

DOI: <https://doi.org/10.56124/allpa.v8i16.0120>

## Análisis multitemporal de las superficies cultivadas de *Theobroma cacao* L., en la parroquia Eloy Alfaro del cantón Chone

### Multitemporal analysis of the cultivated areas of *Theobroma cacao* L., in the parish Eloy Alfaro of the Chone canton

Burgos-García Dioclesiana María <sup>1</sup>; Delgado-Alcívar Roger Adrián <sup>2</sup>;  
Reyna-Bowen Lizardo Mauricio <sup>3</sup>; Cedeño-García George Alexander <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica De Manabí. Portoviejo, Ecuador.

Correo: dburgos5872@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0126-2178>.

<sup>2</sup> Universidad Técnica De Manabí. Portoviejo, Ecuador.

Correo: roger.delgado@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5152-9973>.

<sup>3</sup> Universidad Técnica De Manabí. Portoviejo, Ecuador.

Correo: lizardo.reyna@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0191-8908>.

<sup>4</sup> Universidad Técnica De Manabí. Portoviejo, Ecuador.

Correo: georgi.cedeno@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8271-5752>.

#### Resumen

La expansión del cultivo de cacao en la parroquia Eloy Alfaro del cantón Chone y su impacto en la cobertura vegetal natural ha sido objeto de estudio. Mediante el uso de imágenes satelitales Sentinel-2 y Landsat 7, se aplicaron técnicas de clasificación supervisada y no supervisada para la identificación de áreas cultivadas y su evolución temporal. La clasificación supervisada permitió una caracterización más precisa de los cultivos. Además, el análisis de índices de vegetación mostró que el NDVI es un indicador robusto para evaluar la salud del cultivo de cacao, presentando una alta correlación con otros índices espectrales. No obstante, la expansión del cultivo ha resultado en una reducción de la vegetación natural. Los hallazgos resaltan la necesidad de implementar prácticas agrícolas sostenibles, como sistemas agroforestales y manejo eficiente del suelo, para equilibrar la producción de cacao con la conservación ambiental.

**Palabras clave:** Cacao, teledetección, índices espectrales, clasificación, sostenibilidad.

#### Abstract

The expansion of cocoa cultivation in the Eloy Alfaro parish of the Chone canton and its impact on natural vegetation cover has been the subject of study. Using Sentinel-2 and Landsat 7 satellite images, supervised and unsupervised classification techniques were applied to identify cultivated areas and their temporal evolution. Supervised classification allowed for a more accurate characterization of the crops. In addition, the analysis of vegetation indices showed that NDVI is a robust indicator for assessing the health of cocoa crops, presenting a high correlation with other spectral indices. However, the expansion of cultivation has resulted in a reduction in natural vegetation. The findings highlight the need to implement sustainable agricultural practices, such as agroforestry systems and efficient soil management, to balance cocoa production with environmental conservation.

**Keywords:** Cocoa, remote sensing, spectral indices, classification, sustainability.

## 1. Introducción

El árbol del cacao es una especie dicotiledónea perteneciente a la familia Malvaceae, cuyo origen se localiza en los bosques tropicales de América, especialmente en la región amazónica (Silva et al., 2024). Prospera en climas tropicales con temperaturas entre 10 y 32°C, elevada humedad (70–90%) y altitudes por debajo de los 400 m.s.n.m. (Meza-Sepulveda et al., 2024). Bajo sombra, el árbol del cacao puede alcanzar hasta diez metros de altura, y destaca por la particularidad de que sus flores brotan tanto en el tronco como en las ramas principales (Mougang et al., 2024).

Es de gran importancia a nivel global debido a sus propiedades nutricionales, farmacológicas y valor económico (Vargas-Munévar et al., 2024), y cualidades organolépticas (Arias-Contreras et al., 2024). El interés medicinal ha crecido significativamente en las últimas décadas, a raíz del hallazgo de fitoquímicos y compuestos bioactivos en los extractos de cacao (Enogieru & Idemudia, 2024).

Representa una fuente importante de ingresos y un recurso para diversificar la

producción agrícola; aunque cerca del 70% de las ganancias derivadas de la venta de chocolate se concentran en países de altos ingresos (Foster et al., 2024). África occidental es la región productora de cacao más grande, representando el 77% de su producción mundial (Ullah & Dunwell, 2023).

Pese a la creciente demanda de cacao, su producción mundial ha comenzado a decrecer. Entre las causas se encuentran problemas de la fertilidad del suelo, el incremento de plagas y enfermedades y el impacto del cambio climático (Visscher et al., 2024). Los fabricantes de chocolate fino prefieren la variedad conocida como "Cacao Fino de Aroma", que se caracteriza por notas aromáticas únicas, con matices florales, frutales, a nueces, almendras y especias (Tejeda et al., 2024).

