



PROTOCOLO METODOLÓGICO

Mapa nacional de uso de
la tierra por café, 2020



AUTORIDAD NACIONAL

Luis Edgardo Soliz Lobo
Director Ejecutivo del ICF

COORDINACIÓN GENERAL TÉCNICA

Manuel Enrique Erazo
Jefe del Centro de Información y Patrimonio Forestal (CIPF)

Karol Berenice Lara
Coordinadora Unidad de Monitoreo Forestal /CIPF

EQUIPO CONSULTOR

EXPERTO NACIONAL

Klaus Wiese
Consultor y asesor principal

ESPECIALIATA TÉCNICOS

Mario René López
Técnico SIG
Maynor Josué Díaz
Técnico SIG

COORDINACIÓN ADMINISTRATIVA

José David Pastrana
Coordinador General OCP
Victoria Trujillo
Oficial de Formulación de Proyectos OCP

EQUIPO TÉCNICO UNIDAD DE MONITOREO FORESTAL

Luis Alfredo López
Técnico Unidad de Monitoreo Forestal
Marlon Alexander Díaz
Técnico Unidad de Monitoreo Forestal
Teresa de Jesús Gómez
Técnico Unidad de Monitoreo Forestal
Luis Alonso Fuentes
Técnico Unidad de Monitoreo Forestal



1. ANTECEDENTES

El sector cafetalero está trabajando hacia compromisos sectoriales para una producción sostenible. Sin embargo, el conocimiento sobre dónde se cultiva el café y su impacto ambiental sigue siendo limitado, en parte debido a los desafíos de mapeo del café utilizando sensores remotos satelitales (Hunt et al., 2020).

- Muchos interesados, incluidos comerciantes de café, tostadores, minoristas y gobiernos, también dependen de la información relacionada con la dinámica del paisaje del café y la extensión de la producción regional de café para asegurar que las decisiones de abastecimiento e inversión sean sólidas y contribuyan directamente a los compromisos de cero deforestación.
- En el contexto de la preparación para el Reglamento de la Unión Europea sobre productos libres de deforestación (EUDR), el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) ha realizado esfuerzos significativos para apoyar al sector cafetalero
- El ICF también ha participado activamente en foros para dar a conocer los esfuerzos del Gobierno hondureño en la creación de herramientas para la detección de la deforestación en parcelas productivas de café, cacao y palma aceitera. Se presentó el concepto para crear una plataforma que pudiera detectar la deforestación en las parcelas de los cultivos a los sectores productivos. La plataforma Geoforestal del ICF fue socializada como la herramienta mediante la cual se emitirán constancias de Cero Deforestación.
- Un esfuerzo fundamental ha sido la creación y oficialización del Comité Técnico Interinstitucional de apoyo para el cumplimiento del Reglamento EUDR. Este comité, presidido por el ICF, está integrado por diversas instituciones gubernamentales y tiene como objetivo orientar y asegurar a los sectores productivos del país respecto a los factores de cumplimiento para la producción y exportación de las materias primas pertinentes contenidas en el EUDR. El comité ha sostenido reuniones para avanzar en la implementación del reglamento y definir una hoja de ruta para asegurar las exportaciones.
- El desarrollo del presente Mapa de Uso del Suelo dedicado al Café para el año 2020 es una de las herramientas clave que el ICF está impulsando para proporcionar una línea base fundamental para la debida diligencia que exige el EUDR, específicamente en lo referente a la condición de que los productos estén libres de deforestación después del 31 de diciembre de 2020. La información generada a partir de este mapa es esencial para apoyar al sector cafetalero en sus esfuerzos por cumplir con los requisitos del EUDR para las exportaciones al mercado de la Unión Europea.



2. OBJETIVOS

Objetivo General

Crear un Mapa de Uso del Suelo dedicado al Café para el año 2020 de Honduras que sirva como una línea base crucial para la debida diligencia requerida por el Reglamento (UE) 2023/1115 (EUDR), facilitando así la demostración de que el café producido en Honduras no ha contribuido a la deforestación después del 31 de diciembre de 2020.

Objetivos Específicos

- Identificar y gestionar fuentes de información oficial sobre la ubicación de fincas de café en Honduras.
- Generar una base de datos espaciales de ubicaciones representativas en Honduras de los diferentes tipos de fincas de café.
- Crear un compuesto temporal corregido de imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2 para el año 2020.
- Calcular los índices espectrales a partir de compuesto temporal de Sentinel-2 relevantes para uso como variables predictoras.
- Calcular estadísticos a partir de compuesto temporal de Sentinel-1 relevantes para uso como variables predictoras.
- Crear un modelo de predicción espacial para el cultivo de café en el año 2020.
- Evaluar los resultados del modelo de predicción espacial de café, buscando establecer el nivel de precisión alcanzado.
- Calcular estadísticos de los resultados de la predicción espacial de café a nivel de las regiones del Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre de Honduras (ICF).

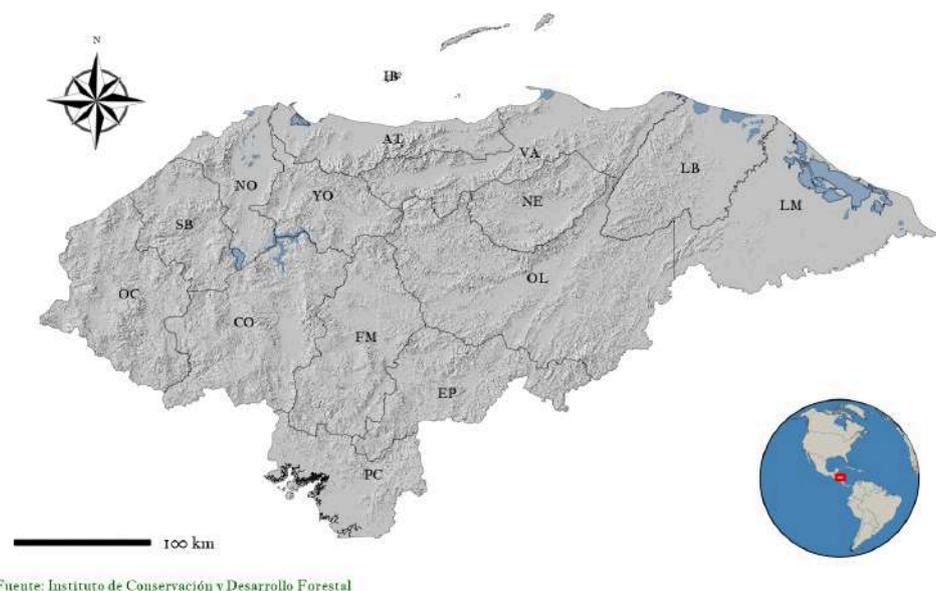


3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El área de estudio del proyecto comprende los límites del Honduras, trabajando de forma localizada a nivel de Región Forestal de ICF, esto permite que las clasificaciones puedan entrenar modelos que capten las características de la zona de una forma más adecuada. En la figura 1 se puede apreciar la distribución de las Regionales Forestales del ICF.

