

## COMPARACIÓN DE FIRMAS ESPECTRALES EN ASAÍ (*Euterpe precatoria*), MAJO (*Oenocarpus bataua*) Y CACAO (*Theobroma cacao*) CON SENSORES REMOTOS EN EL NORTE AMAZÓNICO DE LA PAZ-BOLIVIA

### Comparison of spectral signatures in asaí (*Euterpe precatoria*), majo (*Oenocarpus bataua*) and cacao (*Theobroma cacao*) with remote sensing in the Northern Amazon of La Paz-Bolivia

Javier Nuñez-Villalba<sup>1\*</sup>, Alejandra Campos Loayza<sup>2</sup>, Jose Luis Calle Peralta<sup>3</sup>

#### RESUMEN

Debido a la creciente deforestación que sufren las áreas boscosas de Bolivia, los recursos no maderables del bosque como el asaí (*Euterpe precatoria*), el majo (*Oenocarpus bataua*) y el cacao (*Theobroma cacao*), han tomado importancia debido a las propiedades tanto nutricionales, productivas y económicas que aportan a los ecosistemas, por este motivo el estudio analiza las firmas espectrales de las tres especies, en el norte amazónico de La Paz, Bolivia, utilizando tecnologías avanzadas de teledetección. El objetivo principal era mejorar la precisión de la identificación de estas especies, que son vitales para la gestión sostenible de los bosques y los medios de vida de las comunidades locales. Los datos se recopilaron mediante sensores terrestres (Handheld2 ASD) para su validación, junto con imágenes multispectrales de drones (Phantom 4 Pro, Parrot Sequoia) e imágenes de satélite del Landsat 7, el Landsat 8 y el Sentinel-2B. Se aplicaron a las imágenes de satélite varios métodos de corrección atmosférica, como ATCOR (ERDAS), SEN2COR (SNAP) y el método Dark Object, para garantizar la integridad de los datos. Los resultados demostraron que las imágenes de los vehículos aéreos no tripulados, junto con las del Landsat 7 y el Sentinel-2B, mostraron una mayor correlación con los datos reales obtenidos en tierra con el espectrorradiómetro, mientras que las del Landsat 8 mostraron desviaciones significativas. Esta investigación subraya el papel fundamental de las correcciones atmosféricas apropiadas para identificar con precisión los frutos de los bosques. Los hallazgos contribuyen a una comprensión más amplia del monitoreo ecológico y la gestión de los recursos en los ecosistemas de bosques tropicales, enfatizando el potencial de las tecnologías de teledetección para mejorar los esfuerzos de conservación de la biodiversidad.

**Palabras clave:** asaí, majo, cacao, firma espectral, UAVs, Amazonia.

#### ABSTRACT

Due to the increasing deforestation in the forested areas of Bolivia, non-timber forest resources such as asaí (*Euterpe precatoria*), majo (*Oenocarpus bataua*) and cacao (*Theobroma cacao*), have gained importance due to the nutritional, productive and economic properties they contribute to ecosystems, for this reason the study analyzes the spectral signatures of the three species, in the northern Amazon of La Paz, Bolivia, using advanced remote sensing technologies. The main objective was to improve the accuracy of the identification of these species, which are vital for the sustainable management of forests and the livelihoods of local communities. Data were collected using ground-based sensors (Handheld2 ASD) for validation, along with multispectral imagery from drones (Phantom 4 Pro, Parrot Sequoia) and satellite imagery from Landsat 7, Landsat 8 and Sentinel-2B. Several atmospheric correction methods, such as ATCOR (ERDAS), SEN2COR (SNAP) and the Dark Object method, were applied to the satellite images to ensure data integrity. The results showed that the UAV images, together with those from Landsat 7 and Sentinel-2B, showed a higher correlation with the real data obtained on the ground with the spectroradiometer, while those from Landsat 8 showed significant deviations. This research underscores the critical role of appropriate atmospheric corrections in accurately identifying forest fruits. The findings contribute to a broader understanding of ecological monitoring and resource management in tropical forest ecosystems, emphasizing the potential of remote sensing technologies to enhance biodiversity conservation efforts.

**Keywords:** asaí, majo, cacao, spectral signature, UAVs, Amazonia.

#### Artículo original

DOI: <https://doi.org/10.53287/hdtq8578gg43k>

Recibido: 25/11/2024

Aceptado: 28/12/2024

<sup>1</sup> \*Autor de correspondencia: Docente Investigador, Instituto de Investigaciones Geográficas, Carrera de Ingeniería Geográfica, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8970-3444>. [jnunezvillalba@gmail.com](mailto:jnunezvillalba@gmail.com)

<sup>2</sup> Carrera de Ingeniería Geográfica, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8906-1642>. [alejandracamposloayza1234@gmail.com](mailto:alejandracamposloayza1234@gmail.com)

<sup>3</sup> Docente, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4558-601X>. [calleperaltajosemanuel@gmail.com](mailto:calleperaltajosemanuel@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

Dentro de los frutos del bosque de la amazonia priorizados en el territorio nacional, el asaí denominado asaí boliviano (*Euterpe precatoria*) presenta diferencias en comparación con el asaí brasileiro (*Euterpe oleracea*), como una mayor capacidad antioxidante por lo que tiene mayor potencial para su producción (Tonore et al., 2019). Sin embargo, el asaí boliviano tarda más tiempo producir los frutos, entre 8 a 10 años, y el asaí brasileño aproximadamente en cinco años, y la misma especie de asaí boliviano existen dos tipos, los que maduran en zonas inundables o bajos que alcanzan densidades de entre 100 y 170 palmeras por hectárea, y los de bosque de altura o monte alto pueden llegar entre 50 a 90 palmeras por hectárea (PICFA, 2021). Así también Cifuentes et al. (2010) destacan que el majo, es una especie de palma que conforma rodales altamente densos en bosques inundables y es considerada una especie promisoría porque sus frutos contienen proteínas y aceite de alta calidad; por ello, el manejo sostenible de estos bosques y la cosecha periódica de sus frutos pueden proveer alimento e ingresos monetarios a las comunidades locales y, así, mejorar su calidad de vida.