Según Barrera et al., (2019), la provincia de Manabí se destaca como una de las áreas clave para la producción de cacao en la costa de Ecuador, debido a las condiciones naturales óptimas de suelo y clima. Datos del Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA) (2024) indican que, en 2023, Ecuador contaba con 609 750 ha sembradas de cacao (almendra seca), de las cuales 516 634

ha fueron cosechadas, alcanzando una producción de 379 584 t, lo que resultó en un rendimiento promedio de 0,73 t·ha<sup>-1</sup>. La provincia de Los Ríos lideró en superficie dedicada al cacao, con 124 019 ha sembradas, 111 887 ha cosechadas, una producción de 99 055 t y un rendimiento de 0,89 t·ha<sup>-1</sup>. En segundo lugar, Manabí presentó 117 080 hectáreas plantadas, de las cuales 97 360 fueron cosechadas, logrando una producción de 65 504 t y un rendimiento de 0,67 t·ha<sup>-1</sup>.

La Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan herramientas fundamentales en el desarrollo eficiente de modelos geoespaciales (Wei et al., 2024). La teledetección, en particular, destaca por ser un método ágil y rentable que, gracias a los avances en sensores, ha alcanzado niveles elevados y estables de precisión posicional (Lei & Lei, 2024). Además, los sistemas de información geográfica han demostrado su utilidad en la evaluación de riesgos, debido a sus avanzadas capacidades para manipular y visualizar datos espaciales (Lu et al., 2024).

El suelo es el mayor sumidero de carbono orgánico terrestre del cual dependen varios servicios ecosistémicos, como la producción de alimentos, regulación del clima, ciclo de nutrientes, transformaciones bioquímicas y control de plagas (Ozsahin et al., 2024). Cambios en la cobertura terrestre y en el uso del suelo responden a una interacción compleja de factores biofísicos y socioeconómicos (Alemu et al., 2024). Las actividades humanas se han convertido en el impulsor directo de las alteraciones en aquellos servicios (Liu et al., 2024), afectando el equilibrio ecológico, proyecciones climáticas futuras, sostenibilidad humana y el desarrollo urbano (Niu et al., 2024).

En el contexto de la Agricultura de Precisión (AP), basada en tecnologías de información geoespacial, se ha propuesto el análisis de los cambios en la superficie cultivada de cacao en la parroquia Eloy Alfaro del cantón Chone, en la provincia de Manabí, durante un período de ocho años.

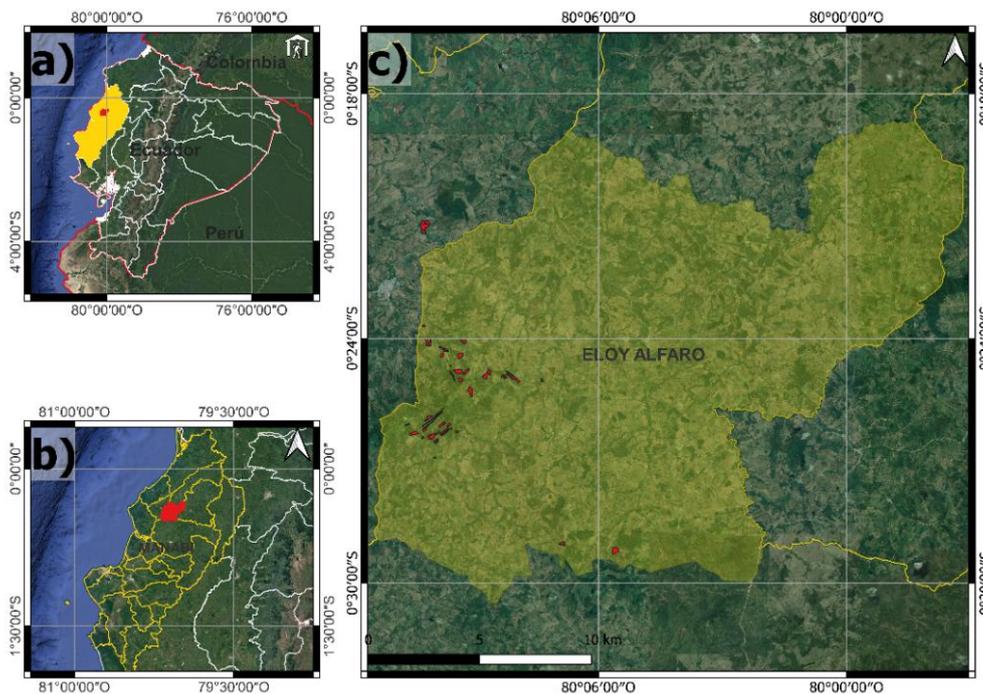
## 2. Metodología (materiales y métodos)

### 2.1. Materiales y delimitación cartográfica

La investigación se llevó a cabo en la parroquia Eloy Alfaro, perteneciente al cantón Chone, en la provincia de Manabí, Ecuador (Figura 1). La delimitación cartográfica de las unidades productivas se basó en dos fuentes

principales: (i) las coordenadas geográficas obtenidas mediante un receptor GNSS de alta precisión, y (ii) la información espacial proporcionada por la Asociación de Productores de Cacao Fino de Aroma "La Y de Cucuy", la cual facilitó los límites georreferenciados de las fincas dedicadas a la producción de cacao orgánico.

*Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio: a) localización de la provincia de Manabí dentro del territorio ecuatoriano; b) parroquia Eloy Alfaro en el cantón Chone, dentro de la provincia de Manabí; c) distribución espacial de las fincas dedicadas al cultivo de cacao orgánico en la parroquia Eloy Alfaro.*



El procesamiento de la información geoespacial se llevó a cabo utilizando el software QGIS versión 3.22.11, en un equipo con procesador Intel(R) Core (TM) i3-8130U CPU @ 2.20GHz. Se emplearon imágenes multispectrales provenientes de dos fuentes: el sensor

Sentinel-2, para capturas recientes de alta resolución, y el conjunto de datos LANDSAT TOA (composite image), descargado a través de Google Earth Engine Explorer, correspondiente al periodo 2008–2012.

## 2.2. Procedimientos metodológicos

### 2.2.1. Selección y procesamiento de imágenes satelitales

Se utilizaron imágenes compuestas (composite) generadas en la plataforma Google Earth Engine, las cuales son útiles para mitigar la interferencia de nubosidad en zonas tropicales, ya que combinan múltiples escenas adquiridas en un intervalo temporal definido (Domej et al., 2025) con imágenes de las misiones Landsat y Sentinel. Esta metodología es especialmente adecuada para estudios comparativos con bajo dinamismo en el uso del suelo.

### 2.2.2. Clasificación espectral de cobertura vegetal

La selección de la imagen se basó en criterios de mínima nubosidad, aplicando un Análisis de Componentes Principales (PCA) con el objetivo de reducir la dimensionalidad del espectro y determinar las bandas con mayor capacidad discriminante. La clasificación se realizó mediante el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) de QGIS (Congedo, 2021).

Inicialmente, se ejecutaron clasificaciones no supervisadas, utilizando los algoritmos K-means e

Isodata, tanto en las bandas originales como en las componentes principales. Posteriormente, se aplicó una clasificación supervisada basada en la definición de Regiones de Interés (ROI) representativas de los cultivos de cacao, lo que permitió establecer una correspondencia espectral entre clases y coberturas reales.

### 2.2.3. Construcción de la base de datos espacial

Para establecer una muestra representativa dentro de las áreas cultivadas con cacao, se utilizó el algoritmo "Puntos aleatorios dentro de polígonos" de QGIS (O'Donohue, 2023). Cada punto fue georreferenciado con coordenadas X e Y, formando así una base de datos espacial sobre la cual se extrajeron valores espectrales.

A partir de imágenes libres de nubosidad, se calcularon los siguientes índices multispectrales: NDVI, EVI, SAVI, LAI, TVI, DVI, NDWI, BSI. Con la herramienta "Point Sampling Tool", se capturaron los valores de dichos índices para cada punto y se exportaron a hojas de cálculo. En esta etapa se depuraron los datos, eliminando valores atípicos

provenientes de cuerpos de agua, áreas urbanizadas y sombras.

#### **2.2.4. Análisis multitemporal de la cobertura de cacao**

Mediante la calculadora ráster de QGIS, se aplicaron operaciones de álgebra de mapas para generar los índices en diferentes fechas, incluyendo el NDVI correspondiente a la imagen LANDSAT del periodo 2008–2012. Las variaciones espectrales se calcularon comparando los valores entre los distintos periodos temporales.

Estos resultados se contrastaron con los puntos aleatorios previamente definidos y, tras excluir aquellos afectados por nubosidad o interferencias, los datos fueron exportados a Excel y posteriormente procesados estadísticamente en SPSS. Esto permite evaluar los cambios en la vegetación asociada a los cultivos de cacao y determinar tendencias espaciales y temporales en su dinámica.

### **3. Resultados y discusión**

La persistente nubosidad en la zona de estudio restringió la disponibilidad de imágenes satelitales limpias durante varios meses del año. Sin embargo, fue

posible obtener capturas aisladas con baja cobertura nubosa de los años 2018, 2019, 2021 y 2022, que permitieron el cálculo de índices espectrales. Asimismo, se empleó una imagen compuesta LANDSAT del periodo 2008–2012, lo que permitió comparar la situación inicial con los años más recientes.