Distribución de Regiones Forestales de Honduras
ICF - Honduras



División administrativa ICF (regiones forestales)

NO.	Región	Codigo
1	Atlántida	AT
2	Comayagua	CO
3	El Paraiso	EP
4	Nor Occidente	NO
5	Nor oeste de olancho	NE
6	Francisco Morazán	FM
7	Occidente	OC
8	La Biosfera	LB
9	La Mosquitia	LM
10	Olancho	OL
11	Yoro	YO
12	Santa Barbara	SB
13	Valle de Aguán	VA
14	Islas de la Bahía	IB
15	Pacifico	PC



3.2. Revisión bibliográfica

Se hizo una revisión de publicaciones científicas y estudios hechos por ICF en el pasado para identificar las fuentes de datos y algoritmos que más se usan en el sector. Buscando sostenibilidad para los procesos de análisis de datos espaciales a lo interno de la Unidad de Monitoreo Forestal (UMF) del Centro de Información y Patrimonio Forestal (CIPF) del Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal (ICF) de Honduras.

3.3. Identificación de fuentes de información oficial

Para este estudio se identificaron las instituciones que gestionan y regular el café en Honduras, se logró identificar al Instituto Hondureño del Café (IHCAFE).

3.4. Creación de base de datos espaciales para Café y No Café

3.4.1. Café

El ICF gestionó los datos de IHCAFE correspondientes a afiliados para el año 2020. Los datos georreferenciados correspondían a la ubicación de los productores de café asociados con IHCAFE. Estas localizaciones no corresponden con la ubicación de parcelas de café, se relacionan con las estructuras cercanas a ellas, como ser, carreteras, centros de secado, centros de almacenamiento, casa de habitación de los dueños de las parcelas entre otros. Estas ubicaciones, en su mayoría, si se encontraban a inmediaciones de las tierras dedicadas al café.

A partir de estos datos, se procedió a interpretar imágenes como las disponibles en Google Maps, imágenes Sentinel-2 para el año 2020 y se consolidó una base de datos de ubicaciones de fincas de café por cada Región Forestal de ICF.



3.4.2. No café

Para las muestras representativas de otras coberturas vegetales y usos del suelo diferentes al café, se utilizó la base de datos para coberturas y usos del suelo 2024 creada por la unidad de monitoreo forestal del ICF. Esta base de datos cuenta con 23 coberturas diferentes al café que determinan los puntos correspondientes a no café de Honduras, con un especial énfasis a las clases que se pueden confundir con café.

3.5. Colección de imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2 para el año 2020

Se recopiló todas las imágenes disponibles del año 2020 para las plataformas Sentinel-1 y Sentinel-2. Estas colecciones fueron corregidas, en el caso de Sentinel-1, se aplicó un filtro speckle, corrección de pendiente y la creación del mosaico para Honduras. Imágenes Sentinel-1.

La misión Sentinel-1 proporciona datos de un radar de apertura sintética con capacidad de obtención de imágenes diurnas y nocturnas en diferentes condiciones meteorológicas (Sentinel-1 SAR GRD, 2025) estos datos recogen información de la retrodispersión de la superficie de la tierra y son de mucha utilidad para separar diferentes usos del suelo y coberturas vegetales (Craig Dobson et al., 1995).

Se utilizó la colección de imágenes del año 2020 del catálogo de Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017). Estas imágenes fueron procesadas para eliminar el ruido térmico, calibrar radiométricamente y corregir topográficamente usando el modelo SRTM. De la colección se usó las siguientes variables

- Polarización simple VV orbita ascendente y descendente (decibeles)
- Polarización simple VH orbita ascendente y descendente (decibeles)

3.5.1. Imágenes Sentinel-2

La plataforma Sentinel-2 es una misión de observación terrestre desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA) en el marco del programa Copernicus. La misión Sentinel-2 consta de dos satélites idénticos (Sentinel-2A y Sentinel-2B) que proporcionan imágenes



multiespectrales de alta resolución para monitoreo terrestre y aplicaciones como mapeo forestal y de cambio de uso del suelo. (Aschbacher & Milagro-Pérez, 2012). Las imágenes Sentinel-2 son ópticas y recogen información en el espectro de visible (azul (B2), verde (B3) y rojo (B4)), el infrarrojo (rededge 1-3 (B5, B6 y B7) y el infrarrojo de cercano (B8)) y datos sobre infrarrojo de onda corta (B11 y B12) (ESA, 2021a). estas imágenes fueron recolectadas usando la plataforma de computación en la nube Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017). Se uso la colección armonizada de imágenes que poseen corrección topográfica y atmosférica, a esta se aplicó finalmente un filtro de nubes y sombras.

3.6. Cálculo de estadísticos derivados de imágenes Sentinel 1

El empleo de estadísticos derivados de la colección de imágenes RADAR del año 2020 se recomienda para obtener valores de coberturas. Esta metodología permite diferenciar los estadios de crecimiento de cultivos, pastizales y otras formaciones vegetales (Song & Wang, 2019). Para el análisis se utilizaron varios estadísticos de la serie temporal de las imágenes Sentinel-1, correspondientes a las dos polarizaciones sencillas disponibles de este sensor.

- Mediana de colección RADAR polarización VV con orbitas ascendente y descendente para el 2020 (decibeles).
- Mediana de colección RADAR polarización VH con orbitas ascendente y descendente para el 2020 (decibeles).
- Desviación Estándar de colección RADAR polarización VV con orbitas ascendente y descendente para el 2020 (decibeles).
- Desviación Estándar de colección RADAR polarización VH con orbitas ascendente y descendente para el 2020 (decibeles).
- Ratios de doble polarización (VH / VV) para con orbitas ascendente y descendente para el 2020 (decibeles).

3.7. Cálculo de Índices espectrales

Los índices espectrales ayudan a resaltar las características de las cubiertas en la superficie terrestre, se generan a partir de la interacción de los diferentes espectros de la luz (Chuuieco-Salineró, 2006).



A partir del valor de la mediana de la colección Sentinel-2 para el año 2020 se calculó índices espectrales conocidos por su utilidad para separar diferentes coberturas vegetales y usos del suelo, los índices utilizados se presentan a continuación:

#	Índice	Fuente
1	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	(Rouse et al., 1974)
2	Enhanced Vegetation Index (EVI)	(A. Huete et al., 1999)
3	Green Leaf Index (GLI)	(Gitelson et al., 2003)
4	S-2 Red-Edge Position Index (S2REP)	(Guyot & Baret, 1988)
5	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI)	(Daughtry et al., 2000)
6	Normalized Difference Built-up Index (NDBI)	(Xu, 2008)
7	Bare Soil Index	(Li & Chen, 2014)
8	Normalized Difference Moisture Index (NDMI)	(Gao, 1996)
9	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	(A. R. Huete, 1988)

3.8. Datos auxiliares

Se utilizaron datos de elevación y pendiente como variables auxiliares. La elevación y pendiente provienen del modelo digital del terreno de la misión SRTM.

