmas enmarcadas en tres zonas de análisis para observar el comportamiento térmico en el tiempo de palmas sanas y enfermas (Figura 2).

Los muestreos en campo se realizaron con una periodicidad de 15 días durante la ejecución del proyecto durante los años 2019 y 2020. Las imágenes térmicas fueron adquiridas utilizando una cámara térmica FLIR Duo Pro-R a bordo de un dron multirrotor. Este sensor calcula los valores de temperatura en grados Celsius (°C) con una alta resolución espacial. Las imágenes adquiridas se procesaron mediante el software Metashape (Agisoft), generando así el ortomosaico térmico del lote. Las operaciones de vuelo con dron se realizaron a 60 m de altura configurando las líneas de vuelo con un traslape entre imágenes tanto horizontal como vertical del 75 % (Avtar *et al.*, 2020), realizando dos vuelos por fecha de adquisición.

Para el correcto análisis y visualización de la información térmica dentro de los lotes, y con el objetivo de realizar monitoreos multitemporales del comportamiento de cada una de las palmas, se implementó una metodología de normalización de los resultados obtenidos a través del sensor térmico, ya que los datos de temperaturas originales están determinados por las condiciones climáticas presentes en el momento de la captura de la imagen. En este sentido se propone el siguiente esquema metodológico (Figura 3).

El proceso se basa en la generación de un modelo de distribución de temperaturas (DT), utilizando un Shapefile del dosel de cada una de las palmas, a través del cual se calcula el valor promedio de los píxeles de temperatura dentro de cada uno. Estos Shapefiles fueron generados a partir de la coordenada central de la palma y generando un buffer de 2,5 m. Posteriormente, se calcula la diferencia en términos porcentuales entre el modelo de distribución de temperaturas (DT) y las temperaturas originales de cada palma registradas por el sensor, obteniendo la imagen de compensación de valores (ICV). Finalmente, se realiza una operación de adición entre la ICV y el ortomosaico térmico original dando como resultado el ortomosaico térmico normalizado.

Se realizó un análisis multitemporal de las temperaturas de cada una de las palmas registradas en cada uno de los muestreos realizados. Estos datos de temperaturas se contrastaron con la información de los censos de sanidad, los cuales son realizados de manera semanal por personal capacitado de la plantación, con el objetivo de tener un punto de referencia en campo y poder realizar así una detección temprana de la enfermedad por medio de los ortomosaicos térmicos normalizados.

Resultados y discusión

Se implementó el proceso de normalización del ortomosaico térmico donde se puede observar que, basándose en los valores del modelo de distribución de las temperaturas (DT) (Figura 4b), es posible obtener un ortomosaico normalizado de las temperaturas de cada una de las palmas dentro del lote (Figura 4c) donde no se observan zonas de altas o bajas temperaturas, sin alterar las diferencias existentes entre las temperaturas de las palmas sanas con las temperaturas de las palmas enfermas.

A continuación, se muestra el resultado del proceso de normalización del ortomosaico térmico donde se puede observar que el generado por el sensor (Figura 4a) presenta zonas donde predominan temperaturas más bajas y otras zonas donde predominan temperaturas más altas, esto es debido a las condiciones climáticas tan cambiantes que se presentan en campo durante el momento de la captura de imágenes.