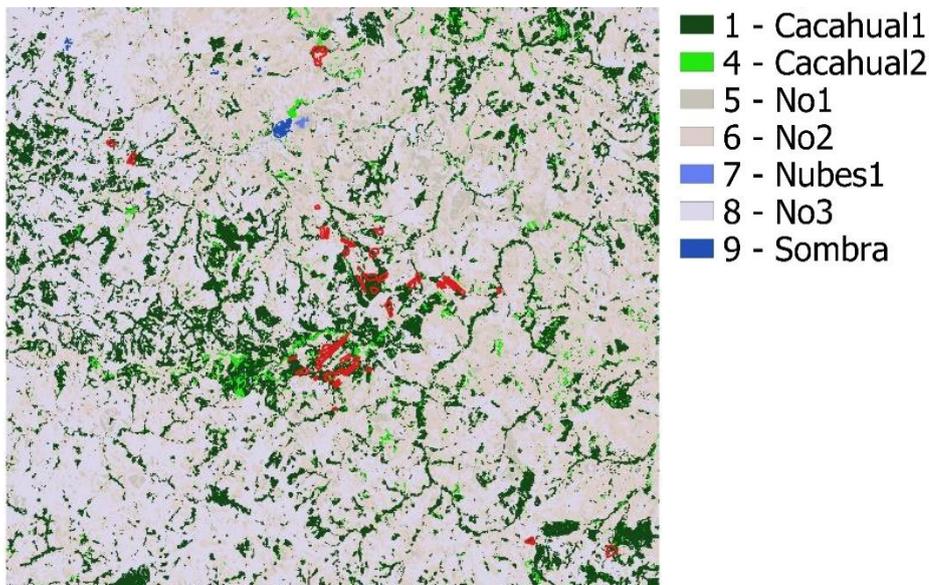
A partir del Análisis de Componentes Principales (PCA) aplicado a las 12 bandas originales de la imagen Sentinel-2 con menor nubosidad (28 de agosto de 2018), se generaron seis componentes sintéticas que concentraron la mayor parte de la varianza espectral. Esta reducción dimensional permitió identificar las bandas más relevantes para la discriminación de coberturas, optimizando el procesamiento posterior.

No obstante, los métodos de clasificación no supervisada (K-means e Isodata), aplicados tanto a las bandas originales como a las componentes del PCA, no ofrecieron una segmentación confiable de las coberturas presentes. La agrupación automática generó clases espectrales que no correspondían de forma precisa con las distintas coberturas del terreno, lo que limitó su utilidad en este caso.

Por el contrario, la clasificación supervisada, ejecutada con el complemento SCP de QGIS y basada en Regiones de Interés (ROI) dentro de las fincas cacaoteras, ofreció resultados más coherentes con la realidad observada en campo. Se identificaron al menos seis clases espectrales: dos

asociadas a cultivos de cacao, tres correspondientes a coberturas no agrícolas (vegetación natural, suelo desnudo y áreas urbanas), además de clases específicas para nubes y sus sombras. La Figura 2 presenta un ejemplo de clasificación supervisada para 2018.

**Figura 2.** Clasificación supervisada de áreas cultivadas de cacao y coberturas vegetales en la parroquia Eloy Alfaro (2018).



Adicionalmente se realizaron pruebas de correlación de Pearson y Spearman. La matriz de valores p obtenida mediante la correlación de Pearson muestra el nivel de significancia estadística entre los índices espectrales analizados en las zonas cultivadas con cacao. Los valores p cercanos a 0.00 (color verde) indican una correlación significativa entre los pares de índices, mientras que los valores más

altos (en color rojo) indican ausencia de significancia estadística al nivel convencional ( $p > 0.05$ ). Debido a que todos los coeficientes de correlación de Spearman fueron altamente significativos ( $p < 0.001$ ), no se presenta la matriz de valores p.

**Figura 3.** Valor  $p$  de los diferentes índices espectrales para distribuciones normales mediante análisis de correlación bivariado de Pearson. Colores verdes muestran significancia  $p < 0.05$ .

DVI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
NDVI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	1.00	0.00
EVI	0.33	0.00	0.19	0.85	0.00	1.00	0.85	0.00
TVI	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
SAVI	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.85	0.00	0.00
LAI	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00
BSI	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NDWI	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00
	NDWI	BSI	LAI	SAVI	TVI	EVI	NDVI	DVI

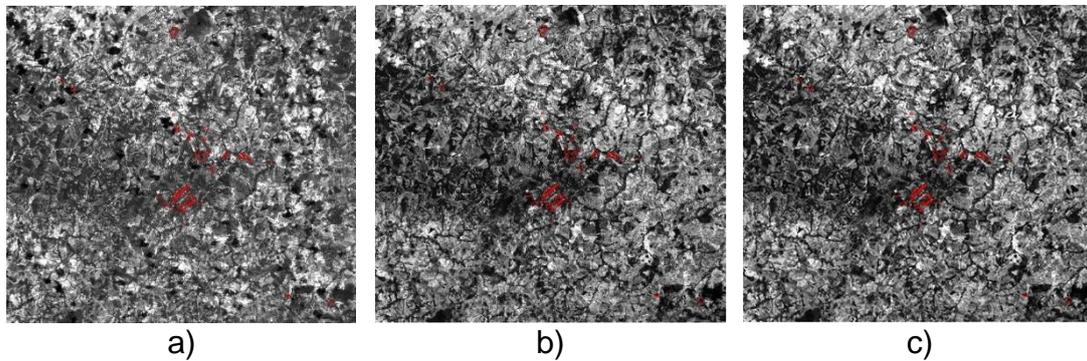
En esta matriz, la mayoría de las combinaciones presentan valores  $p$  iguales a 0.00, lo que evidencia una correlación estadísticamente significativa entre la mayoría de los índices, sugiriendo que responden de manera coherente a las condiciones biofísicas del cultivo. Sin embargo, hay tres excepciones notables con valores  $p$  superiores a 0.05: NDWI y EVI ( $p = 0.33$ ); EVI y LAI ( $p = 0.19$ ); SAVI y EVI ( $p = 0.85$ ). Estas combinaciones no presentan una relación significativa, lo que indica que, bajo las condiciones del área de estudio y con los datos utilizados, EVI podría estar capturando información diferente o más sensible a factores externos (como sombras, suelos o saturación en coberturas densas), en comparación con otros índices.