3.9. Modelo de predicción espacial para cuantificar el área de café se decidió

elaborar un modelo de predicción espacial basado en 1) datos de café generados a partir de la interpretación de imágenes satelitales y datos obtenidos de IHCAFE (entrenamiento), 2) imágenes de satélite ópticas, RADAR y fuentes complementarias como elevación, pendiente, temperatura (variables predictoras), 3) algoritmos de clasificación y 4) Evaluación de la predicción (Figura 1). El propósito de este modelo es cartografiar las áreas de producción de café de Honduras para el año 2020.



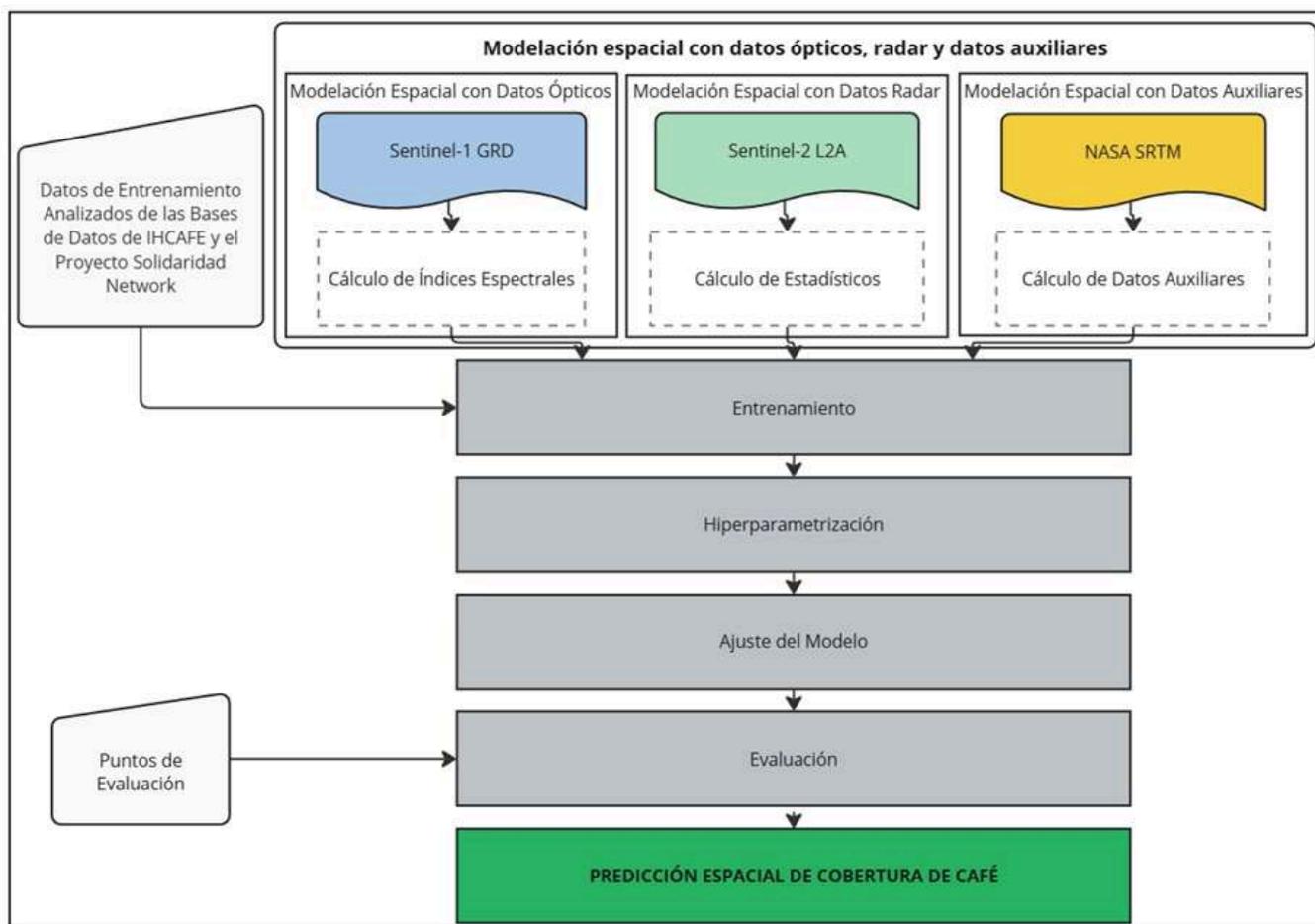


Figura 2. Esquema de proceso 3.10. Datos de entrenamiento, los datos sobre la ubicación geográfica de las diferentes manifestaciones de plantaciones de café y muestras representativas de los demás usos del suelo presentes en Honduras, esta es la información que el modelo de predicción espacial requiere para vincularse con las variables predictoras. Así se puede relacionar el café con los valores de reflectividad (para imágenes ópticas), retrodispersión (para imágenes RADAR) y topográficas (elevación, pendiente) y construir a partir de datos discretos predicciones continuas de la presencia de café. El equipo de ICF creó a partir de la interpretación de imágenes satelitales y datos auxiliares una base de datos de muestras de entrenamiento binarias (café, no café) para todas las Regiones Forestal de ICF. Estos datos son el entrenamiento del algoritmo de clasificación y predicción de las áreas de café. 3.11. Variables Predictoras Para entrenar el modelo se utilizaron los datos derivados de Sentinel-1, Sentinel-2 y SRTM, en total se obtuvieron 32 variables incluyendo las bandas espectrales de Sentinel-2, bandas

de retrodispersión de Sentinel-1, índices espectrales derivados de Sentinel-2, estadísticos derivados de Sentinel-1, datos de elevación y pendiente obtenidos de STRM.

3.12. Modelo de clasificación

Existen diferentes metodologías para la clasificación de coberturas vegetales, entre las que podemos contar métodos 1) paramétricos y no paramétricos, 2) análogos (foto interpretación y delimitación manual) y digitales (usando algoritmos de agrupación). Los métodos digitales de clasificación pueden ser agrupados en: automáticos, supervisados y semi-supervisados (Chuvienco-Salineró, 2006).