En 2010 se consideró incluir a Bolivia entre los principales países productores de cacao fino y de aroma del mundo, señalando que el 100 % del cacao en grano exportado desde el país podría considerarse como cacao fino y de aroma, no obstante, no es muy claro si actualmente Bolivia está considerada dentro de ese grupo de productores de cacao fino y de aroma (ICCO, 2001 citado por Espinoza et al., 2014).

Una vez identificada la palmera de asaí, majo y cacao, el propósito de este estudio, está orientado a la obtención y comparación de firmas espectrales. Las firmas espectrales se pueden obtener por varios métodos: imágenes de satélite, espectralradiómetros, bibliotecas espectrales y modelos de simulación (Chuvieco, 2008). En este caso se utilizaron dos métodos: las imágenes de satélite y drones, y un espectralradiómetro. Es importante destacar que no existen bibliotecas con firmas espectrales de asaí, majo o cacao.

Los sensores hiperespectrales tienen una alta resolución espectral, a menudo cientos de bandas espectrales que abarcan el visible y el infrarrojo cercano, y muchas también se extienden hacia la onda corta y longitudes de onda infrarrojas. Todas las fuentes anteriores de las imágenes se adquieren periódicamente (por ejemplo, imágenes aéreas, fotos) o adquisiciones son tarea de los usuarios finales, a menudo en costo sustancial (Bradley, 2013). Para la detección temprana y respuesta rápida Westbrooks (2004), sugiere a las invasiones mayores, por lo tanto, las imágenes con resolución son más apropiadas. mientras que las imágenes con una resolución más gruesa podrían ser más útiles para comprender el paisaje y el riesgo de invasión regional en etapas posteriores de la invasión.

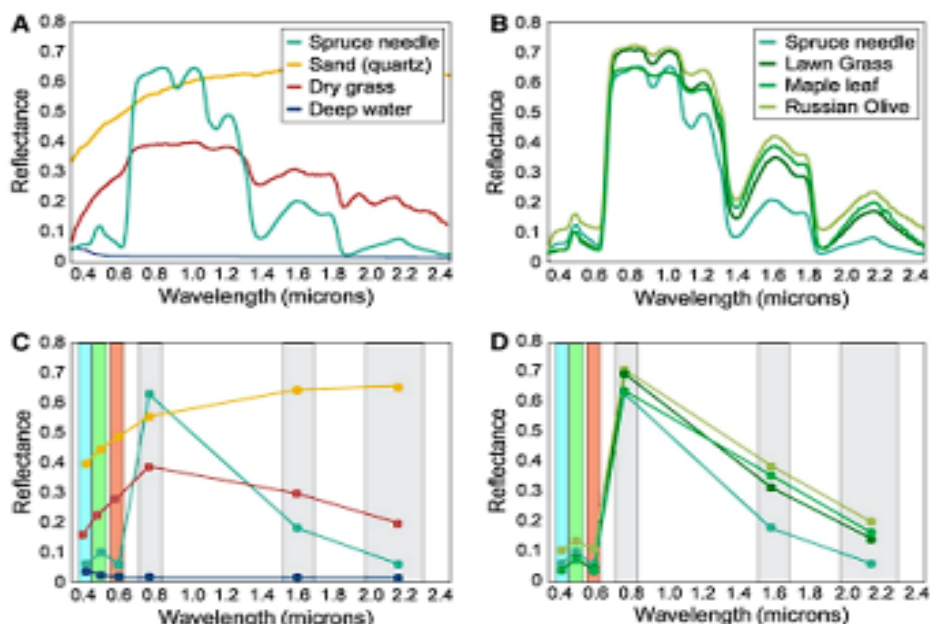


Figura 1. Firmas espectrales. Fuente: Bradley (2013).

Ejemplos de firmas espectrales puras (sin mezclar) de sensores hiperespectrales y multiespectrales. Las barras verticales indican las longitudes de onda aproximadas medidas por los sensores Landsat/MODIS, y las barras azul, verde y roja representan las longitudes de onda de la luz visible. a. Cuatro materiales espectralmente distintos se separan fácilmente utilizando datos hiperespectrales. b. Cuatro tipos de vegetación fotosintética tienen espectros similares, pero puede ser posible separar utilizando datos hiperespectrales. c. Distintos materiales siguen siendo fáciles de identificar con datos multiespectrales. d. Los tipos de vegetación fotosintética parecen casi idénticos a los datos multiespectrales (Bradley, 2013).

Este estudio compara las firmas espectrales obtenidas con distintos sensores para analizar las diferencias y similitudes entre plataformas terrestres, aéreas y satelitales en el contexto del análisis espectral. Entre 2023 y 2024, realizamos un estudio de campo en colaboración con el proyecto entre la Universidad Mayor de San Andrés y FONABOSQUE para identificar y comparar las firmas espectrales del asaí, majo y cacao silvestre, especies clave para la conservación de los ecosistemas amazónicos (MMAYA, 2020). Lamentablemente, la expansión de actividades como la agricultura, la ganadería y los incendios forestales amenaza la conservación de estos frutos silvestres. Según datos de Global Forest Watch (GFW) (2024), Bolivia perdió 696.000 hectáreas de bosque en 2023, lo que equivale a 370 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas y contribuye al cambio climático.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

El proyecto se realizó en el norte del departamento de La Paz en las localidades de: Sapecho, Ixiamas, Tumupasa, Santa Rosa de Maravilla, Carmen Pecha, Carmen del Emero, San Silvestre (El Infierno), y Villa Fátima. El estudio se focalizó en dos lugares: Estación Experimental Sapecho de la Universidad Mayor de San Andrés y Carmen del Pecha (Figura 2) en los municipios de Palos Blancos e Ixiamas.