Este patrón de significancia sugiere que, aunque hay alta redundancia entre la mayoría de índices (especialmente entre NDVI, SAVI, TVI y DVI), no todos aportan la misma información. Por ello, la selección de índices debe considerar no solo su valor interpretativo, sino también su comportamiento estadístico en contextos específicos, como el cultivo de cacao en paisajes tropicales.

Se obtuvieron un total de 18 imágenes compuestas basadas en los valores mínimo, medio y mediano de las diferentes imágenes de cada periodo (2018, 2019 y 2022). Estas imágenes compuestas permitieron superar el desafío de la alta nubosidad en la región tropical. En la Figura 4, se muestra un ejemplo de las imágenes compuestas de

la banda 4 (RED) para el año 2018, donde se observa la representatividad de los valores mínimos, medios y medianos.

**Figura 4.** Imágenes compuestas de la banda 4 del año 2018 (valores: a) mínimos; b) medios; y c) medianos).

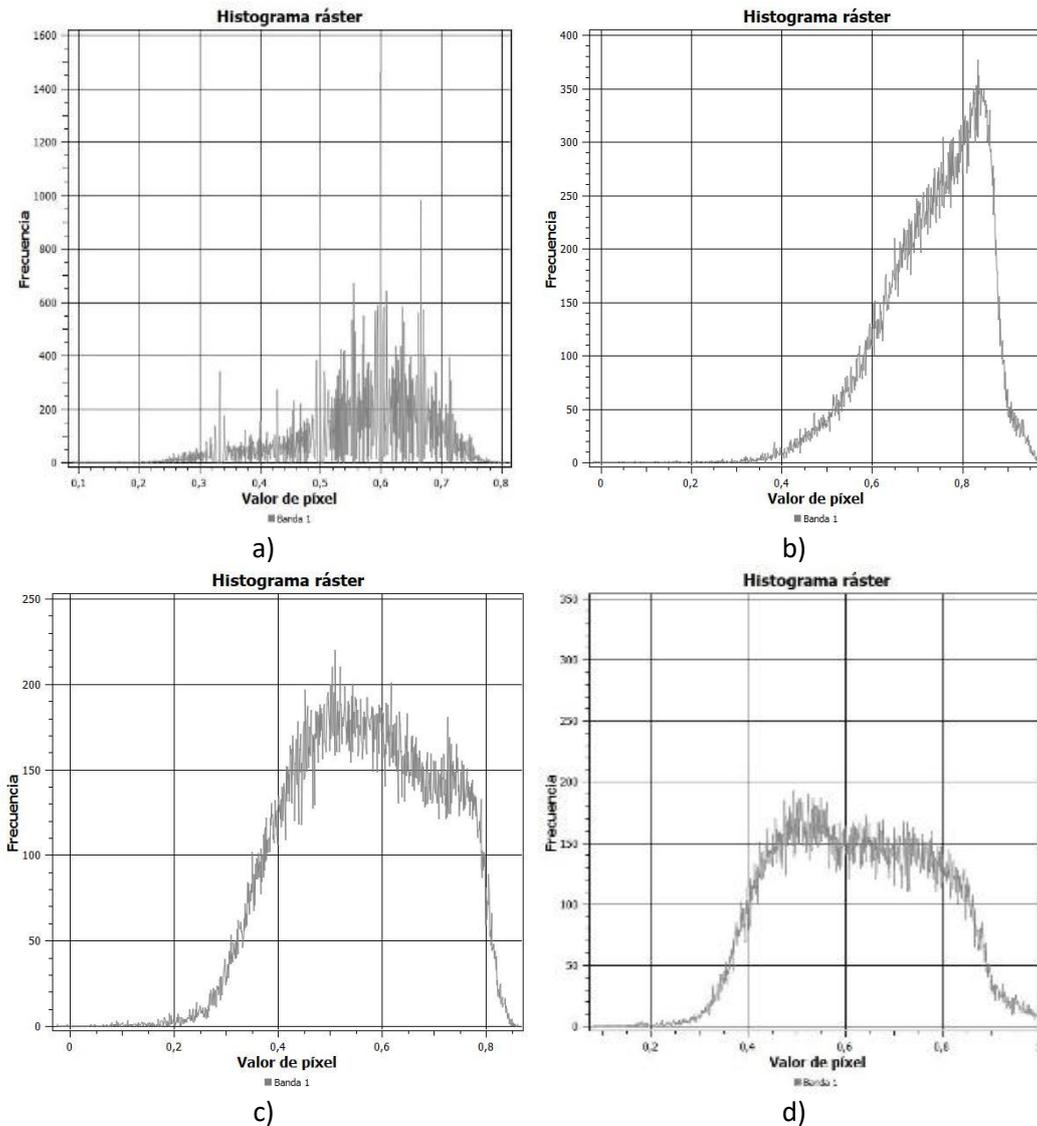


A partir de estas imágenes compuestas, se seleccionaron las de mayor representatividad para cada periodo. Para el año 2018, se eligieron las imágenes con valores mínimos en la banda 4 y valores medianos en la banda 8A. Para el año 2019, se seleccionaron las imágenes con valores mínimos en ambas bandas, y para el año 2022, se optó por las imágenes con valores mínimos en la banda 4 y valores medios en la banda 8ª (NIR).