En el ambiente general los métodos de aprendizaje de máquinas (machine learning) son los más utilizados para procesos de predicción, para la clasificación de las áreas de café se utilizó Random Forest:

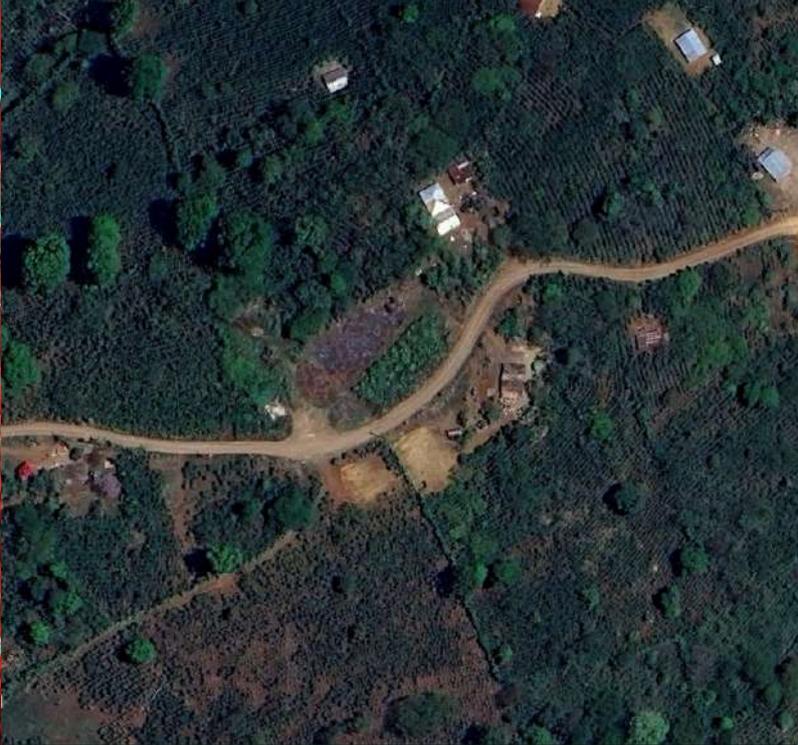
Random Forest: es un algoritmo predictivo que a través del bagging combina diferentes árboles de decisión. Cada árbol es creado a partir de observaciones y variables aleatorias. Es utilizado en gran medida para la predicción de coberturas vegetales y diferentes usos del suelo, por sus ventajas en el manejo robusto de variables y gran precisión en la clasificación final a partir del consenso de árboles de decisión (Kulkarni & Lowe, 2016). En forma resumida sigue este proceso: Selecciona individuos al azar (usando muestreo con reemplazo) para crear diferentes juegos de datos que van generando resultados y estimaciones de precisión en la clasificación que permiten seleccionar la mejor clasificación dentro de todos los juegos de datos creados aleatoriamente (Breiman, 2001).

3.13. Evaluación del modelo de predicción espacial

En el proceso de evaluación de la predicción espacial, se usó el 80% de la base de datos para entrenamiento y el 20% para evaluación, sigue una metodología que asegura la independencia entre ambos conjuntos, evitando el sobreajuste y proporcionando una medida confiable del rendimiento del modelo.

Primero, se dividió aleatoriamente la base de datos en dos subconjuntos: el 80% se usa para entrenar el modelo, ajustando sus parámetros y aprendiendo las relaciones espaciales entre las variables. El 20% restante, que no se usó en el entrenamiento, se reserva como conjunto de validación para evaluar el modelo. Esta separación garantiza que el modelo se enfrente a datos no vistos, proporcionando una medida objetiva de su capacidad predictiva.

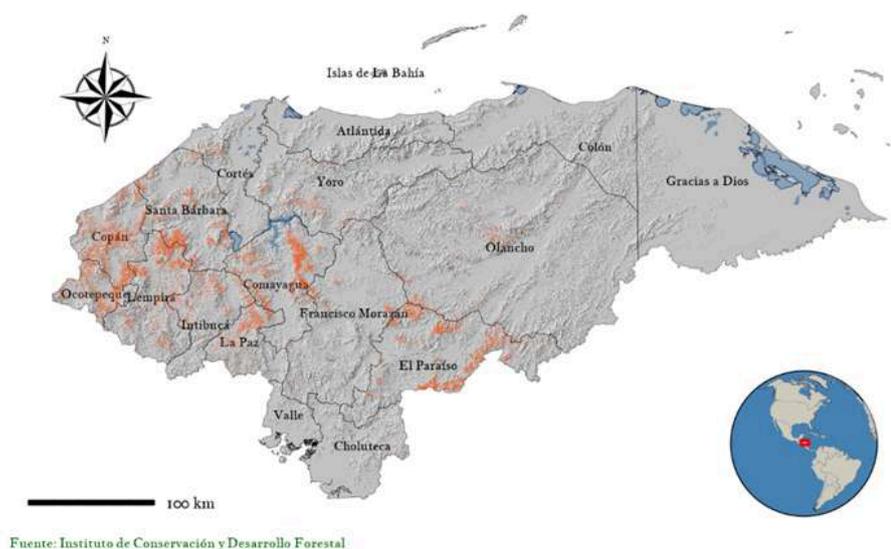




4. RESULTADOS

4.1. DISTRIBUCIÓN DE CAFÉ EN HONDURAS

El modelo de predicción espacial encontró un total de 373,670 hectáreas distribuidas en Toda Honduras para el año 2020, con una concentración en el Occidente, con una importante representación en Centro Oriente. A continuación, se presenta una composición cartográfica con la distribución del café en Honduras para el año 2020:



A nivel departamental El Paraíso es el departamento con mayor cantidad de tierra dedicadas al café con más de 58 mil hectáreas que representan un 15.72% del total de café en Honduras, seguido por Copán (57 mil hectáreas - 15.50%), Comayagua (52 mil hectáreas - 13.96%) y Lempira (46 mil hectáreas - 12.44%). Sin embargo, al hacer una normalización de las áreas de café a través del área total del departamento encontramos que el Departamento que más tierra dedica al café es Copán con un 17.88% del total del departamento usado para la siembra del café, seguido por Ocotepeque (15.58%), Lempira (10.84%) y Comayagua (10.18%).

Departamento	Área Total de Café (ha)	% de Café Total	% de Café del Departamento
El Paraíso	58.74K	1.572	7.955
Copán	57.92K	1.550	1.788
Comayagua	52.15K	1.396	1.018
Lempira	46.48K	1.244	1.084
Santa Bárbara	38.96K	1.043	7.771
Santa Bárbara	38.96K	1.043	7.771
La Paz	22.39K	5.992	8.834
Intibucá	22.36K	5.983	7.150
Olancho	19.17K	5.131	7.989
Yoro	13.63K	3.646	1.741
Francisco Morazán	11.02K	2.949	1.284
Cortés	4.249K	1.137	1.086
Choluteca	6.446	1.725	1.466
Colón	4.365	1.168	5.299
Valle	4.763	1.275	2.943
Atlántida	2.134	5.712	4.893
Gracias a Dios	0	0	0
Islas de La Bahía	0	0	0