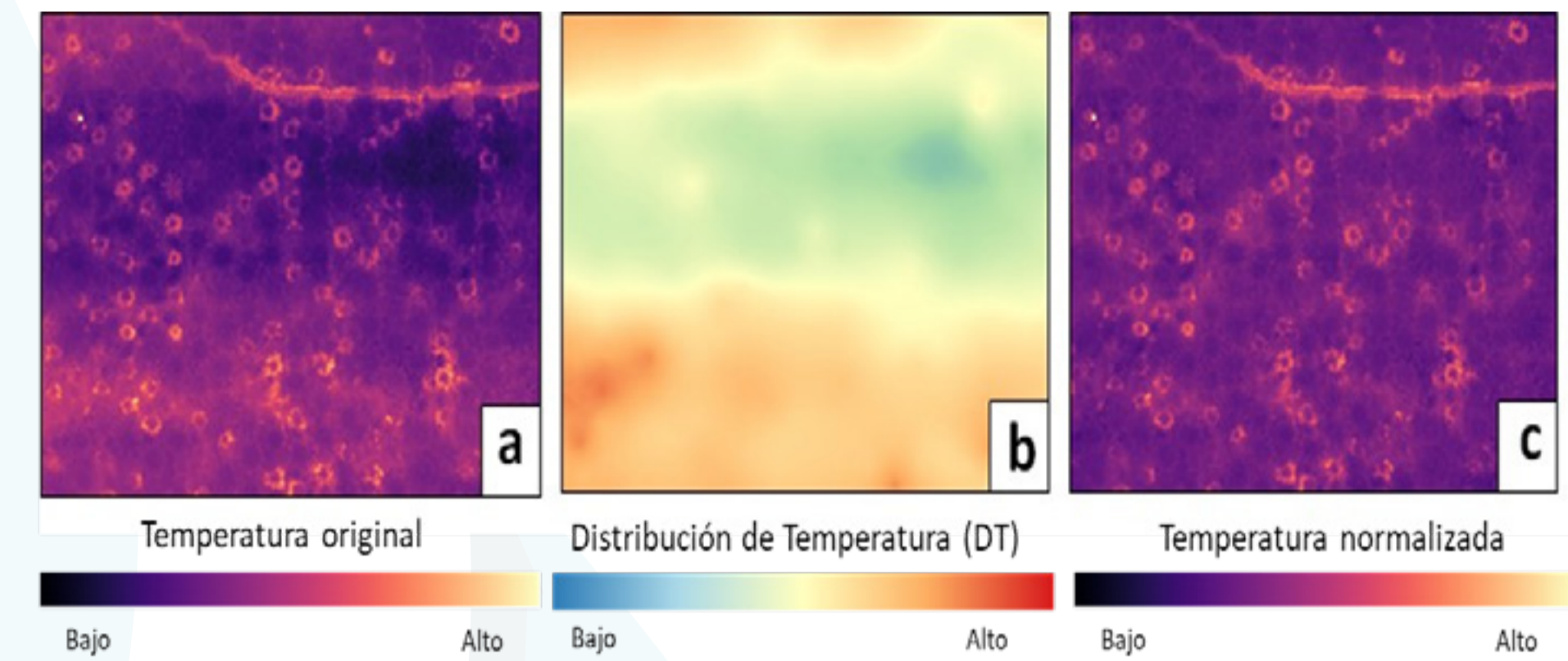


Figura 4. Diferenciación entre ortomosaicos térmicos. a) Ortomosaico térmico generado por el sensor. b) Modelo de Distribución de las Temperaturas (DT) registradas por las palmas dentro del lote. c) Ortomosaico térmico normalizado.

Una vez generado el ortomosaico térmico normalizado, se procedió a realizar la comparación del mismo con el ortomosaico térmico originado por el sensor. En la Figura 5 se muestra el registro del promedio de las temperaturas de cada una de las palmas captadas por el sensor térmico (color azul) y el promedio de las temperaturas normalizadas (color verde). Se observa que, a través del proceso de normalización es posible determinar la temperatura de las palmas sanas e identificar con mayor claridad el grupo de palmas que presentan algún síntoma de enfermedad, mostrándose una diferencia de 2 hasta 4 grados Celsius respecto al promedio de las temperaturas registradas en las palmas sanas.

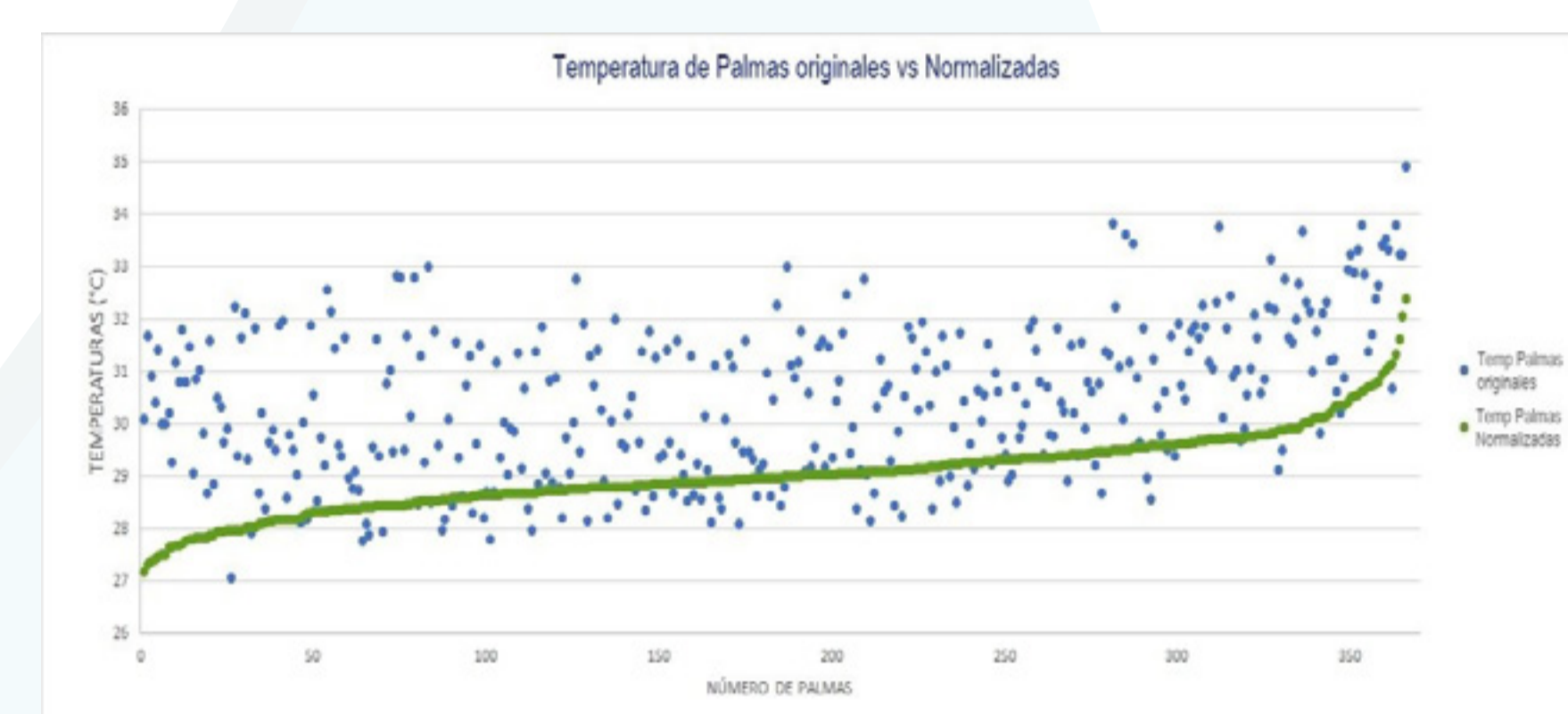


Figura 5. Gráfico comparativo entre los valores de temperaturas originales registrados por el sensor (puntos azules) y los valores de temperaturas obtenidos mediante el proceso de normalización (puntos verdes) de cada palma en el lote.