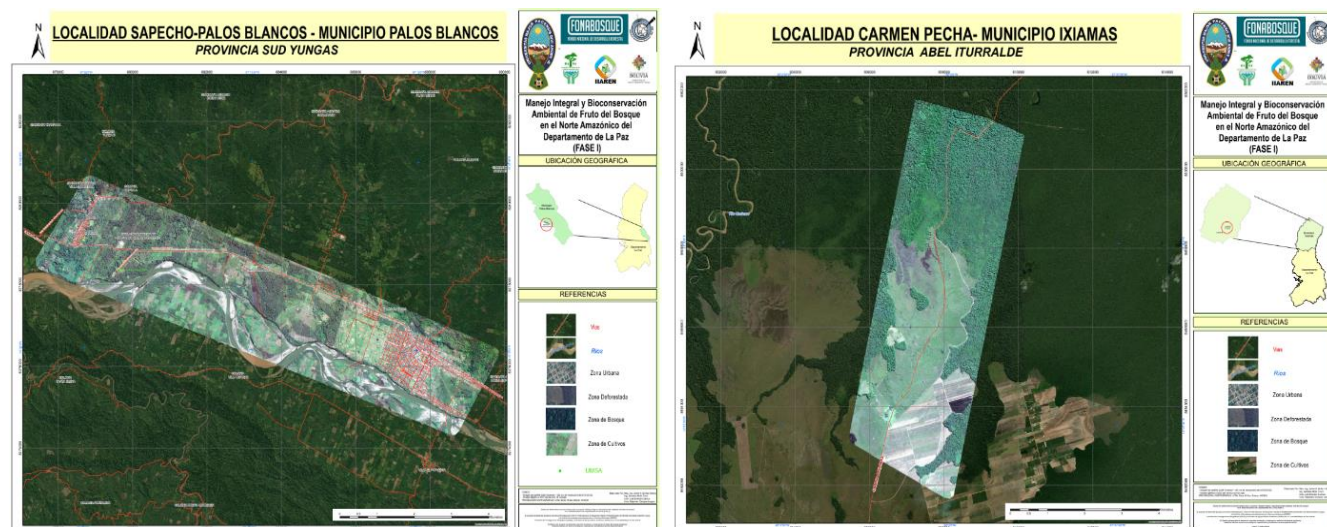


Figura. 2. Mapa de localización Sapecho y Carmen Pecha.

Los mapas fueron desarrollados en una plataforma SIG que se encuentra disponible en la nube a través del siguiente link: <https://arcg.is/0nmeS1>.

### Materiales

Los materiales utilizados en este estudio para comparar las firmas espectrales fueron los siguientes:

- Espectroradiómetro HandHeld2 FieldSpec ASD: Es un dispositivo portátil diseñado para medir la radiación electromagnética en el rango visible y cercano al infrarrojo (Malvern Panalytical, 2024). El HandHeld 2 ASD es fácil de usar, lo que lo hace ideal para trabajos de campo. Puede medir la reflectancia, transmitancia y

absorbancia de una muestra, lo que permite obtener información detallada sobre su composición química y física. Tiene un rango de longitud de onda de 325-1075 nm, una precisión de  $\pm 1$  nm y una resolución de  $<3$  nm a 700 nm (Maldonado et al, 2019; ASD, 2002).

- b. Drone Multiespectral Phantom 4 Pro: Este dron tiene un sensor con 6 bandas de color: Azul con 450 nm, Verde con 560 nm, Rojo con 650 nm, Red Edge con 730 nm, Infrarrojo con 840nm, y Visible (RGB) (Geotop, 2023).
- c. Drone Parrot Disco con cámara multiespectral Sequoia: El Parrot Disco es un dron de ala fija compatible con la cámara multiespectral Sequoia. La cámara Sequoia tiene un rango espectral entre 550 nm a 790 nm de longitud de onda (TYC GIS, s.f.).

Para el procesamiento y corrección de las imágenes, se emplearon diferentes softwares, tales como ATCOR (ERDAS), SEN2COR (SNAP), y métodos como *Dark Object* (ENVI), para asegurar la precisión de los resultados.

## Metodología

La comparación de firmas espectrales se realizó mediante un equipo de precisión en campo donde se tiene el dato real de la reflectancia de las especies tomados con salida de campo con la Carrera de Ingeniería Geográfica, en la materia de Percepción Remota (MAP 400) y también con la materia de Campo 4 (CAM 400) del 24 de julio al 29 de julio del 2023, en la Estación Experimental Sapecho de la Facultad de Agronomía y la última parada en Santa Rosa de Maravilla, 2 lugares específicos de muestra sobre asaf, majo y cacao.

Según Chuvieco (2008), las firmas espectrales nos ayudan a reconocer cubiertas de interés como en este caso de vegetación sobre asaf, majo y cacao. La firma espectral de una cubierta puede obtenerse a partir de varias fuentes; sin embargo, para el estudio solo se utilizó dos medios de obtención, considerando que estamos realizando las muestras en campo y tendremos datos in situ, creando nuestra propia biblioteca espectral de asaf, majo y cacao.

Para realizar la "Radiometria en campo/laboratorio" se realizó con el espectroradiómetro HANDHELD ASD, en el que se obtuvo la reflectividad de la muestra de asaf, majo y cacao, donde se tomó la muestra de la hoja con sus respectivas coordenadas para definir los lugares donde existen estos tipos de vegetación y cuál es su reflectancia, teniendo los valores más reales que son a la realidad.

La toma de imágenes de satélite, se trabajó en campo con dos tipos de Dron Multiespectral Phanthom 4 Pro V2 y de ala fija PARROT, el segundo dron se utilizó solo en uno de los puntos porque el lugar era apto para el vuelo de ese tipo de Dron, teniendo la mejor resolución espacial de fotografías aéreas de drones. Además, realizamos la comparación con imágenes de satélite como el Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel, por sus características y tener la comparación con resultados más cercanos a la realidad.

### *Corrección de imágenes de satélite*

En las imágenes de satélite del sensor Landsat 7 existe el efecto de bandeo o conocido también como striping, que se debe a un mal calibrado entre los detectores del sensor; esto es a que alguno de ellos codifique la radiancia que recibe en ND distintos a los demás. Los equipos de barrido multiespectral exploran varias líneas simultáneas a cada oscilación de espejo (Chuvieco, 2008). Para ello utilizaremos el método de gap-filling para el proceso de restauración de los pixeles perdidos o el efecto del bandeo que tiene el Landsat 7 (Estrada et al. 2010). Es una forma rápida de recuperar los datos perdidos de una imagen de satélite en donde se obtienen 3 distintas formas de corrección. Este proceso se realizó en el Software de ENVI con el primer método en la que toma los valores alrededor de las líneas que tienen el vacío y las extrapoló para cubrir el efecto de bandeo.

### Métodos de Corrección atmosférica

Según Geosystems (2014), ATCOR es una herramienta de corrección atmosférica que se utiliza para mejorar la calidad de las imágenes de satélite y ofrece la capacidad de realizar una corrección detallada teniendo en cuenta diversos parámetros atmosféricos, como la presión, la humedad y la concentración de aerosoles. Se realizó la corrección atmosférica del Landsat 8, se compiló las bandas (7) por su resolución espacial de 30 metros en 16 bits, posteriormente actualizar los datos de calibración del formato “.cal”.

Para el cálculo del Zenith solar y el Solar Azimut, se utilizó el Atmospheric Selections donde se puso el lugar donde queremos hacer la corrección atmosférica.

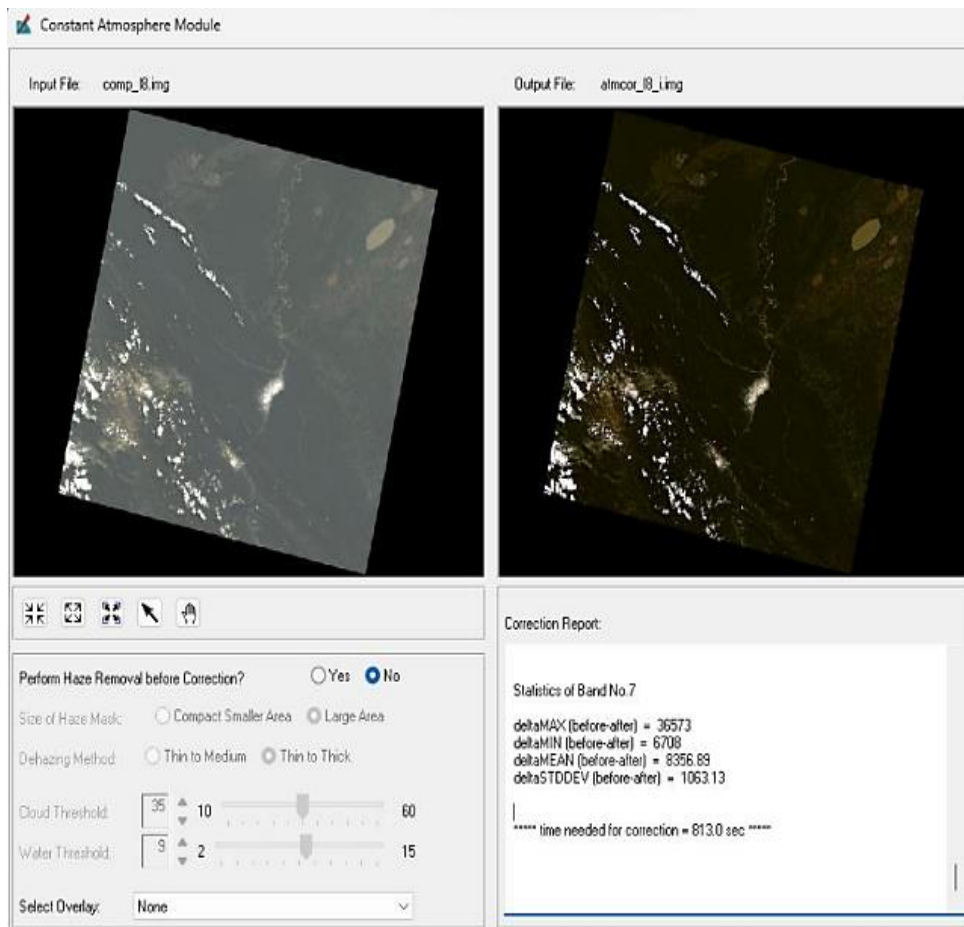


Figura. 3. Imagen inicial y con corrección atmosférica con ATCOR.

La Dark subtraction, es otra herramienta de corrección atmosférica avanzada. Se destaca por su capacidad para trabajar con múltiples fuentes de información atmosférica. Para ello utilizaremos las imágenes del Landsat 7 para su corrección atmosférica, se utilizó ENVI 5.3, es necesario tener la versión más actual con el cual se tuvo el mínimo de modificaciones y facilidad del trabajo.

Inicialmente se ingresó banda por banda para poder realizar los procesos, seguidamente se realizó la corrección del bandeo con el método de gap-fill (para realizar la corrección atmosférica el método Dark subtraction se puso en valores de radiance nuestra imagen de satélite), por ello, cada banda se modificó, hasta convertir a datos de Reflectancia, que sirvió para el sensor de Landsat 8 y Landsat 7. Finalmente, se realizó la compilación de las bandas para realizar la corrección atmosférica con el Dark subtraction, donde realizamos el corte del lugar de Sapecho en este ejemplo y obtenemos la firma espectral.

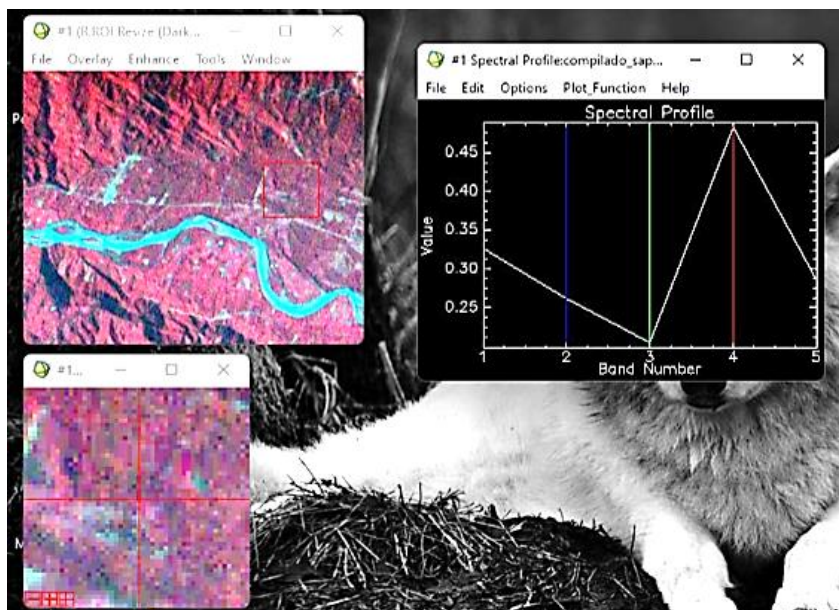


Figura. 4. Corrección atmosférica con Dark subtraction y firma espectral.

Según GIS y BEERS (2016), Sen2Cor es una herramienta específica para la corrección atmosférica de imágenes capturadas por los satélites Sentinel de la Agencia Espacial Europea (ESA), este software integrado en SNAP, es especialmente útil para aplicaciones de monitorización de la Tierra y la agricultura de precisión, ya que optimiza la corrección atmosférica de datos Sentinel.

El proceso que se realizó para la corrección de las imágenes Sentinel, fué primero se lo realizó con el mtl que nos proporciona al descargar y descomprimir la imagen, segundo se cambió los parámetros para tener los resultados y finalmente se eligió el L2A GIPP para completar sus parámetros automáticamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comparación de firmas espectrales

Para la comparación de firmas espectrales, la base real fue el espectroradiómetro Handheld2 y con ello, se comparó cual imagen es el más cercano para realizar firmas espectrales de asaí, majo y cacao. Se consideró que Handheld2 tiene 750 bandas, el Dron multispectral Phantom4 tiene 5 bandas (cada banda en un determinado rango de longitud de onda), el Parrot Sequoia tiene 4 bandas en una longitud de onda central, las imágenes satelitales por el contrario tienen resolución espacial de 30m, los Landsat 7 y 8, también con resolución espectral en un rango de cada banda y utilizando 6 bandas, Landsat 8 y Landsat 7 con 5 bandas, esto según a las características que tiene cada elemento y que estén conectados entre sí para poder tener la comparación de las firmas espectrales correctas. A continuación (Tabla 1), se muestran las comparaciones de las firmas espectrales de las bandas estudiadas.

Tabla 1. Comparación de firmas espectrales.

Banda	Phantom	Parrot	Sentinel	Landsat 8	Landsat 7	Handheld2	Longitud de onda
Banda 1 Azul	0,018341		0,1317	-0,124696	0,174174	0,028	450
Banda 2 Verde	0,028969	0,071164	0,1465	-0,098068	0,142872	0,083	550
Banda 3 Rojo	0,015442	0,033167	0,1392	-0,100303	0,12041	0,041	650
NIR 1	0,06986	0,233862	0,4112	0,065701	0,203136	0,6	800
NIR 2	0,107818	0,316297		-0,019978	0,315903		1700
NIR	0,749436			0,320729			2170

Firmas espectrales

Lugar de toma de muestra: Sapecho

Especie: Asaí macollero.

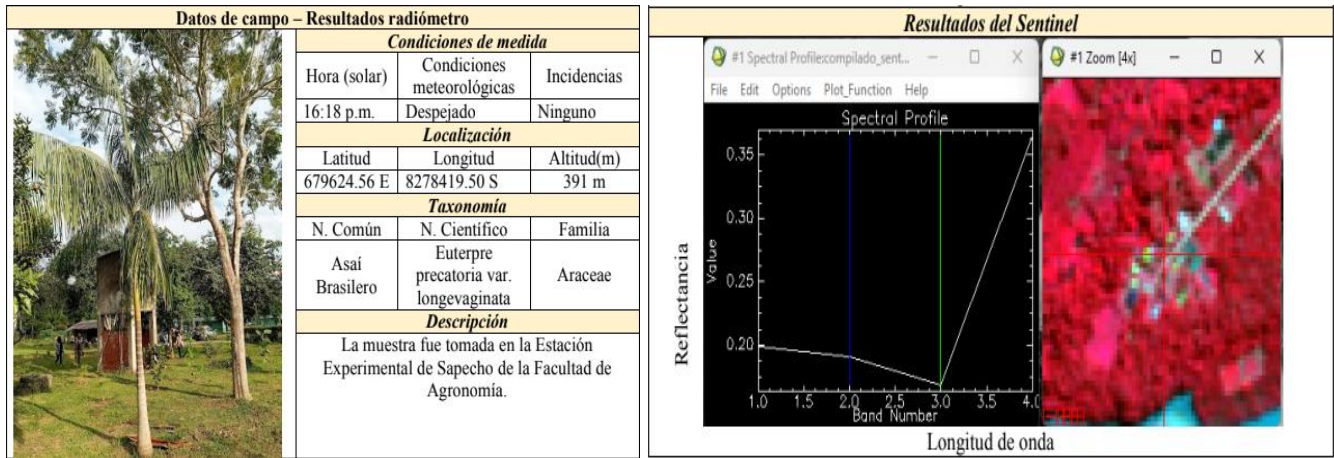


Figura 5. Resultados de radiómetro y firma espectral de Sentinel

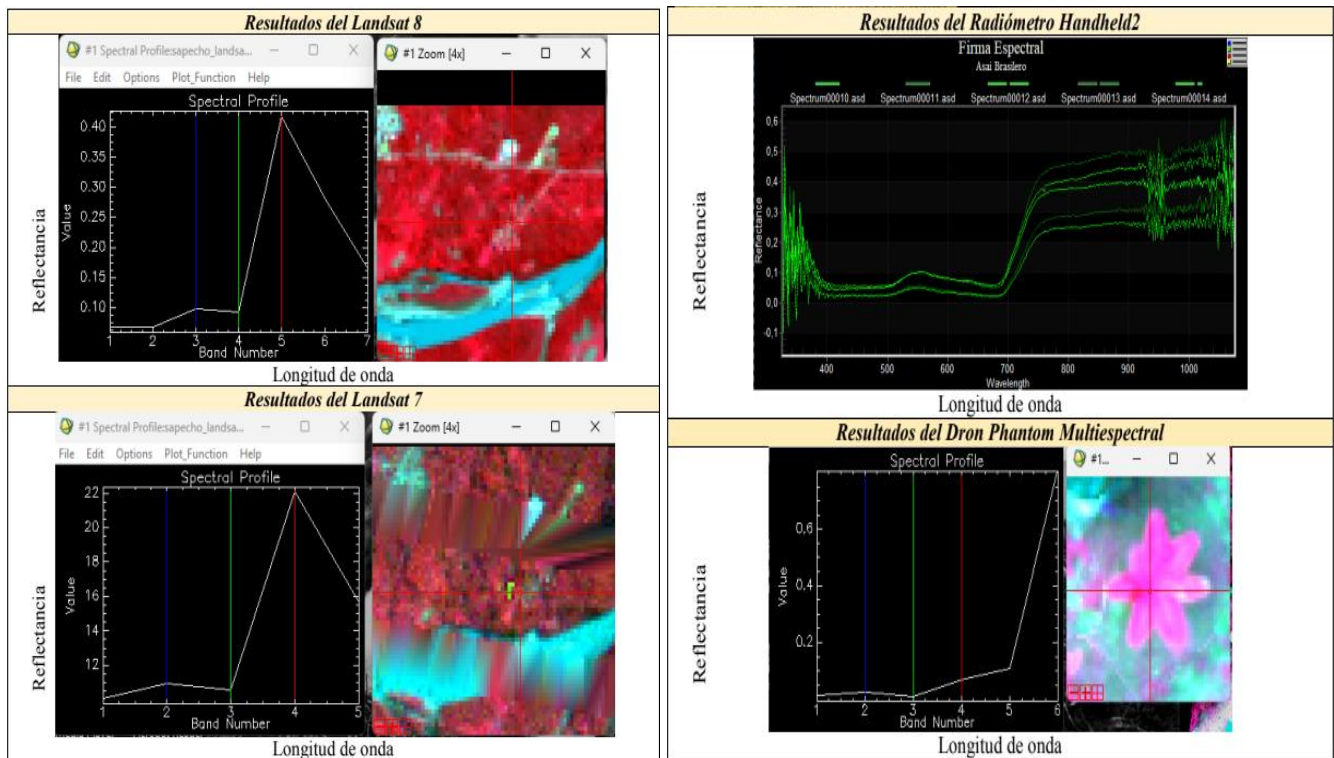


Figura 6. (a) Resultados de firmas espectrales de Landsat 8 y 7, (b) resultados de radiómetro Handheld2 y dron.

Lugar de toma de muestra: Sapecho.

Especie: Cacao

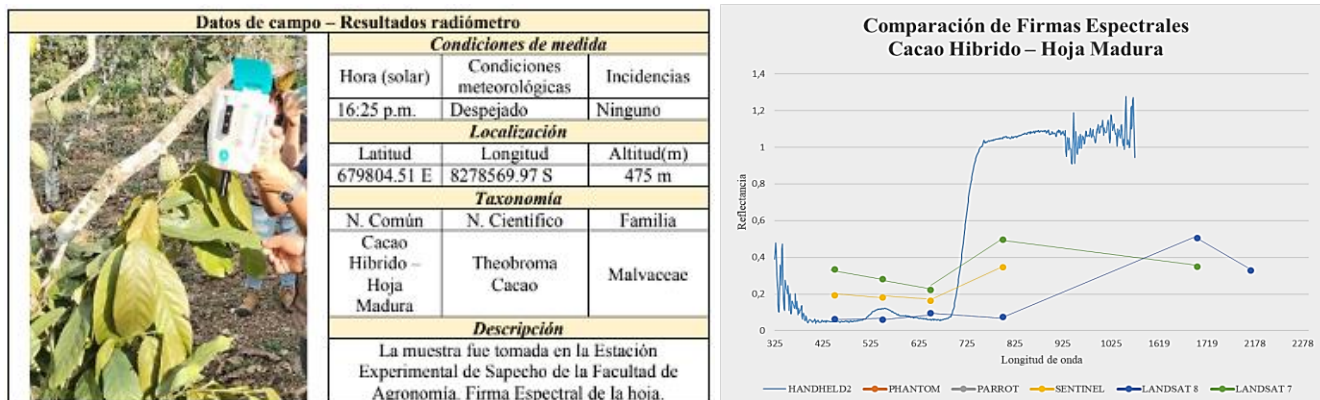


Figura 7. (a) Resultados de radiómetro y (b) comparación de firmas espectrales en cacao.

Lugar de toma de muestra: Sapecho.

Especie: Majo

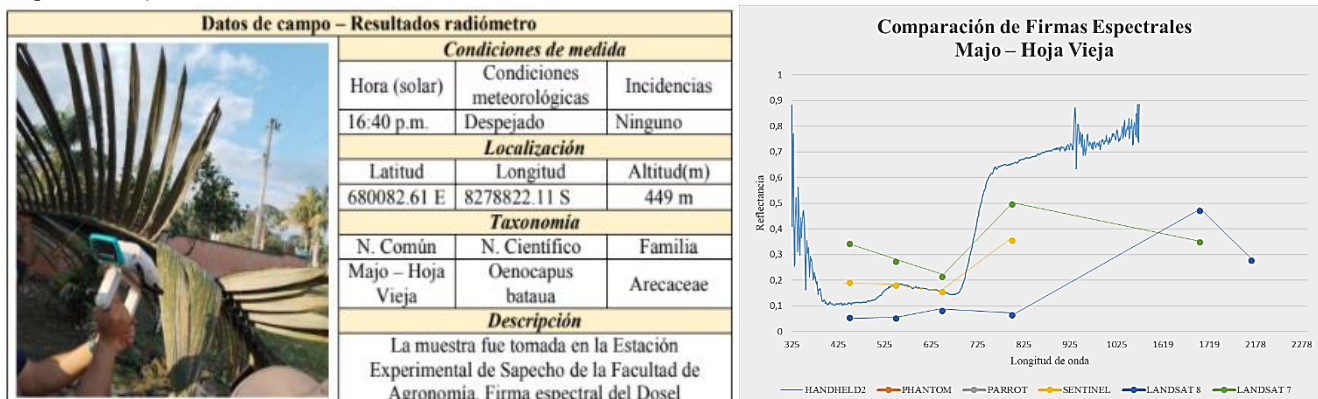


Figura 8. (a) Resultados de radiómetro y (b) comparación de firmas espectrales en majo.

Lugar de toma de muestra: Sapecho.

Especie: Asaí.

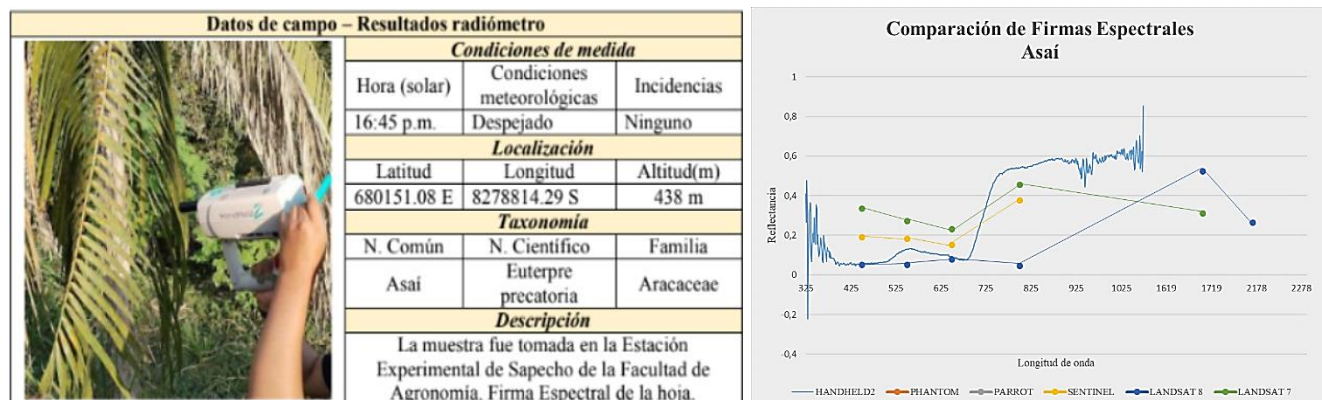


Figura 9. (a) Resultados de radiómetro y (b) comparación de firmas espectrales en asaí.



Lugar de toma de muestra: Santa Rosa de Maravilla.

Espécie: Majo

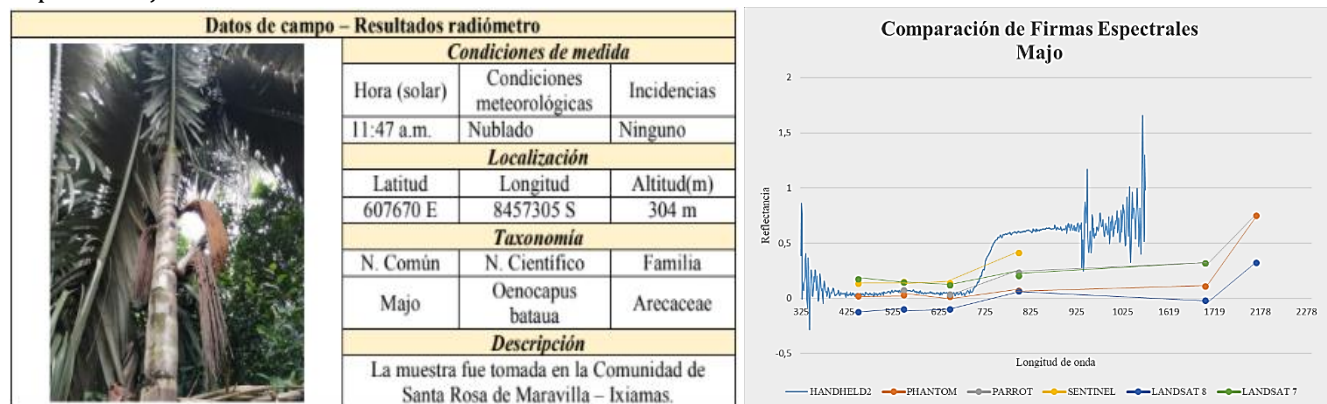


Figura 10. (a) Resultados de radiómetro y (b) comparación de firmas espectrales en majo.

Lugar de toma de muestra: Santa Rosa de Maravilla.

Espécie: Asaí

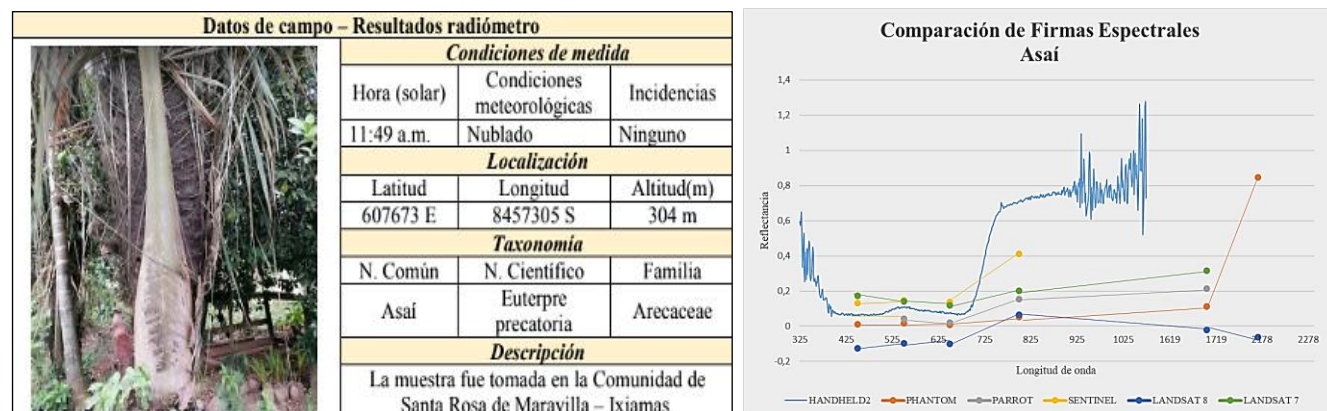


Figura 11. (a) Resultados de radiómetro y (b) comparación de firmas espectrales en asaí.

## CONCLUSIONES

Se logró realizar la comparación de las firmas espectrales obtenidas a partir de diferentes sensores, incluyendo imágenes satelitales y datos adquiridos con el espectro-radiómetro HandHeld2 ASD, el dron multiespectral Phantom 4 Pro, Parrot Sequoia, Landsat 8, Landsat 7 y Sentinel-2B. A pesar de algunos datos faltantes debido a la cobertura incompleta en el área de muestreo, se alcanzó un resultado satisfactorio al comparar las firmas espectrales de las especies en la Comunidad de Santa Rosa de Maravilla, usando los seis sensores mencionados.

Las herramientas de corrección atmosférica como ATCOR (ERDAS), DARK SUBTRACTION (ENVI) y SEN2COR (SNAP) demostraron su utilidad en la eliminación de los efectos atmosféricos indeseados, lo que permitió obtener resultados más precisos. No obstante, durante el proceso surgieron dificultades con ciertos parámetros de corrección atmosférica debido a actualizaciones en el software y cambios en el acceso a las imágenes satelitales, lo que requirió el uso de versiones más recientes y ajustes para continuar el proceso de corrección.

Finalmente, se observó que las firmas espectrales obtenidas del Landsat 7 fueron las más cercanas a las capturadas por el HandHeld2, mientras que el Sentinel-2B también presentó una buena correspondencia. Sin embargo, los resultados obtenidos con el Landsat 8 mostraron discrepancias mayores, indicando que la corrección atmosférica realizada no reflejó de manera óptima las condiciones reales en este caso particular.

Si bien el Drone multiespectral fue una gran herramienta para identificar los frutos del bosque todavía es insuficiente. Para próximos estudios se recomienda trabajar con Drones Lidar que detectarán mejor la arquitectura del dosel de las palmeras de Asaí y Majo.

## Agradecimientos

Se agradece al proyecto “Manejo integral y bioconservación ambiental de frutos del bosque en el norte amazónico del departamento de La Paz (FASE I), financiado por Fondo Nacional de Desarrollo Forestal FONABOSQUE y la Universidad Mayor de San Andrés, por el financiamiento y apoyo en el transcurso del estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASD. (2002). FieldSpec HandHeld Spectroradiometr User Guide. [https://drive.google.com/file/d/1thElVsRazLRhcGTLd8UmjVday7PBEV\\_R/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1thElVsRazLRhcGTLd8UmjVday7PBEV_R/view?usp=sharing)
- Bradley, B. (2013). Remote detection of invasive plants: a review of spectral. 16. ResearchGate.
- Cifuentes, L., Moreno, F., & Arango, D. (2010). Fenología reproductiva y productividad de *Oenocarpus bataua* (Mart.) en bosques inundables del Chocó Biogeográfico, Colombia. *Revista Biota Neotrop.* 10 (4). Diciembre 2010. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000400014>
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección Ambiental, La observación de la Tierra desde el Espacio (Vol. 3era Edición). Barcelona, España: Ariel, S.A.
- Estrada, R., Morales, G., Ramos, R., Galano, S., & García, I. (2010). Metodología para el rellenado de las imágenes Landsat 7 ETM+ SLC-OFF. Implementación del algoritmo GAP FILLED FASE II. [https://www.researchgate.net/publication/378975007\\_METODOLOGIA\\_PARA\\_EL\\_RELLENADO\\_DE\\_LAS\\_IMAGENES\\_LANDSAT\\_7\\_ETM\\_SLC-OFF\\_IMPLEMENTACION\\_DEL\\_ALGORITMO\\_GAP\\_FILLED\\_FASE\\_II/citations](https://www.researchgate.net/publication/378975007_METODOLOGIA_PARA_EL_RELLENADO_DE_LAS_IMAGENES_LANDSAT_7_ETM_SLC-OFF_IMPLEMENTACION_DEL_ALGORITMO_GAP_FILLED_FASE_II/citations)
- Espinoza, S., Olivera, M., & Ledezma, J. C. 2014. Producción del cacao y del chocolate en Bolivia - Datos 2010 - 2013 en base a encuestas a productores y empresarios chocolateros. *Conservación Internacional Bolivia y Conservation Strategy Fund.*, 1, 58. [https://www.conservationstrategy.org/sites/default/files/fieldfile/Produccion\\_del\\_cacao\\_y\\_del\\_chocolate\\_en\\_Bolivia.pdf](https://www.conservationstrategy.org/sites/default/files/fieldfile/Produccion_del_cacao_y_del_chocolate_en_Bolivia.pdf)
- Geotop Peru. 2023. Drone DJI Phantom 4 MULTIESPECTRAL. <https://geotop.bo/producto/drone-dji-phantom-4-multiespectral/>
- Geosystems. (2014). ATCOR - Sensor Calibration. pp. 33.
- GIS & BEERS. (2018). Sen2Cor para corrección atmosférica de Sentinel 2. <https://www.gisandbeers.com/sen2cor-correccion-atmosferica-sentinel-2/>
- Global Forest Watch. (2024). Radar para detectar deforestación. <https://www.globalforestwatch.org/about/>
- Maldonado, J., Nuñez-Villalba, J., & Lazzaro, X. (2019). Manual de uso, encendido y calibración. FieldSpec HandHeld2 Spectroradiometer.
- Malvern Panalytical. (2024). ASD HandHeld 2: Hand-held VNIR Spectroradiometer. <https://www.malvernpanalytical.com/en/support/product-support/asd-range/fieldspec-range/handheld-2-hand-held-vnir-spectroradiometer>
- MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). (2020). Plan Sectorial de Desarrollo Integral 2021 - 2025. [https://drive.google.com/file/d/19ZilXBTENk\\_i7QLW1uj\\_7FmpDB0SRQHJ/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/19ZilXBTENk_i7QLW1uj_7FmpDB0SRQHJ/view?usp=drive_link)
- Tonore Freitas, C. A., Aviana Menacho, E., & Vos, V. A. (2019). La cadena productiva de asaí (*Euterpe Precatoria*) en la Amazonia Boliviana (CIPCA, Ed.). Ayllus.
- PICFA. (2021). Guía de buenas prácticas para la cosecha de frutos de asaí (*Euterpe precatoria*). [https://frutosamazonicos.org.bo/wp-content/uploads/2022/05/2021\\_ACEAA-PICFA-Guia-Buenas-Practicas-Cosecha-Asai.pdf](https://frutosamazonicos.org.bo/wp-content/uploads/2022/05/2021_ACEAA-PICFA-Guia-Buenas-Practicas-Cosecha-Asai.pdf)
- TYC GIS. (s.f.). Parrot Sequoia +. <https://tycgis.com/parrot-sequoia-plus/#:~:text=Parrot%20seQuoia+%20analiza%20la%20vitalidad%20de>
- Westbrooks, R. (2004), Biological invasions as global environmental change. *American Scientist*, 84: 468-47