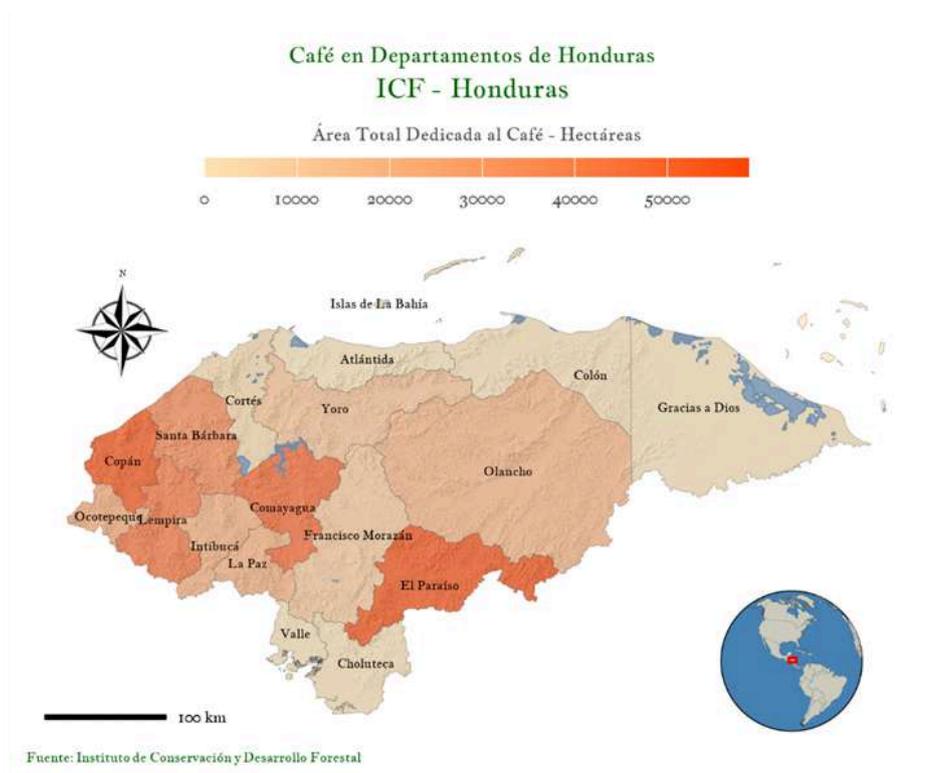


Figura 4. Café por departamento, cantidad total

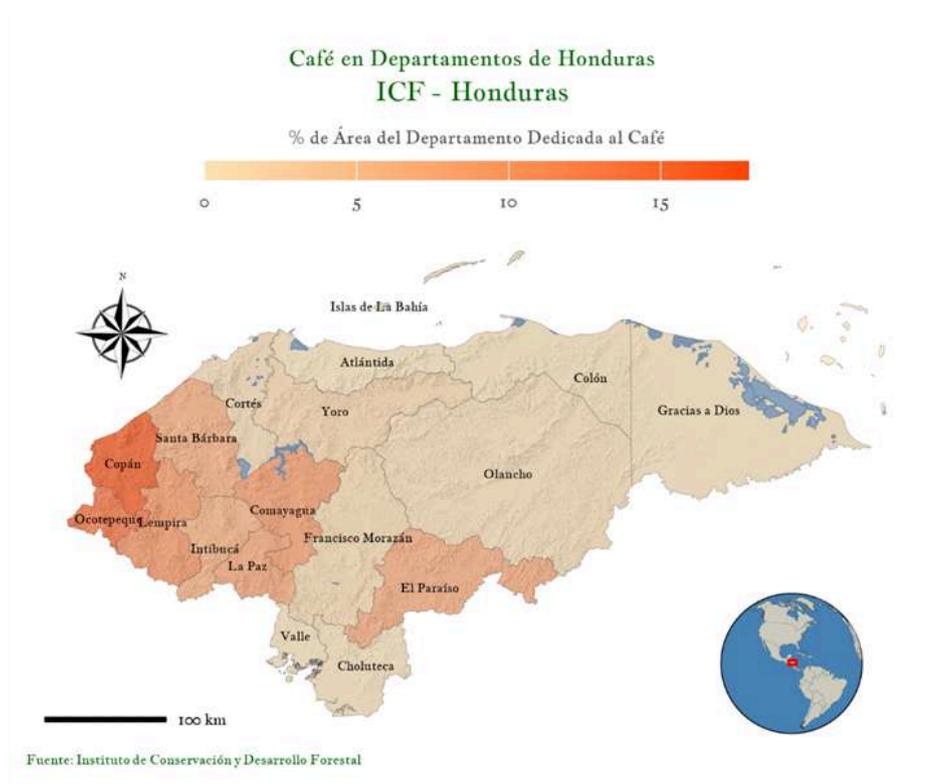


Figura 5. Café por departamento, porcentaje relativo al área de departamento



4.3. Distribución del café por regiones forestales de ICF

La regional donde más se reporta café es la región de Occidente con más de 129 mil hectáreas, lo que porcentualmente es el 14.18% del total nacional, la segunda regional con más cantidad de café es Comayagua (96 mil hectáreas - 25.93%), tercera es El Paraíso (58 mil hectáreas - 15.72%). AL normalizar los datos por el área total de la regional, Occidente sigue siendo la región con mayor cantidad e café por el área con un 14.18%, la segunda región forestal es Santa Bárbara con un 9.55% y en tercer lugar Comayagua con un 8.98%. A continuación, en cuadro 3 y las figuras 6 y 7, se muestran los resultados de todas las regiones forestales de Honduras

Cuadro 3: Tierra dedicada al café por regional

Región Forestal	Área Total de Café (ha)	% de Café Total	% de Café de la Regional
Occidente	129.9K	3.477	1.418
Santa Bárbara	31.03K	8.305	9.558
Comayagua	96.90K	2.593	8.987
El Paraíso	58.74K	1.572	7.955
Yoro	12.21K	3.268	2.598
Nor Occidente	12.77K	3.417	2.056
Francisco Morazán	11.02K	2.949	1.284
Olancho	15.01K	4.018	8.404
Nor Este de Olancho	3.750K	1.003	8.286
Valle del Aguán	1.665K	4.455	1.913
Pacífico	6.494	1.738	1.081
Atlántida	2.201	5.889	4.317
Islas de la Bahía	0	0	0
Biosfera del Río Plátano	0	0	0
La Mosquitia	0	0	0