A partir de la implementación del proceso de normalización, es posible realizar comparaciones multitemporales de los datos de temperaturas registradas en cada una de las palmas, con lo cual se encontró que fue posible determinar esta variación y asociación con ML, 14 días en promedio antes de mostrar síntomas visibles (Figura 6). En esta gráfica se presentan las tres zonas seleccionadas dentro del lote de estudio, representando las temperaturas asociadas a las palmas sanas (línea de color verde), palmas enfermas de las 60 en observación (línea continua color rojo) y las palmas enfermas reportadas en el censo de la plantación (línea discontinua color rojo), a través del tiempo representados en días Julianos.

En las Figuras 6a, 6b y 6c se puede observar la variación de la temperatura foliar en el tiempo sin que sea posible discriminar claramente entre palmas sanas y enfermas, debido a las altas variaciones de temperaturas registradas entre cada uno de los muestreos. Una vez aplicado el proceso de normalización, los ortomosaicos térmicos diferencian con mayor claridad, aquellas palmas sanas de las enfermas (Figura 6d, 6e y 6f). Se observó un aumento entre 1 a 2 grados Celsius para palmas enfermas sin síntomas y de 3 grados Celsius para palmas enfermas con síntomas respecto a las palmas sanas.

Este avance está enmarcado en el proyecto de investigación de teledetección temprana de la ML en palma de aceite en zona Oriental, por el cual se puede concluir que las imágenes térmicas adquiridas con dron pueden ser utilizadas como método de detección temprana de esta enfermedad y así mismo sirven como indicador temprano para la toma de decisiones frente al manejo integrado de la misma.

Agradecimientos

Al personal y directivas de la plantación Palmeras La Carolina. A la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite. Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero, Fedepalma y Cenipalma por el apoyo y recursos para llevar a cabo el proyecto de investigación.

Referencias

Avtar, R., Suab, S. A., Syukur, M. S., Korom, A., Umarhadi, D. A., & Yunus, A. P. (2020). Assessing the influence of UAV altitude on extracted biophysical parameters of young oil palm. *Remote Sensing*, 12(18), 1–21. <https://doi.org/10.3390/RS12183030>

Martínez, G., Arango, M., Torres, G. A., Sarria, G. A., Vélez, D. C., Rodríguez, J., ... Guest, D. I. (2013). Avances en la investigación sobre las dos enfermedades más importantes de la palma de aceite en Colombia: la pudrición del cogollo y la marchitez letal. *Palmas*, 34(1), 39–47.

Matese, A., & Di Gennaro, S. F. (2018). Practical applications of a multisensor UAV platform based on multispectral, thermal and RGB high resolution images in precision viticulture. *Agriculture (Switzerland)*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/agriculture8070116>

Messina, G., & Modica, G. (2020). Applications of UAV thermal imagery in precision agriculture: State of the art and future research outlook. *Remote Sensing*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/RS12091491>

Ortiz Mora, Y. A. (2019). *LA PALMA DE ACEITE COMO EJEMPLO PARA LA AGROINDUSTRIA EN COLOMBIA. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA*.

Rivera Méndez, Y. D., & Romero, H. M. (2020). Líneas Estratégicas de Investigación y Extensión de Cenipalma: el Nuevo Enfoque de Trabajo Articulado. *Ceniavances*, 1–16.

SISPA. (2021). *Sistema de Información Estadística del Sector Palmero*. <http://sispa.fedepalma.org/sispaweb>

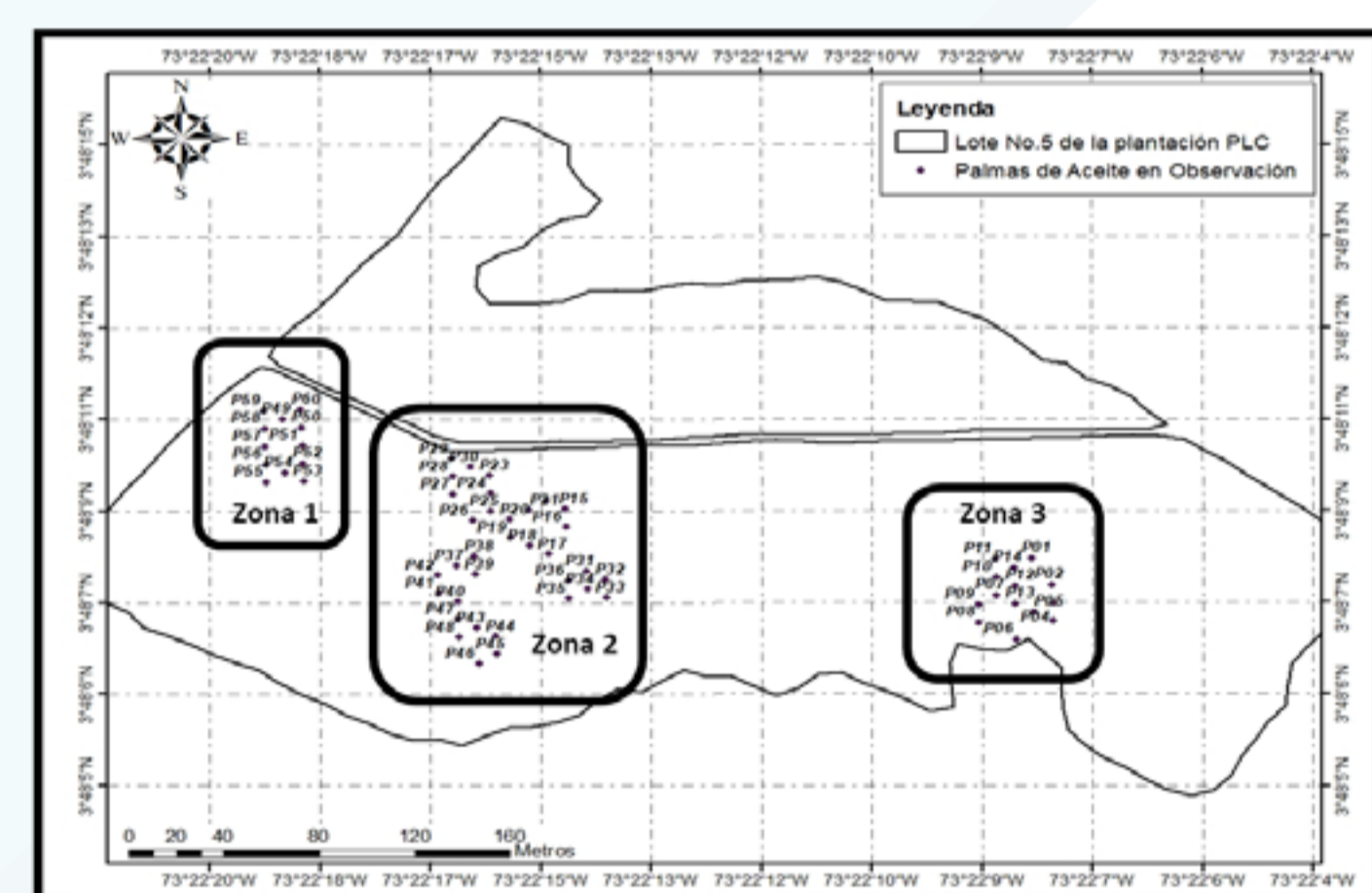


Figura 2. Zonas de análisis del comportamiento de la temperatura de las palmas dentro del lote.

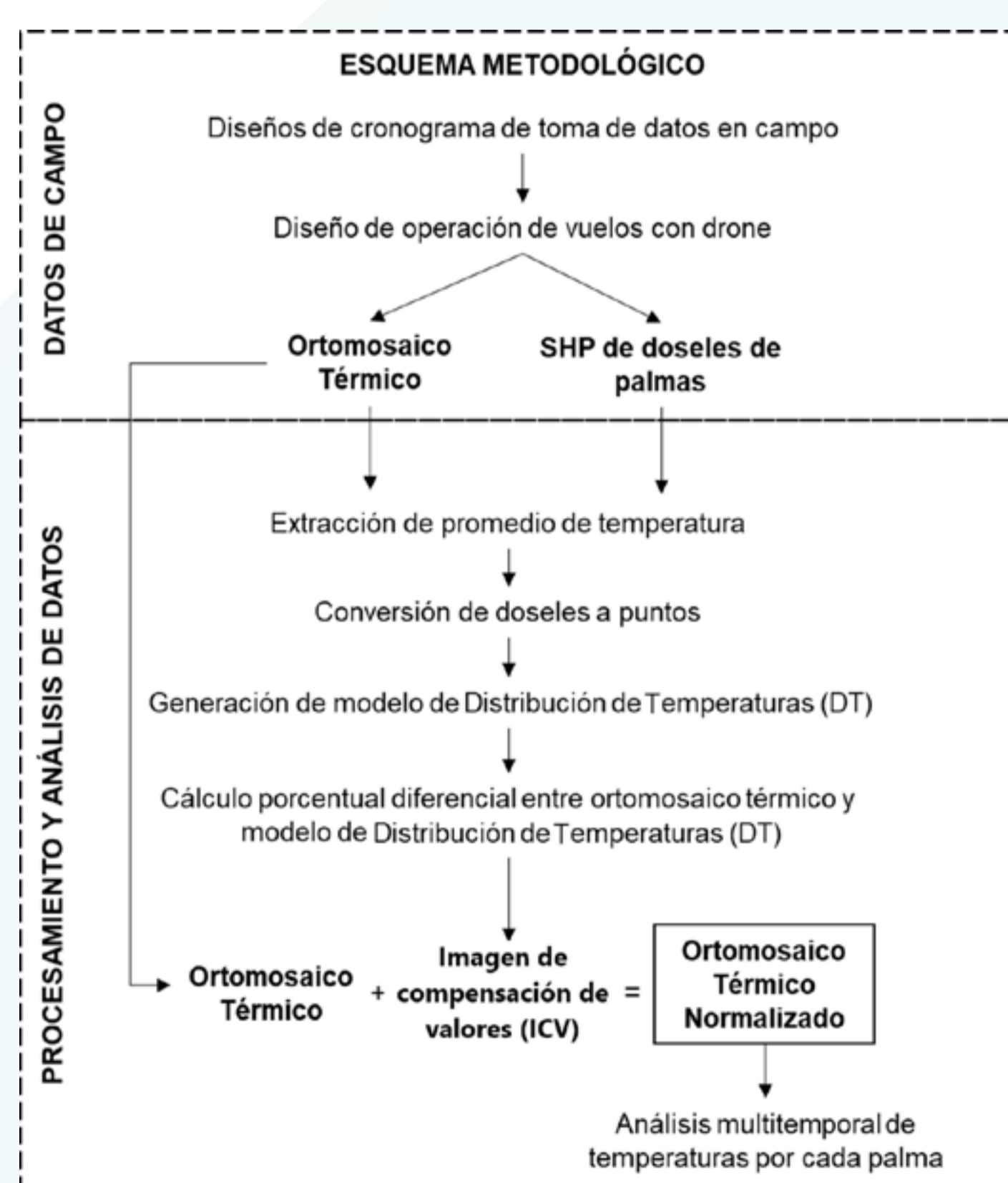


Figura 3. Esquema metodológico del proceso de normalización de ortomosaicos térmicos aplicado al cultivo de palma de aceite

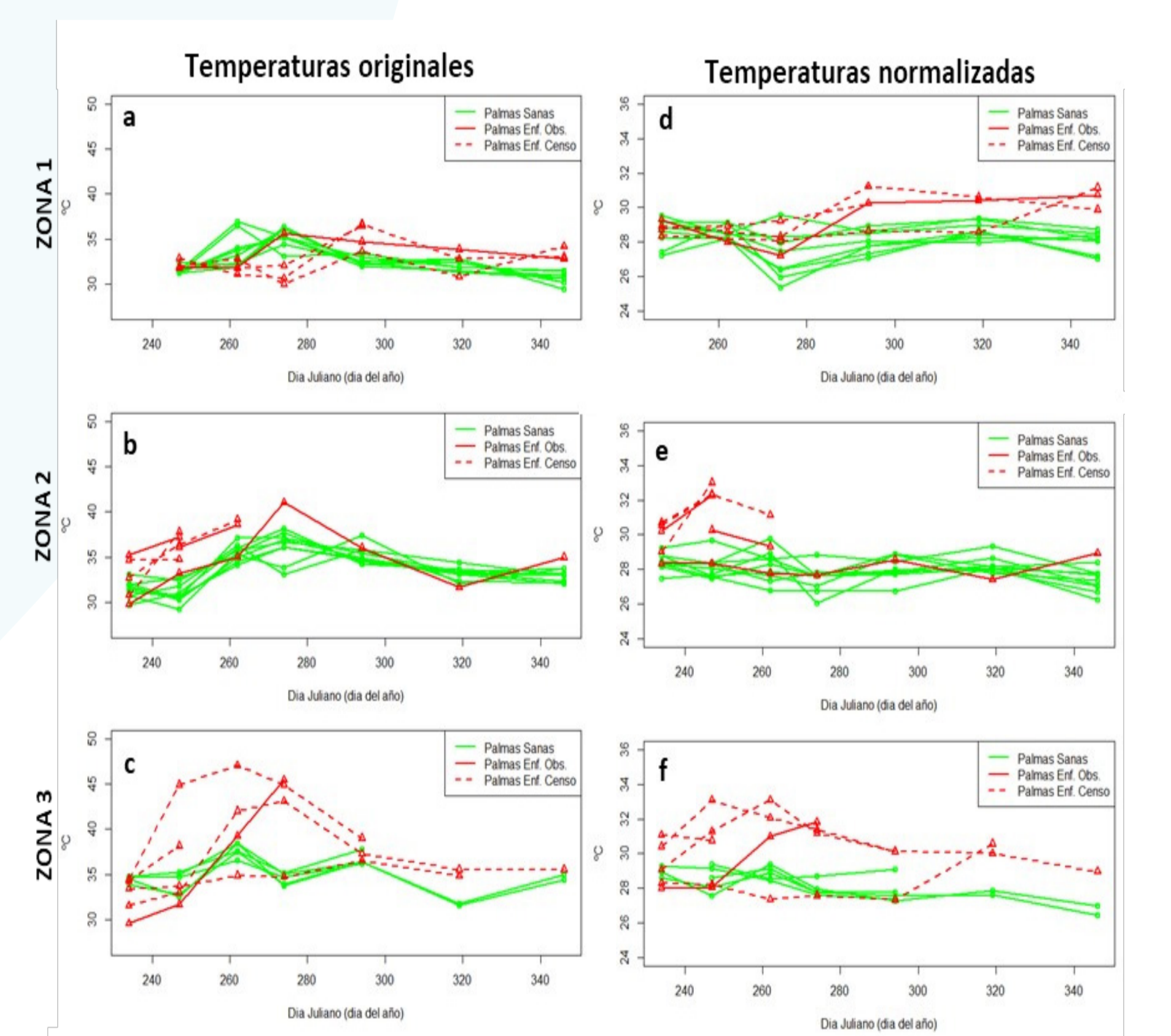


Figura 6. Comportamiento temporal de la temperatura foliar de diferentes palmas de aceite sanas (Palmas Sanas), palmas enfermas en observación (Palmas Enf. Obs) y palmas enfermas del censo de la plantación (Palmas Enf. Censo).