La figura 5 muestra la evolución temporal de los valores del índice de vegetación (NDVI) en la parroquia Eloy Alfaro, correspondiente a los años a) 2012, b) 2018, c) 2019 y d) 2022, a partir del análisis de histogramas raster. Estos

valores fueron obtenidos mediante la extracción de datos espectrales en puntos distribuidos aleatoriamente dentro de los polígonos cultivados con cacao, lo que garantiza una representación espacial adecuada de las condiciones de vegetación presentes en cada año.

Figura 5. Distribución del NDVI en la parroquia Eloy Alfaro; a) 2012; b) 2018; c) 2019; y d) 2022).



En general, se observa una transición desde una vegetación más dispersa y heterogénea en 2012 hacia una mayor densidad y uniformidad en 2018, seguida por una leve reducción del vigor vegetal en 2019 y una distribución más diversificada en 2022. Esta variabilidad puede atribuirse a factores como el manejo agronómico, condiciones climáticas y cambios en el uso del suelo.

La información se obtuvo a partir de lo especificado en la sección 2.2.3. Si bien se calcularon varios índices multispectrales, se ha dado prioridad al NDVI por su eficacia comprobada como indicador general del estado fisiológico de la vegetación, especialmente útil en cultivos perennes como el cacao, permitiendo así una interpretación

robusta de la dinámica del paisaje agrícola en el tiempo.

## Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio reflejan una expansión del cultivo de cacao en la parroquia Eloy Alfaro del cantón Chone, acompañada de una reducción en la cobertura vegetal natural. Este fenómeno es consistente con estudios previos que han documentado la relación entre el cultivo de cacao y la deforestación en diversas regiones tropicales, particularmente en África y América Latina (Kalischek et al., 2023; Kanmegne Tamga et al., 2023; Ordway et al., 2017). La expansión del cacao es impulsada por la creciente demanda global, lo que ha llevado a la conversión de bosques en tierras agrícolas, generando efectos adversos sobre la biodiversidad y el almacenamiento de carbono (Kamath et al., 2024).

El uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) permitió evaluar la salud del cultivo de cacao a lo largo del tiempo, mostrando un incremento en sus valores y sugiriendo mejoras en la productividad. Investigaciones previas han validado el

uso de NDVI y otros índices espectrales como herramientas eficaces para monitorear la vegetación y detectar cambios en la cobertura vegetal (Pascuzzi et al., 2019). Sin embargo, los resultados de este estudio revelaron que la clasificación no supervisada no fue suficiente para discriminar con precisión las distintas coberturas vegetales. Asimismo, la presencia de alta nubosidad en la región representó un desafío significativo para la teledetección.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la implementación de sistemas agroforestales podría mitigar los efectos negativos de la expansión del cacao sobre el medio ambiente. Investigaciones han demostrado que la combinación de árboles de sombra con cultivos de cacao puede mejorar la conservación del suelo, aumentar la biodiversidad y contribuir a la resiliencia climática del cultivo (Olwig et al., 2024; Ruiz-Russi et al., 2023). En este sentido, la promoción de técnicas agroforestales en la región de estudio podría representar una estrategia viable para equilibrar la producción con la conservación ambiental.

Por otro lado, los análisis de correlación entre los diferentes índices de vegetación refuerzan la utilidad del NDVI como indicador clave en la evaluación de cultivos. No obstante, la eficacia del NDVI puede verse afectada por factores como la estructura del dosel y la presencia de sombra, lo que sugiere que futuras investigaciones podrían complementar estos análisis con el uso de imágenes SAR (Radar de Apertura Sintética) y la tecnología UAVs (drones) (Kalecinski et al., 2024) para mejorar la detección de la cobertura vegetal en condiciones de alta nubosidad.

Se aportan evidencia sobre los cambios en la cobertura del cacao en la parroquia Eloy Alfaro. Se resalta la necesidad de adoptar estrategias sostenibles para minimizar la pérdida de vegetación natural y optimizar la productividad del cultivo. Además, se recomienda el uso continuo de herramientas de teledetección y SIG para un monitoreo más preciso de las dinámicas espaciales del cultivo de cacao.

#### 4. Conclusiones

El presente estudio permitió identificar el comportamiento en la cobertura del cultivo de cacao en la parroquia Eloy Alfaro del cantón Chone. La clasificación supervisada de imágenes satelitales Sentinel-2 y Landsat 7 resultó ser una metodología efectiva para la caracterización de los cultivos y la diferenciación de otras coberturas terrestres, mientras que los métodos no supervisados no lograron una discriminación precisa. Asimismo, la alta correlación del NDVI con otros índices de vegetación validó su utilidad como indicador clave para evaluar la salud y productividad del cacao en la región.

A pesar del desafío que representa la alta nubosidad en la teledetección de áreas tropicales, la generación de imágenes compuestas permitió mejorar la calidad de los datos y facilitar el análisis de las dinámicas del cultivo en diferentes periodos. El análisis temporal del NDVI evidenció una tendencia positiva en la salud del cultivo, lo que sugiere mejoras en las condiciones agrícolas y en las prácticas de manejo utilizadas en la zona.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, los hallazgos de este estudio resaltan la

importancia de promover estrategias agroforestales y prácticas agrícolas sostenibles para mitigar los efectos negativos de la expansión del cacao sobre el medio ambiente. La adopción de sistemas que integren árboles de sombra, rotación de cultivos y el uso de biofertilizantes podría contribuir a mantener la productividad del cacao sin comprometer la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de la región.

En términos de monitoreo agrícola, se recomienda continuar con la aplicación de herramientas de teledetección y SIG para un seguimiento más preciso de la evolución del cultivo y su impacto ambiental. Futuras investigaciones podrían explorar el uso de imágenes SAR y UAVs para mejorar la detección de la cobertura vegetal en condiciones de nubosidad extrema, optimizando así la evaluación de la salud del cultivo y su sostenibilidad a largo plazo.

## Bibliografía

Alemu, M., Warkineh, B., Lulekal, E., & Asfaw, Z. (2024). Analysis of land use land cover change dynamics in Habru District, Amhara Region, Ethiopia. *Heliyon*, 10(19), e38971.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38971>

Arias-Contreras, M. A., Checca-Huaman, N.-R., Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Passamani, E. C., & Ramos-Guivar, J. A. (2024). Medium scale-up synthesis of nanomagemite as an inhibitor of cadmium uptake in seedlings of *Theobroma cacao* L. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101295. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101295>

Barrera, V., Casanova, T., Domínguez, J., Escudero, L., Loor, G., Peña, G., Rarraga, J., Arevalo, J., Tarqui, O., Plaza, L., Sotomayor, I., Zambrano, F., Rodriguez, G., García, C., & Racines, M. (2019). La cadena de valor del cacao en y el bienestar de los productores de la provincia de Manabí-Ecuador. In Iniap: Vol. Libro Técn. ARCOIRIS Producciones Gráficas. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382>

Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

Domej, G., Pluta, K., & Ewertowski, M. (2025). CataEx: A multi-task export tool for the Google Earth

- Engine data catalog. Environmental Modelling & Software, 183, 106227. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106227>
- Enogieru, A. B., & Idemudia, O. U. (2024). Comparative protective activity of aqueous Zingiber officinale root and Theobroma cacao seed extracts on lead acetate-induced cerebellar toxicity in rats. Journal of Trace Elements and Minerals, 10, 100190. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2024.100190>
- Foster, K. A., Suarez-Guzman, L. M., Meza-Sepulveda, D. C., Baributsa, D., & Zurita, C. A. (2024). Effects of alternative hermetic bag storage on fermented and dried cocoa bean (Theobroma cacao L.). Journal of Stored Products Research, 107, 102351. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102351>
- Kalecinski, N. I., Skakun, S., Torbick, N., Huang, X., Franch, B., Roger, J.-C., & Vermote, E. (2024). Crop yield estimation at different growing stages using a synergy of SAR and optical remote sensing data. Science of Remote Sensing, 10, 100153. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.srs.2024.100153>
- Kalischek, N., Lang, N., Renier, C., Daudt, R. C., Addoah, T., Thompson, W., Blaser-Hart, W. J., Garrett, R., Schindler, K., & Wegner, J. D. (2023). Cocoa plantations are associated with deforestation in Côte d'Ivoire and Ghana. Nature Food, 4(5), 384–393. <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00751-8>
- Kamath, V., Sassen, M., Arnell, A., van Soesbergen, A., & Bunn, C. (2024). Identifying areas where biodiversity is at risk from potential cocoa expansion in the Congo Basin. Agriculture, Ecosystems & Environment, 376, 109216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109216>
- Kanmegne Tamga, D., Latifi, H., Ullmann, T., Baumhauer, R., Thiel, M., & Bayala, J. (2023). Modelling the spatial distribution of the classification error of remote sensing data in cocoa agroforestry systems. Agroforestry Systems, 97(1), 109–119. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00791-2>
- Lei, Z., & Lei, T. L. (2024). Large-scale integration of remotely sensed and GIS road networks: A full image-vector conflation approach based on optimization and deep learning. Computers, Environment and Urban Systems, 113, 102174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2024.102174>

- Lu, Y., Zhai, G., & Zhou, S. (2024). An integrated Bayesian networks and Geographic information system (BNs-GIS) approach for flood disaster risk assessment: A case study of Yinchuan, China. *Ecological Indicators*, 166, 112322. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112322>
- Meza-Sepulveda, D. C., Hernandez-Urrea, C., & Quintero-Saavedra, J. I. (2024). Physicochemical characterization of the pod husk of *Theobroma cacao* L. of clones CCN51, FEAR5, and FSV41 and its agroindustrial application. *Heliyon*, 10(7), e28761. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28761>
- Mougang, N. N., Tene, S. T., Zokou, R., Kohole, H. A. F., Solefack, E. N., Ntongme Mboukap, A., Abaoabo, A. A. F., & Womeni, H. M. (2024). Influence of fermentation time, drying time and temperature on cocoa pods (*Theobroma cacao* L.) marketability. *Applied Food Research*, 4(2), 100460. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100460>
- Niu, H., Chen, S., & Xiao, D. (2024). Multi-Scenario land cover changes and carbon emissions prediction for peak carbon emissions in the Yellow River Basin, China. *Ecological Indicators*, 168, 112794. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112794>
- O'Donohue, D. (2023). Creating Random Points in QGIS. *Mapscaping*. <https://mapscaping.com/creating-random-points-in-qgis/#:~:text=Random Points in Polygon%3A This,density values for each polygon.>
- Olwig, M. F., Asare, R., Vaast, P., & Bosselmann, A. S. (2024). Can Agroforestry Provide a Future for Cocoa? Implications for Policy and Practice BT - Agroforestry as Climate Change Adaptation: The Case of Cocoa Farming in Ghana (M. F. Olwig, A. Skovmand Bosselmann, & K. Owusu (eds.); pp. 147–166). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-45635-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-45635-0_6)
- Ordway, E. M., Asner, G. P., & Lambin, E. F. (2017). Deforestation risk due to commodity crop expansion in sub-Saharan Africa. *Environmental Research Letters*, 12(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6509>
- Ozsahin, E., Sarı, H., Erdem, D. B., & Ozturk, M. (2024). Digital Soil Mapping (DSM) Using a GIS-Based RF Machine Learning Model: The Case of Strandzha Mountains (Thrace Peninsula, Türkiye). *Revue Internationale de Geomatique*, 33(0), 341–361.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.32604/rig.2024.054197>
- Pascuzzi, S., Santoro, F., Anifantis, A. S., & Cimino, V. (2019). Correlation analysis between vegetation index (NDVI) and canopy coverage (TOC) based on remote sensing by using UAV. *Engineering for Rural Development*, 18, 214–220. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N290>
- Ruiz-Russi, D., Escobar, L., Montealegre Bustos, F., Galvis-Neira, D., Camacho Diaz, J., Jaimes Suarez, Y. Y., & Rojas Molina, J. (2023). CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO (*Theobroma cacao* L) EN TRES MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA + [CHARACTERIZATION OF AGROFORESTRY SYSTEMS WITH COCOA (*Theobroma cacao* L) IN THREE MUNICIPALITIES OF THE DEPARTMENT OF BOYACÁ, COLOMBIA]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4801>
- Silva, N. M. de J., Lima, C. L. S. de, Meireles Santos, R., Rogez, H., & Souza, J. N. S. de. (2024). EXPLORING VARIATIONS IN QUALITY PARAMETERS OF *Theobroma cacao* L. BEANS FROM EASTERN AMAZONIA. *Heliyon*, e39295. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39295>
- Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA). (2024). Información Productiva Territorial 2023. <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Tejeda, J. F., Arango-Angarita, J., & Cuervo, J. L. (2024). Impact of solar pre-drying and yeast starter inoculation treatments on volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans from Southwestern Colombia. *Applied Food Research*, 4(2), 100559. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100559>
- Ullah, I., & Dunwell, J. M. (2023). Bioinformatic, genetic and molecular analysis of several badnavirus sequences integrated in the genomes of diverse cocoa (*Theobroma cacao* L.) germplasm. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(5), 103648. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103648>
- Vargas-Munévar, L., Borja-Fajardo, J., Sandoval-Aldana, A., García, W. Q., Moreno, E. M., Henriquez, J. C., Stashenko, E., García, L. T., & García-Beltrán, O. (2024). Microencapsulation of *Theobroma cacao* L polyphenols: A high-value approach with in vitro anti-*Trypanosoma cruzi*, immunomodulatory and

antioxidant activities.  
Biomedicine &  
Pharmacotherapy, 173, 116307.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.116307>

Visser, A. M., Chavez, E., Caicedo, C.,  
Tinoco, L., & Pulleman, M.  
(2024). Biological soil health  
indicators are sensitive to shade  
tree management in a young  
cacao (*Theobroma cacao* L.)  
production system. *Geoderma  
Regional*, 37, e00772.  
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00772>

Wei, G., Han, G. S., & Lang, X. (2024).  
Using RS and GIS for risk  
management of natural disasters  
consequences: The case of  
cultural heritage in Jinan city,  
China. *Heliyon*, 10(19), e38217.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38217>