Figura 6. Café por región forestal, cantidad total

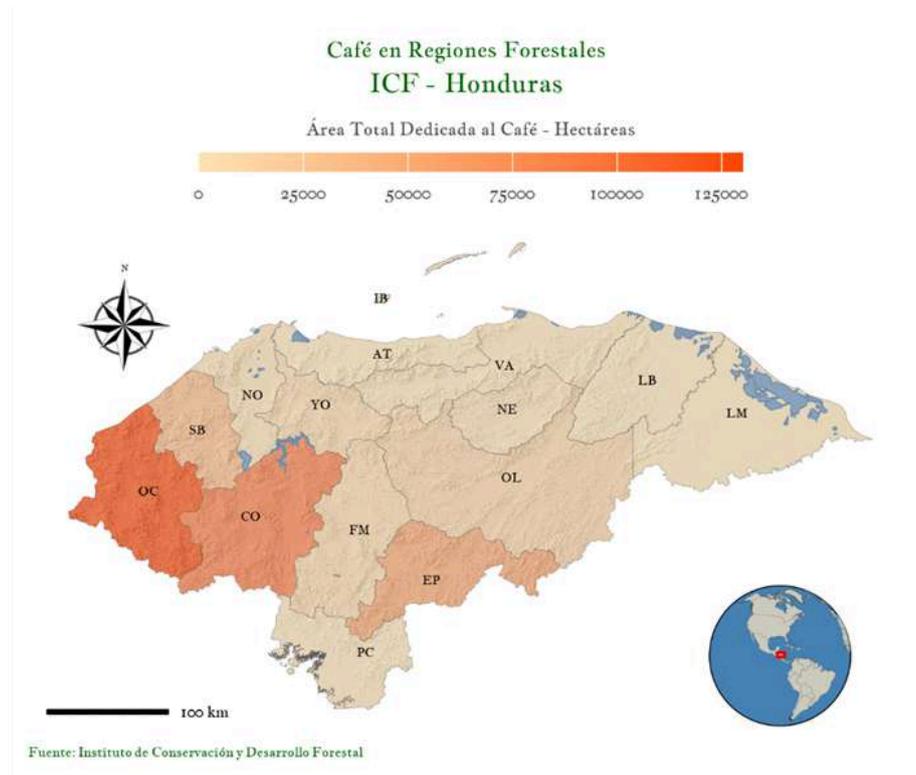
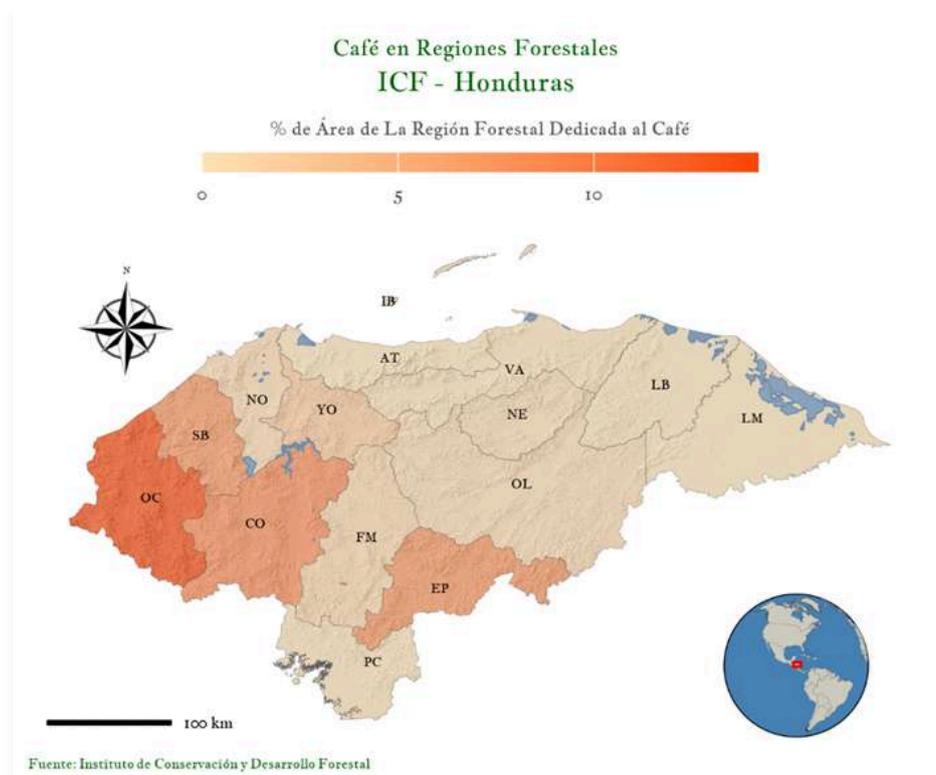


Figura 7. Café por región forestal, porcentaje relativo al área de departamento





5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

- La elaboración del mapa de uso del suelo dedicado al café para el año 2020 en Honduras representa un hito fundamental en el apoyo al sector cafetalero hondureño para el cumplimiento del Reglamento (UE) 2023/1115 (EUDR). Este mapa proporciona una línea base espacial esencial para determinar si la producción de café ha estado asociada a la deforestación después del 31 de diciembre de 2020, un requisito crucial para la exportación al mercado de la Unión Europea.
- La consolidación y el análisis de información geográfica proveniente de fuentes clave como el IHCAFE han permitido la generación de una base de datos espacial representativa de las áreas de cultivo de café en el país. Este esfuerzo del Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) subraya su compromiso en la coordinación y el apoyo técnico a los sectores productivos para la implementación del EUDR.
- La metodología de mapeo desarrollada sienta las bases para futuras iniciativas de monitoreo y seguimiento de la deforestación en las áreas de producción de café, fortaleciendo la capacidad institucional del ICF en el uso de tecnologías de información geográfica para la gobernanza forestal y la verificación del cumplimiento de los compromisos de cero deforestación. En este sentido, la creación de esta herramienta se alinea con los esfuerzos del comité técnico Interinstitucional EUDR, liderado por el ICF, para orientar y asegurar a los sectores productivos en el cumplimiento de los requisitos del reglamento europeo.
- En resumen, el mapa de uso del suelo de café para 2020 no solo ofrece una referencia espacial clave para la debida diligencia de los operadores, sino que también evidencia el papel proactivo del ICF en la preparación del sector cafetalero de Honduras para los desafíos y oportunidades que presenta el EUDR.



2.Recomendaciones

- Integración con plataformas de trazabilidad: integrar el mapa de 2020 con las plataformas de registro y trazabilidad existentes y futuras, como el registro cafetalero del IHCAFE y el SIGMOF del ICF, para facilitar la verificación de la no deforestación a nivel de parcela. Esta integración permitirá a los productores, exportadores y autoridades competentes acceder y utilizar la información espacial de manera eficiente para la debida diligencia.
- Actualización y monitoreo continuo: establecer un proceso continuo para la actualización del mapa de uso del suelo de café, utilizando tecnologías de monitoreo satelital y datos de campo. Esto permitirá un seguimiento dinámico de los cambios en la cobertura terrestre y la detección temprana de la deforestación en áreas de producción de café, en línea con los requerimientos del EUDR.
- Fortalecimiento de capacidades: desarrollar programas de capacitación dirigidos a productores, técnicos del IHCAFE, exportadores y personal del ICF sobre el uso y la interpretación del mapa de uso del suelo y otras herramientas de información geográfica para la debida diligencia y el cumplimiento del EUDR.
- Complementariedad con análisis de legalidad: utilizar el mapa de 2020 como una capa de información espacial dentro del análisis de la legalidad pertinente para el sector cafetalero. La información sobre la ubicación y los cambios en el uso del suelo puede complementar la documentación legal para demostrar el cumplimiento de los requisitos del EUDR.
- Socialización y acceso a la información: garantizar la socialización y el acceso al mapa de 2020 y a sus actualizaciones a todos los actores relevantes de la cadena de valor del café, respetando la confidencialidad de la información sensible. Esto fomentará la transparencia y facilitará la adopción de prácticas de producción libres de deforestación.
- Exploración de herramientas adicionales: explorar y desarrollar herramientas geospaciales adicionales, como análisis de riesgo de deforestación y modelos predictivos, que puedan complementar el mapa de 2020 y proporcionar información más detallada para la toma de decisiones en la gestión sostenible del paisaje cafetalero.



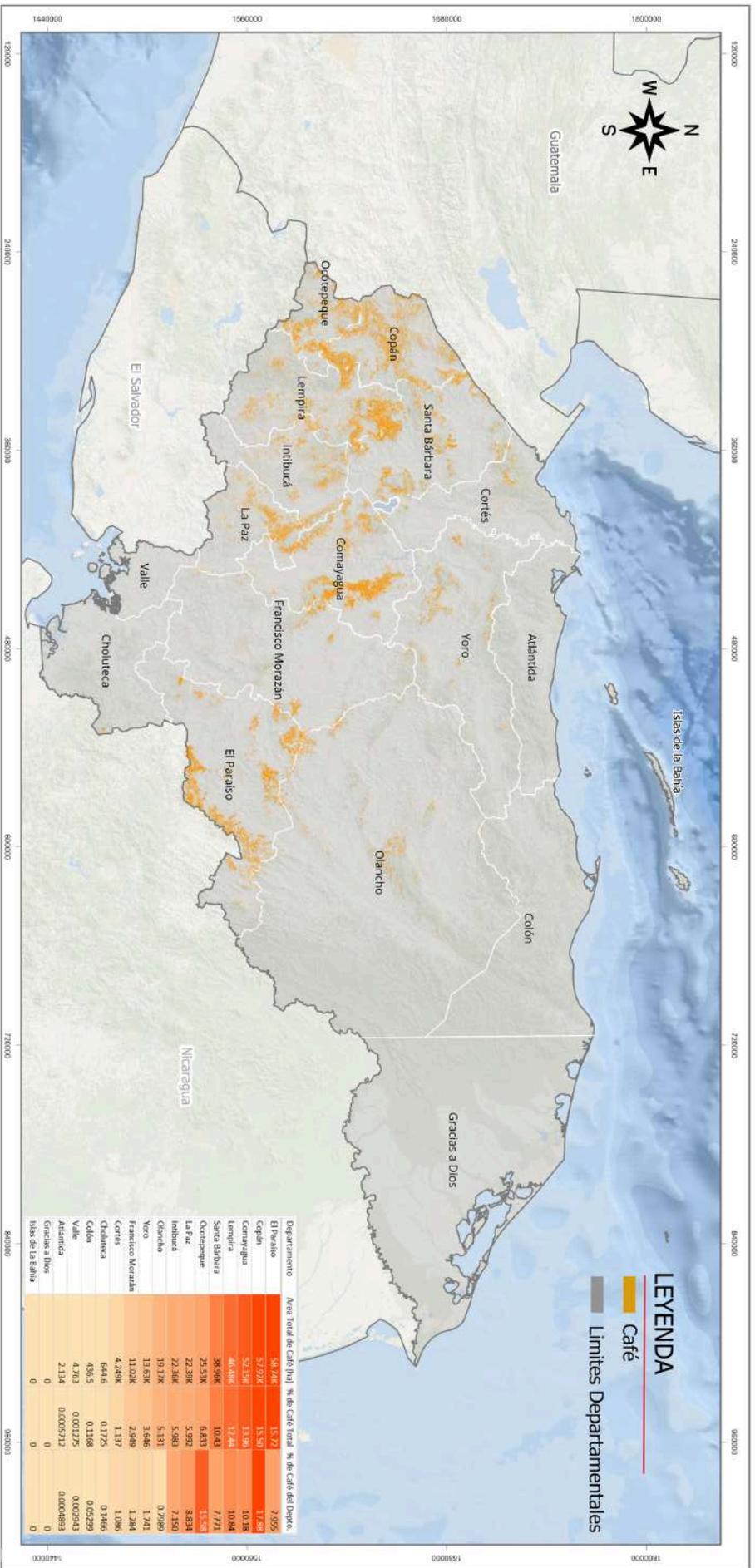
6. REFERENCIAS

- Aschbacher, J., & Milagro-Pérez, M. P. (2012). The European Earth monitoring (GMES) programme: Status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 120, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.028>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5–32.
- Chuvienco-Salineró, E. (2006). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*—Editorial Ariel, Barcelona-España.
- Craig Dobson, M., Ulaby, F. T., & Pierce, L. E. (1995). Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar. *Remote Sensing of Environment*, 51(1), 199–214. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00075-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)00075-X)
- Daughtry, C. S., Walthall, C., Kim, M., De Colstoun, E. B., & McMurtrey Iii, J. (2000). Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote sensing of Environment*, 74(2), 229–239.
- Gao, B.-C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257–266.
- Gitelson, A. A., Gritz, Y., & Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of plant physiology*, 160(3), 271–282.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18–27.
- Guyot, G., & Baret, F. (1988). Utilisation de la haute resolution spectrale pour suivre l'état des couverts végétaux. *Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*, 287, 279.
- Huete, A., Justice, C., & Van Leeuwen, W. (1999). MODIS vegetation index (MOD13). Algorithm theoretical basis document, 3(213), 295–309.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295–309.
- Hunt, D. A., Tabor, K., Hewson, J. H., Wood, M. A., Reymondin, L., Koenig, K., Schmitt-Harsh, M., & Follett, F. (2020). Review of Remote Sensing Methods to Map Coffee Production Systems. *Remote Sensing*, 12(12), 2041. <https://doi.org/10.3390/rs12122041>
- Kulkarni, A. D., & Lowe, B. (2016). Random forest algorithm for land cover classification.
- Li, S., & Chen, X. (2014). A new bare-soil index for rapid mapping developing areas using LANDSAT 8 data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4, 139–144. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-139-2014>
- Rouse, J., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., & others. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*, 351(1974), 309.
- Sentinel-1 SAR GRD: C-band Synthetic Aperture Radar Ground Range Detected, log scaling | Earth Engine Data Catalog. (2025). Google for Developers. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S1_GRD
- Song, Y., & Wang, J. (2019). Mapping Winter Wheat Planting Area and Monitoring Its Phenology Using Sentinel-1 Backscatter Time Series. *Remote Sensing*, 11(4), 449. <https://doi.org/10.3390/rs11040449>
- Xu, H. (2008). A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 29(14), 4269–4276.



7. ANEXOS

MAPA NACIONAL DE USO DEL SUELO PARA CAFÉ 2020



Localización Regional

Nota: Los límites políticos administrativos de Honduras y límites territorios utilizados en este mapa fueron tomados del Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT), la inclusión de los mismos se ha realizado exclusivamente para fines de referencia con los elementos cartográficos presentados en este mapa. Los resultados obtenidos para la cobertura forestal y usos de la tierra son producto del procesamiento en la Unidad de Monitoreo Forestal y Patrimonio Forestal - CTR, Año 2025.

Todos los derechos de producción cartográfica y datos geográficos pertenecen al Sistema Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Área Función Operativa del Sistema Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, República de Honduras, Centralamérica

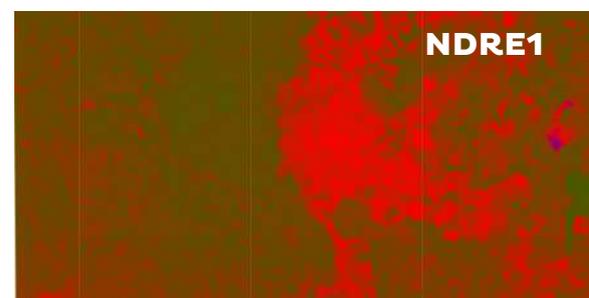
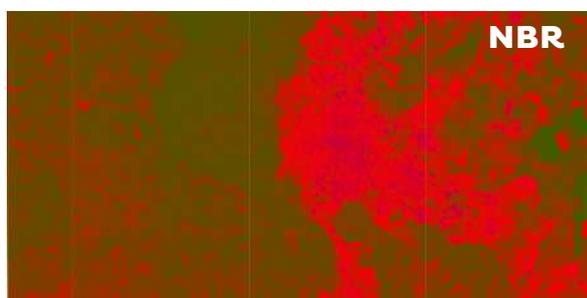
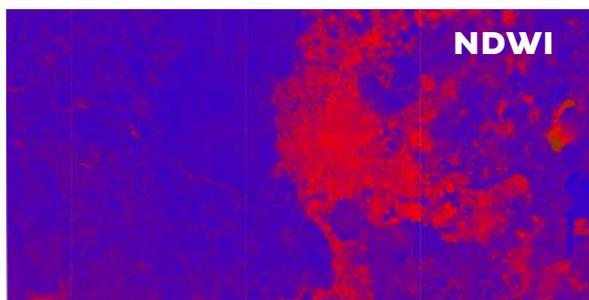
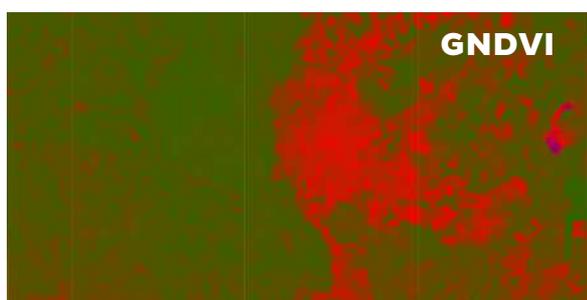
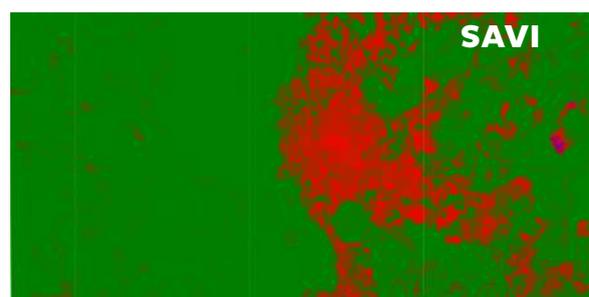
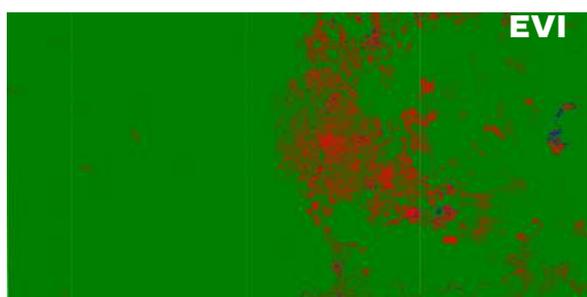
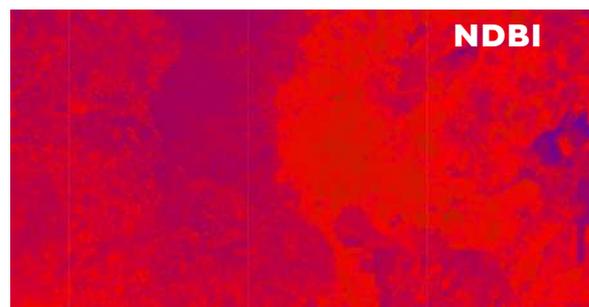
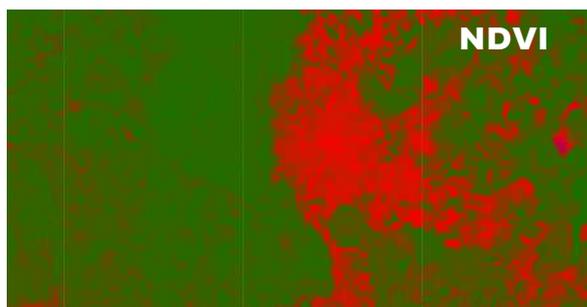
Elaborado por: UNIDAD DE MONITOREO FORESTAL, CENTRO DE INFORMACIÓN Y PATRIMONIO FORESTAL - CTR, AÑO 2025

Escala 0 40 80 120 km

Descripción Cartográfica: PROYECCIÓN: Universal Transversal Mercator; DATUM: WGS84; ZONA: 16N; UNIDAD DE MEDICIÓN: Metros; FORMA: Spheroid; REASER: Shapfile; Raster; TABLA DE ATRIBUTOS: LTR-8; TOPOLOGÍA: Puntos, Polígonos, Líneas



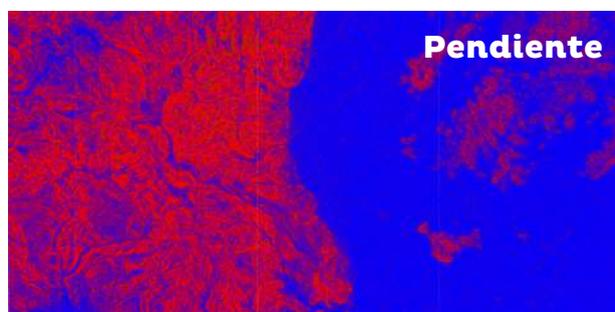
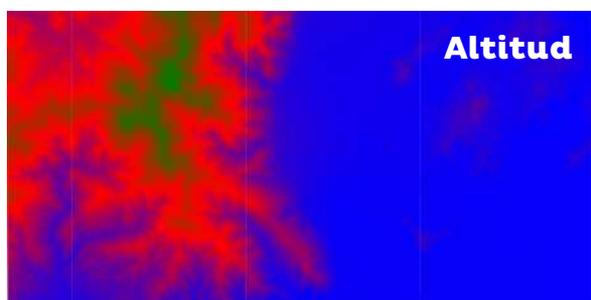
Índices espectrales



Índices espectrales



Finalmente, como datos auxiliares, se extrajeron los datos de elevación a partir del DEM del SRTM, y se calculó la pendiente del terreno con estos datos





HONDURAS

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA