



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación
Programa Universitario de Investigación
en Asentamientos Humanos

INFORME FINAL

Determinación de la degradación forestal en el ecosistema de manglar pacífico a través de sensores remotos y el uso de vehículos aéreos no tripulados

Equipo de investigación

M.Sc. Sara Michelle Catalán Armas

Ing. Miguel Antonio Avila Mora
PhD Maura Liseth Quezada Aguilar

Guatemala, 30 noviembre de 2017

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN AVALADORA

Centro de Estudios Conservacionistas de Guatemala CECON-USAC
M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán

Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

PhD. Sandra E. Herrera Ruiz
Coordinadora del Programa de Investigación
Asentamientos Humanos

M.Sc. Sara Michelle Catalán Armas
Coordinadora del proyecto de investigación

Ing. Miguel Antonio Avila Mora
PhD. Maura Liseth Quezada Aguilar
Investigadores titulares

Partida Presupuestaria
4.8.63.9.03
Año de ejecución: 2017

Índice

1. Resumen.....	1
2. Abstract	1
3. Introducción	1
4. Marco teórico y estado del arte	2
4.1 Cobertura forestal.....	2
4.2 El ecosistema de manglar pacífico	4
4.3 Monitoreo forestal	4
4.4 Degradación forestal	5
4.5 Vehículos aéreos no tripulados.....	5
4.6 Los VANT Phantom 3.....	5
5. Materiales y método	6
5.1 Delimitación de área de estudio.....	6
5.2 Descarga de imágenes Landsat 8 OLI/TIRS.....	7
5.3 Procesamiento de imágenes en CLASlite	8
5.4 Toma de fotografías con vehículo aéreo no tripulado.....	10
5.5 Construcción de mosaicos	10
5.6 Validación de resultados	11
6. Resultados y discusión	12
6.1 Matriz de resultados	16
6.2 Impacto esperado	17
7. Conclusiones	18
8. Bibliografía	19
9. Actividades de gestión, vinculación y divulgación.....	20
10. Orden de pago	22

Determinación de la degradación forestal en el ecosistema de manglar pacífico a través de sensores remotos y el uso de vehículos aéreos no tripulados

1. Resumen

La investigación realizada presenta el uso del sensor remoto Landsat 8 OLI/TIRS procesados semi automáticamente en el software de la universidad de Stanford CLASlite (Asner, Knapp, Balaji, & Páez-Acosta, 2009), el cual permite establecer parámetros espectrales, con el fin de poder identificar en la cobertura forestal actividades de degradación forestal. El área de estudio seleccionada para evaluar la capacidad del software fue la cobertura del ecosistema de manglar pacífico, ubicada en la zona sur de Guatemala. Para poder determinar el valor espectral correcto se contrastaron los resultados obtenidos por CLASlite con modelos fotogramétricos de alta resolución construidos mediante el uso del vehículo aéreo no tripulados Phantom 3 Advanced, el cual cuenta con una avanzada tecnología de vuelo semi automático por GPS y un sensor óptico de alta resolución, el objetivo de los modelos fotogramétricos era la validación visual de los registros de degradación forestal obtenidos por CLASlite, los cuales dieron una excelente respuesta a las actividades identificadas, obteniendo una precisión general del 95%, un intervalo de confianza del 97% y una incertidumbre total del 2%.

Palabras clave: Biodiversidad, Extracción ilegal, Firma espectral, Landsat, Pixel, CLASlite.

2. Abstract

The research carried out presents the use of the Landsat 8 OLI / TIRS remote sensor semi-processed automatically in the software of the Stanford University CLASlite (Asner, Knapp, Balaji, & Páez-Acosta, 2009), which allows to establish spectral parameters, with the In order to be able to identify forest degradation activities in forest cover. The study area selected to evaluate the software's capacity was the coverage of the peaceful mangrove ecosystem, located in the southern zone of Guatemala. In order to determine the correct spectral value, the results obtained by CLASlite were contrasted with high resolution photogrammetric models built using the unmanned aerial vehicle Phantom 3 Advanced, which has advanced semi-automatic GPS flight technology and an optical sensor. high resolution, the objective of the photogrammetric models was the visual validation of the records of forest degradation obtained by CLASlite, which gave an excellent response to the activities identified, obtaining a general accuracy of 95%, a confidence interval of 97% and a total uncertainty of 2%.

3. Introducción

La degradación forestal de los manglares en Guatemala es un tema que aún no ha sido investigado, entidades públicas como el instituto nacional de bosques (Inab), el consejo nacional de áreas protegidas (Conap) y el ministerio público han realizado algunos esfuerzos en conjunto para obtener algunos datos como el registro de aserraderos, extracciones legales e ilegales y detección de ilícitos. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos el país aún no cuenta con una metodología que permita identificar este tipo de actividades.

Un primer esfuerzo realizado en medir la degradación forestal en Guatemala inició a través del proyecto de reducción de emisiones de carbono REDD+, donde se inició por evaluar la capacidad del software CLASlite, pero solamente con datos geoespaciales sin validación de campo y para datos de la década de 200-2010. Por esta razón, se propone la realización de esta investigación con el fin de poder identificar actividades de degradación forestal que ocurren en el ecosistema de manglar pacífico a través del uso de sensores remotos y vehículos aéreos no tripulados, aprovechando que el ecosistema se ha visto amenazado por muchos años en el país por la calidad de su madera, el crecimiento poblacional, frontera agrícola y el narcotráfico.

Por tanto, se espera que esta investigación realizada gracias a los fondos de la dirección general de investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala contribuya como un primer esfuerzo al establecimiento de un sistema de monitoreo del ecosistema de manglar pacífico; primero demostrando la efectividad del uso de herramientas libres como las imágenes del sensor remoto Landsat 8 OLI/TIRS y el software CLASlite y segundo motivando a la comunidad científica a hacer uso de los vehículos aéreos no tripulados Phantom 3 Advanced, los cuales pueden ser utilizados de manera potencial y efectiva al momento de realizar toma de datos de campo.

4. Marco teórico y estado del arte

4.1 Cobertura forestal

Como antecedentes, en materia de la cobertura forestal de Guatemala, se realiza un primer esfuerzo en el año 1988 como iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), por medio de la oficina del plan de acción forestal para Guatemala (PAFG).

En 1999 el Instituto Nacional de Bosque (Inab), inició un segundo esfuerzo por delinear no sólo las áreas con bosques sino lo que se llamó asociaciones, es decir áreas con fragmentos de bosque intercalados con otros usos del suelo. Paralelamente, el Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación (Maga) generó un mapa de uso de la tierra, que incluía una capa de cobertura forestal, distinta a la capa reportada por Inab (Inab, Conap, Uvg, & URL, 2012).

En el año 2000 la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), inició un estudio de la dinámica forestal de varias municipalidades de Guatemala en apoyo a una investigación iniciada por la universidad de Indiana en Estados Unidos. Dicho estudio evolucionó en el mapa nacional de cobertura forestal 2001, siendo este el tercer esfuerzo de mapeo forestal a nivel nacional (Inab, Conap, Uvg, & URL, 2012).

El cuarto esfuerzo fue una continuación del anterior, generando un mapa de la dinámica de la cobertura forestal de Guatemala durante los años 1991, 1996 y 2001, el cual incluyó una revisión al mapa de cobertura forestal 2001.

La cobertura y dinámica forestal a nivel nacional para la República de Guatemala, ha sido objeto de estudio por un equipo interinstitucional que incluye entidades del estado y de la academia desde el año 2001. En dicho año la universidad del Valle de Guatemala junto al consejo nacional de áreas protegidas y el instituto nacional de bosques realizaron esfuerzos

conjuntos para implementar un sistema de mapeo de la dinámica de la cobertura forestal de Guatemala. Como resultado de tal esfuerzo, se publicó con el apoyo del ministerio de agricultura, ganadería y alimentación el mapa de la cobertura forestal 2001, a inicios del año 2004. En el año 2006 se publicó el estudio de la dinámica forestal de Guatemala 1991-2001. Desde el año 2007, a solicitud del Conap, se iniciaron los esfuerzos para actualizar el mapeo de la cobertura forestal para el año 2006 y dinámica forestal 2001-2006. A este esfuerzo de actualización se sumaron la universidad Rafael Landívar a través del instituto de agricultura, recursos naturales y ambiente (URL-Iarna) y el ministerio de ambiente y recursos naturales, y los resultados fueron publicados en mayo de 2011 (Inab, Conap, Uvg, & URL, 2012).

Posteriormente, a partir del año 2006, se iniciaron negociaciones para dar inicio al quinto proyecto de este tipo. Dichas negociaciones, por aspectos principalmente administrativos, demorarían el proceso por al menos tres años. Adicionalmente, los limitados recursos financieros obtenidos hicieron que el proyecto se prolongase hasta el año 2011.

La cobertura forestal en el año 2010 para Guatemala fue estimada en 3, 722,595 hectáreas, equivalente a un 34% del territorio nacional. El valor de la cobertura forestal para el año 2006, publicado en mayo de 2011, fue revisado y se obtuvo uno nuevo estimado de 3, 868,708 ha. Estos valores representan una pérdida neta de 146,112 ha de bosque, equivalentes a una tasa neta de deforestación del -1.0 % anual a nivel nacional (con respecto al total de bosque existente en 2006). Los resultados muestran que la tasa neta de deforestación nacional continúa reduciéndose con respecto a los estudios anteriores (-1.43 % en mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006-2010 y 1991-2001 y -1.16% en 2001-2006) lo cual responde a incrementos sustanciales en áreas con ganancia de cobertura forestal. Sin embargo, la deforestación bruta continúa incrementándose, alcanzando un área de 132,137 hectáreas anuales para el período analizado (Inab, Conap, Uvg, & URL, 2012).

El 52.0 % de la cobertura forestal nacional se ubica dentro del sistema guatemalteco de áreas protegidas (Sigap), y éste a su vez cubre una tercera parte del territorio nacional. El restante 48.0% de la cobertura forestal se distribuye, de manera fragmentada, en las otras dos terceras partes del país. Ante esta concentración de cobertura forestal dentro de áreas protegidas, por cada cuatro hectáreas de pérdida en el período 2006-2010, tres de ellas ocurrieron dentro del Sigap y una fuera del mismo (Inab, Conap, Uvg, & URL, 2012).

El mapa nacional de cobertura forestal 2010 y de dinámica forestal 2006-2010 cuenta con un grado de precisión del 91%, según la evaluación de la misma a cargo de un equipo externo. Para el mapeo de zonas no forestales, o uso de la tierra, el Maga ha coordinado y realizado los esfuerzos en el país. El último mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra generado fue en el año 2003. Éste fue actualizado para el año 2005 (no publicado oficialmente), y actualmente, el Maga publicó el mapa de uso de la tierra, 2010. El mapa 2003 y actualización al 2005 fueron generados también a partir de imágenes Landsat, y el mapa 2010 tuvo como fuente de información geográfica primaria imágenes del satélite Aster, con una resolución de pixel de 15m x 15m. Estos esfuerzos de mapeo han sido coordinados por el Maga. Para el mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra 2010, a cargo de Maga, la metodología de mapeo es distinta a la utilizada para los mapas de cobertura forestal 2001-2006-2010, entre otros factores, por la alta cantidad de categorías a ser mapeada y la diferencia en unidad mínima

de mapeo. Hay que mencionar que tanto los mapas generados por el grupo de mapeo forestal como los generados por Maga, cuentan con una escala cartográfica de 1: 50,000. El nuevo mapa Cobusot, 2012 tiene una escala de 1: 25,000. Es así como el resultado del séptimo esfuerzo a nivel nacional por generar un mapa de cobertura forestal basado en la interpretación de imágenes satelitales de alta resolución como las RapidEye (RE) de 5m (Catalán, 2014).

4.2 El ecosistema de manglar pacífico

Los ecosistemas de manglar al estar conformados por una gran variedad de especies, con importancia económica, social y ecológica al constituirse en elementos esenciales para el desarrollo de los ciclos reproductivos de especies marinas de relevancia económica para el sector pesquero; constituyen barreras naturales que regulan los procesos de erosión y sedimentación en las áreas marino costeras; evitan la salinización de los suelos, regulan los procesos hidrológicos y mantienen la calidad del agua, constituyen un importante refugio de vida silvestre, amortiguan el efecto de los huracanes y ofrecen atractivos para una serie de bienes y servicios de diferente índole, que son la base para la subsistencia de asentamientos humanos ubicados en las zonas costeras.

Definimos manglar como un ecosistema costero compuesto por una comunidad de plantas siempre verde, formada por árboles y/o arbustos halófitos, distribuidos en esteros, lagunas costeras y desembocaduras de ríos. Por lo general dichos hábitats se encuentran en zonas donde la influencia de la marea inunda los suelos fangosos de forma periódica (Jiménez, 1994).

El mangle se encuentra conformado por especies vegetales, típicamente arbóreas, halófilas facultativas. Presentan adaptaciones fisiológicas estructurales que les permiten adaptarse a un sistema dinámico, estable y sujeto al efecto de las mareas. En nuestro país los géneros más representativos son: *Rhizophora*, *Laguncularia*, *Avicennia* y *Conocarpus* (Instituto Nacional de Bosques, 1998).

4.3 Monitoreo forestal

El monitoreo forestal tiene como finalidad recopilar información sobre los recursos forestales para la toma de decisiones políticas y el desarrollo de estrategias, programas y acciones para el manejo forestal sostenible. Dentro del contexto nacional se ha definido que el monitoreo forestal debe desarrollarse de tal forma que sea medible, reportable y verificable -MRV-. Los sistemas de monitoreo forestal también deben tener un enfoque multipropósito, es decir que debe considerar en la medida de lo posible la medición de co-beneficios y salvaguardas como biodiversidad y gobernanza. Para la implementación de un sistema de monitoreo forestal se han definido los siguientes pasos que orientan la planificación y ejecución. Estos pasos se basan en la experiencia del centro de aplicaciones del inventario nacional y monitoreo (Nimac) del servicio forestal de Estados Unidos (Usfs) y la organización de naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), también se han obtenido contribuciones de “The Nature Conservancy” y “Nature Serve” y del programa REDD/CCAD-GIZ.

4.4 Degradación forestal

Para Guatemala la degradación forestal no se encuentra definida, sin embargo, en un esfuerzo reciente se ha elaborado una definición de la degradación forestal en el marco de la estrategia nacional REDD+, a saber: “En el marco de la Estrategia Nacional REDD+ de Guatemala, la degradación forestal es el proceso de reducción (significativa) de las existencias de carbono en los bosques, provocada por actividades antropogénicas no sostenibles; que sea medible, cuantificable y verificable.”

4.5 Vehículos aéreos no tripulados

Un vehículo aéreo no tripulado Vant, es una aeronave que vuela sin tripulación. Aunque hay Vant de uso civil, también son usados en aplicaciones militares, donde son denominados vehículo aéreo de combate no tripulado -Ucav por su nombre en inglés- (Alcalá, 2014).

Con el fin de distinguir los Vant de los misiles, un Vant se define como un vehículo sin tripulación reutilizable, capaz de mantener un nivel de vuelo controlado y sostenido, y propulsado por un motor de explosión o de reacción. Por tanto, los misiles de crucero no son considerados Vant porque, como la mayoría de los misiles, el propio vehículo es un arma que no se puede reutilizar, a pesar de que también es no tripulado y en algunos casos guiado remotamente (Alcalá, 2014).

Hay una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características en el diseño de los Vant. Históricamente los Vant eran simplemente aviones pilotados remotamente (en español: drones), pero cada vez más se está empleando el control autónomo de los Vant. En este sentido se han creado dos variantes: algunos son controlados desde una ubicación remota, y otros vuelan de forma autónoma sobre la base de planes de vuelo preprogramados usando sistemas más complejos de automatización dinámica. Cabe destacar que las aeronaves controladas remotamente en realidad no califican para ser llamadas como Vant, ya que los vehículos aéreos pilotados remotamente (o por control remoto) se conocen como aeronaves radio controladas o aeronaves R/C; esto debido a que, precisamente, los Vant son también sistemas autónomos que pueden operar sin intervención humana alguna durante su funcionamiento en la misión a la que se haya encomendado, es decir, pueden despegar, volar y aterrizar automáticamente (Alcalá, 2014).

Actualmente, los VANT militares realizan tanto misiones de reconocimiento como de ataque. Si bien se ha informado de muchos ataques de drones con éxito, también son susceptibles de provocar daños colaterales y/o identificar objetivos erróneos, como con otros tipos de arma. Los VANT también son utilizados en un pequeño pero creciente número de aplicaciones civiles, como en labores de lucha contra incendios o seguridad civil, como la vigilancia de los oleoductos. Los vehículos aéreos no tripulados suelen ser preferidos para misiones que son demasiado "aburridas, sucias o peligrosas" para los aviones tripulados (Alcalá, 2014).

4.6 Los VANT Phantom 3

El Phantom 3 representa la nueva generación de cuadricópteros de la casa comercial DJI. Es capaz de capturar fotografías y transmitir señal de video en alta definición. La cámara integrada tiene un estabilizador para maximizar la estabilidad, que minimiza tanto el peso

como el tamaño. Incluso cuando no hay señal de GPS disponible, el Sistema de Posicionamiento de Visión permite al dron planear de manera precisa en el lugar (DJI, 2015).

5. Materiales y método

Consiste en la combinación de diferentes herramientas geomáticas, siendo estas en primer lugar las imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto Landsat 8 OLI/TIRS, correspondientes al primer semestre del año con una temporalidad de 16 días y una resolución espacial de 30 x 30 metros. Estas imágenes se obtuvieron de forma gratuita del servidor en línea: <https://glovis.usgs.gov/>. Las imágenes fueron procesadas dentro de la interfaz del software CLASlite, el cual realiza diferentes análisis estadísticos sobre los valores espectrales de los píxeles, obteniendo como resultado final la identificación de cambios en la estructura forestal causada por actividades de degradación y deforestación.

Teniendo a disposición los diferentes resultados de CLASlite sobre actividades de degradación se procedió a realizar diferentes pruebas de vuelo con el vehículo aéreo no tripulado Phantom 3 Advanced, con el fin de poder representar las parcelas de estudio en modelos tridimensionales de alta resolución en los que pueda identificarse visualmente las diferentes actividades de degradación forestal, sirviendo como herramienta de validación (Fig. 2).

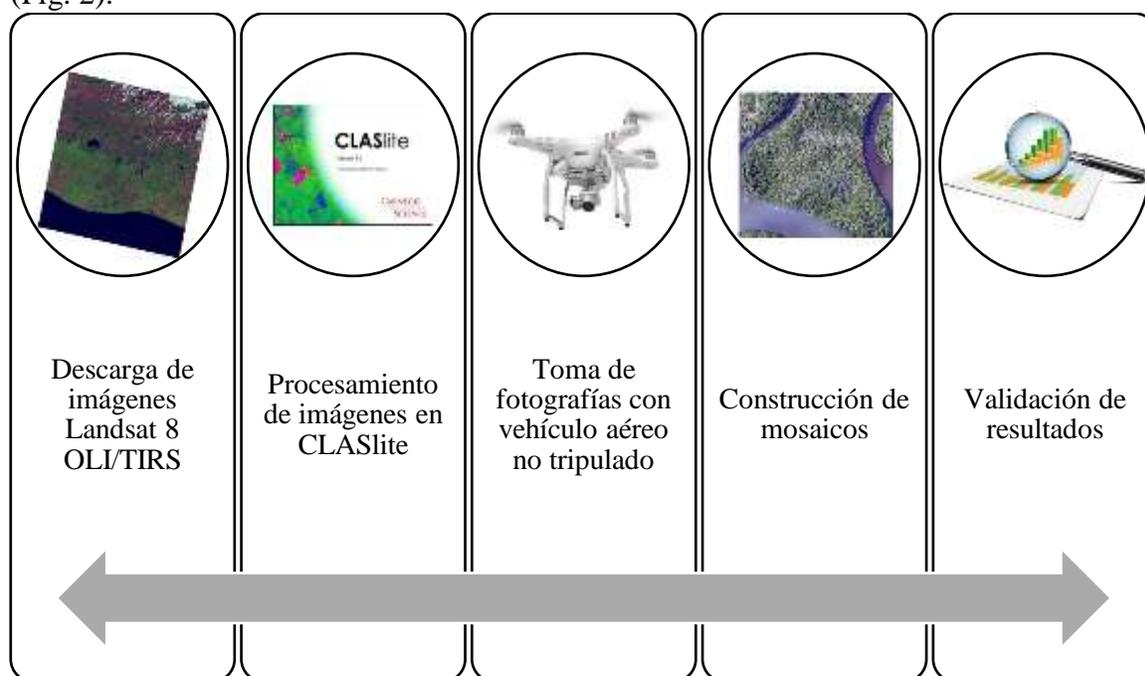


Figura 1. Proceso metodológico

5.1 Delimitación de área de estudio

El área de estudio utilizada para esta investigación comprendió la cobertura forestal del ecosistema de manglar, ubicada en la costa sur de Guatemala. La cobertura forestal del ecosistema de manglar fue actualizada al año 2017, tomando como base la cobertura forestal del año 2012 elaborada con el sensor RapidEye (Catalán, 2014), la actualización fue

elaborada a partir de imágenes del sensor Landsat 8 OLI/TIRS realizando un análisis de cobertura forestal con imágenes satelitales del año 2017 en un periodo de diciembre de 2016 a marzo de 2017 procesado en el software CLASlite y revisada visualmente con imágenes satelitales del servidor de mapas Google Earth de los años 2016 y 2017 (Fig.1). La cobertura del ecosistema de manglar utilizada para esta investigación comprende un total 22,340.10 ha. en los departamentos de Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu y San Marcos.

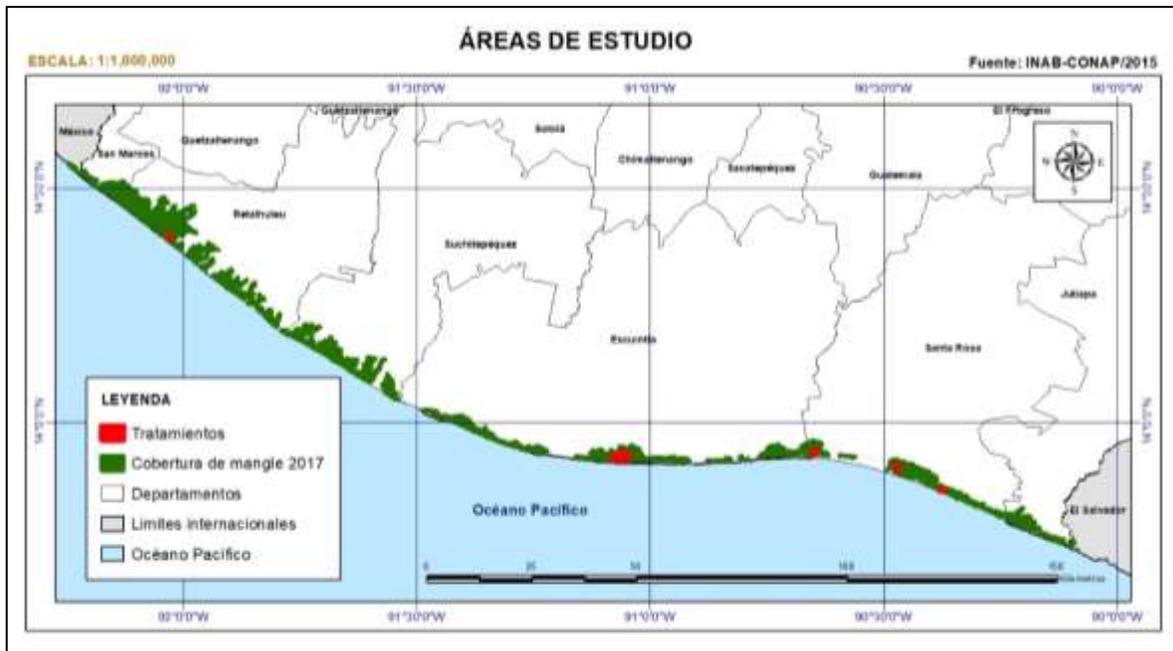


Figura 2. Ubicación geográfica de los tratamientos utilizados en la investigación (rojo), Cobertura del ecosistema manglar actualizada al año 2017 (Verde). La representación real de ambos fue alterada en esta imagen con fines de visualización y comprensión.

5.2 Descarga de imágenes Landsat 8 OLI/TIRS

Landsat 8 es un satélite de observación terrestre estadounidense lanzado el 11 de febrero de 2013. Es el octavo y más reciente satélite del proyecto Landsat operado por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) desde 1,972. (Department of the interior U.S. Geological Survey, 2016)

El satélite Landsat 8 transporta dos instrumentos OLI y TIRS, que corresponden a las siglas en inglés para Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS). El sensor OLI provee acceso a nueve bandas espectrales que cubren el espectro desde los 0.433 μm a los 1.390 μm , mientras que TIRS registra de 10.30 μm a 12.50 μm . (Department of the interior U.S. Geological Survey, 2016)

Los productos de nivel 1 (Level 1) del satélite Landsat 8 son accesibles aproximadamente 24 horas después de su adquisición sin ningún costo. Esta información es corregida en tierra y suministrada en escenas de aproximadamente 190 km de ancho y 180 km de alto. El satélite completa su órbita de 705 km de altura cada 99 minutos, y revisita un mismo punto sobre a

superficie de la tierra cada 16 días con un desfase de 8 días con respecto al satélite Landsat 7, del mismo proyecto. Bajo estas condiciones el satélite adquiere cerca de 650 imágenes diariamente. (Department of the interior U.S. Geological Survey, 2016)

Una escena de nivel 1 está compuesta por 13 archivos: 11 archivos en GeoTIFF correspondientes a cada una de las 11 bandas registradas, un archivo con metadatos (MTL) y uno más con una evaluación de la calidad de la escena (QA). Los dos sensores transportados por el satélite completan 11 bandas espectrales como se muestra en la tabla 1.

Banda	Nombre	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
1	Costera - Aerosoles	0.435 - 0.451	30
2	Azul	0.452 - 0.512	30
3	Verde	0.533 - 0.590	30
4	Rojo	0.636 - 0.673	30
5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.851 - 0.879	30
6	Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1)	1.566 - 1.651	30
10	(TIR 1)	10.60 - 11.19	100
11	(TIR 2)	11.50 - 12.51	100
7	Infrarrojo de onda corta 2 (SWIR 2)	2.107 - 2.294	30
8	Pancromática	0.503 - 0.676	15
9	Cirrus	1.363 - 1.384	30

Tabla 1. Composición de bandas Landsat 8.

5.3 Procesamiento de imágenes en CLASlite

CLASlite es el resultado de más de una década de investigación en la obtención de data biofísica con sensores remotos y trabajo de campo que provee un enfoque de mapeo satelital automatizado para determinar uno de los componentes más importantes de la estructura del bosque tropical: la cobertura fraccional del dosel de vegetación, la vegetación muerta y las superficies descubiertas. Estas coberturas fraccionales son determinantes centrales de la composición, fisiología, estructura, biomasa y procesos biogeoquímicos del ecosistema. El análisis de la cobertura fraccional es la esencia de CLASlite, haciendo de este programa una herramienta poderosa, estable, basada en información biofísica que permite el monitoreo de bosques de forma rápida con posibilidad de hacerle seguimiento al error generado (Carnegie Institution for Science, 2013).

El Sistema de Procesamiento CLASlite incorpora: la calibración radiométrica y corrección atmosférica de la data satelital; descomposición de los píxeles de la imagen en cobertura fraccional de sub-píxel del dosel del bosque en pie, vegetación muerta o senescente y superficie descubierta; enmascaramiento de nubes y cuerpos de agua; y clasificación de las imágenes en boscosas/no boscosas, deforestación y perturbación forestal. El procedimiento metodológico realizado por CLASlite puede visualizarse en la figura 3 (Department of the interior U.S. Geological Survey, 2016).

Las fuentes de imágenes que soporta: Landsat 4 y 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), Earth Observing-1 Advanced Land Imager (ALI), Satellite pour l'Observation de la Terre 4 (20 m color) y 5 (10 m color) (SPOT), y Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS). Junto con las imágenes brutas, se requiere la información de la ubicación geográfica, y la configuración básica de los sensores, que se encuentran almacenadas en la metadata de la imagen (Department of the interior U.S. Geological Survey, 2016).

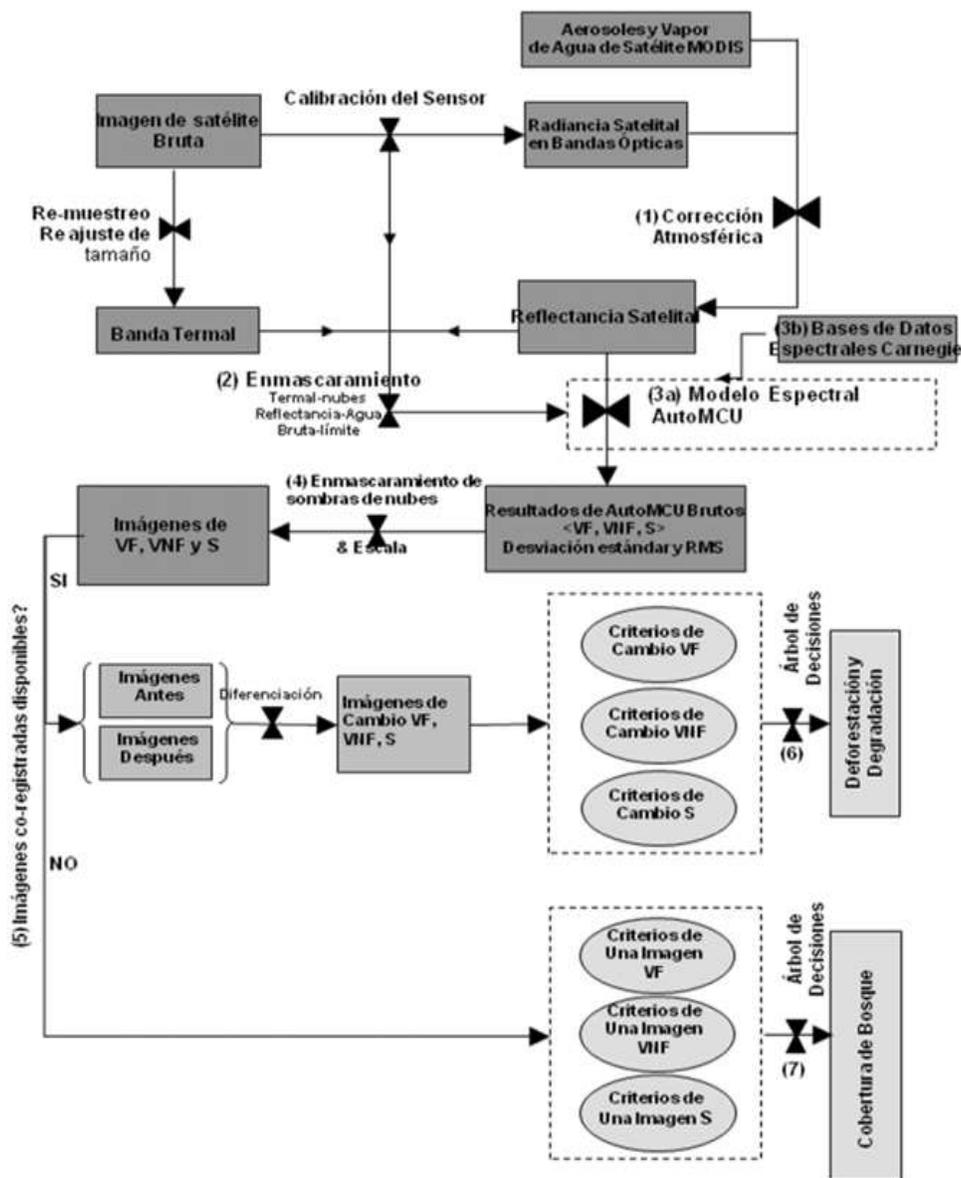


Figura 3. Proceso metodológico realizado en CLASlite

5.4 Toma de fotografías con vehículo aéreo no tripulado

La obtención de los modelos fotogramétricos se realizó a través de los vehículos aéreos no tripulados Phantom 3 Advanced, los cuales disponen de procesos semi autónomos a través de las tecnologías implementadas como el GPS de doble frecuencia y los sensores de radar. La realización de los vuelos se hizo de forma autónoma indicando al vehículo la línea de vuelo, los parámetros de altura, traslape y velocidad con que debía tomar las fotografías, la figura 4 representa la realización de un vuelo automatizado.

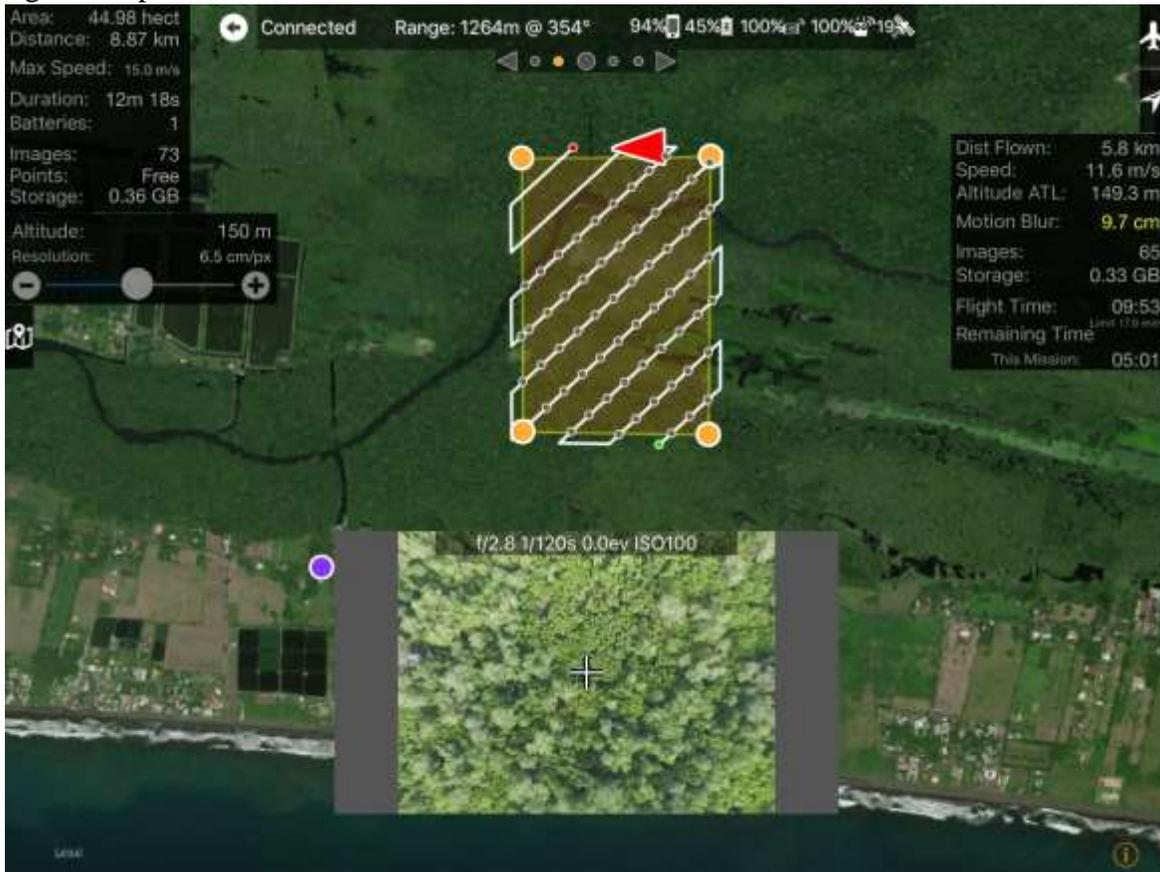


Figura 4. Diseño de un plan de vuelo automatizado para el vehículo aéreo no tripulado Phantom 3 Advanced.

5.5 Construcción de mosaicos

Esta consiste en realizar una unión de todas las fotografías que componen el área de estudio, por principios de fotogrametría la diferencia de ángulos y sombras en los objetos terrestres pueden representar un mosaico fotográfico en tercera dimensión obteniendo no solo una fotografía de alta resolución si no un modelo digital de superficie de la parcela muestreada, para fines de esta investigación únicamente se hace uso de los modelos visuales. En la figura 5 puede apreciarse la calidad del mosaico fotográfico con que fueron evaluados los resultados obtenidos por el CLASlite.



Figura 5. Calidad espacial de los mosaicos obtenidos con el vehículo aéreo no tripulado Phantom 3 Advanced. El tamaño de unidad mínima de los mosaicos tiene un promedio de aproximadamente 9 centímetros.

5.6 Validación de resultados

La validación de los resultados se realizó a través de las matrices de confusión (Olofsson, y otros, 2014), que consiste en calcular dos tipos de errores para cada clase, el error de comisión que es el error tipo A y el error de omisión que el error tipo B, para poder determinar la precisión e incertidumbre de los resultados obtenidos por CLASlite.

6. Resultados y discusión

El procesamiento de los datos utilizados para esta investigación se realizó dentro de una plataforma geoespacial, con el fin de poder comparar geográficamente los resultados obtenidos, en algunos casos fue necesario realizar un ajuste espacial de los resultados, esto con el fin de poder comparar correctamente la información de gabinete con la información obtenida en campo.

CLASlite, como una herramienta de procesamiento de imágenes satelitales genera dentro de su análisis una imagen de cobertura fraccional la cual se compone de tres bandas que indican la presencia de vegetación fotosintética o viva (PV), vegetación no fotosintética o muerta (NPV), y superficie descubierta (S). Es la combinación de esta imagen fraccional con los valores espectrales analizados en una serie de tiempo lo que permite identificar la degradación forestal. La figura 6 es un claro ejemplo del resultado obtenido de degradación forestal.

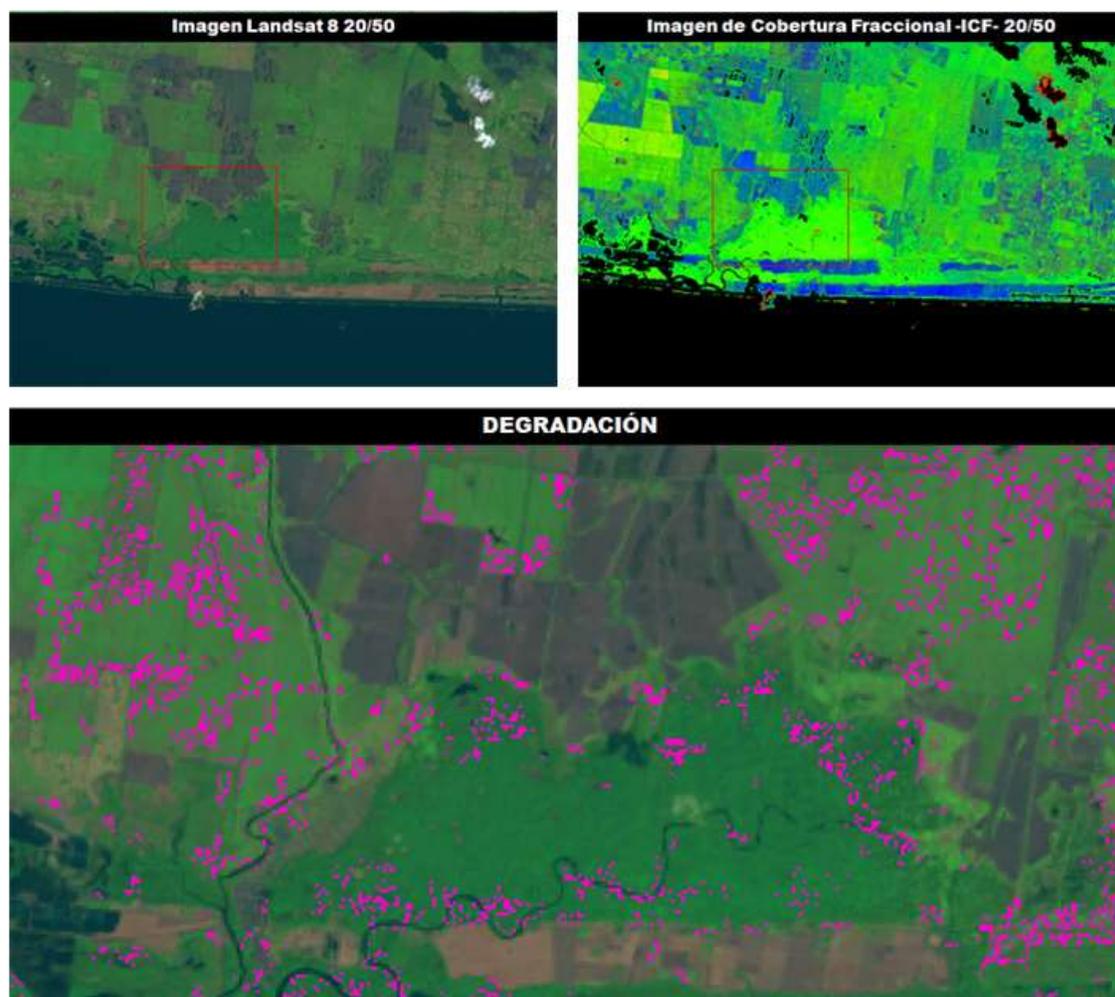


Figura 6. Ejemplo de un resultado obtenido del procesamiento de degradación forestal en el software CLASlite.

Para verificar que el resultado de CLASlite es ventajoso se procedió a realizar la visita de campo de las parcelas (tabla 2). El objetivo de esta visita era evaluar al mismo tiempo las

capacidades de vuelo del vehículo aéreo no tripulado Phantom 3 Advanced, con el fin de poder obtener modelos fotogramétricos correctos, que permitieran comparar los resultados de degradación forestal

Sitio de muestreo	Área (ha)	X	Y
Hawaii	61.44	-90.3756	13.8562
Iztapa	81.13	-90.6491	13.9351
Monterrico	75.95	-90.4707	13.9015
Paredón Buena Vista	322.01	-91.0652	13.9246
Manchón Guamuchal	50.41	-92.0310	14.3948

Tabla 2. Sitios de muestreo de resultados obtenidos por CLASlite, el total de área muestreada fue de 590.94 hectáreas.

Los modelos aéreos obtenidos con el vehículo aéreo no tripulado permitieron levantar información en 590.94 hectáreas del ecosistema de manglar pacífico. Estos modelos fueron utilizados para realizar la validación de los resultados, lo cual consiste en contrastar la información dentro de una plataforma sig verificando de manera binaria la existencia de degradación (1) y la no existencia de degradación (0). En total fueron evaluadas 1,046 muestras, de las cuales 995 coincidieron con degradación y 51 como no degradación, sin embargo, es importante mencionar que, en su mayor parte, los 51 datos negativos estaban fuera de cobertura de manglar por lo que gran parte de esta cifra se encuentra estrechamente ligado a los errores de clasificación previos.

La precisión e incertidumbre (Olofsson, y otros, 2014) realizada para este análisis obtuvo un error de comisión de 4.88% y un error de omisión del 0%, obteniendo una precisión general del 95% con un intervalo de confianza del 97% y una incertidumbre total del 2%. Estos resultados indican que el uso del vehículo aéreo no tripulado a través de su cámara de alta resolución y su sistema semi-autónomo por GPS ayuda identificar de forma precisa las zonas en la que ha ocurrido cambios de estructura forestal por degradación obtenidos por CLASlite. A pesar de los resultados obtenidos en la validación CLASlite, se realizó un análisis de las respuestas en base a los valores diferenciales de cada uno de los cambios de NPV, PV y S, con el fin de poder identificar el valor espectral al que responde la degradación forestal en el ecosistema de manglar pacífico de Guatemala, es importante recalcar que la investigación toma en cuenta todo tipo de degradación forestal, lo que incluye actividades de extracción legal e ilegal, degradación por fenómenos naturales, consumos familiares, narcotráfico, entre otros.

En total fueron analizados 7 periodos de tiempo que comprenden del 12 de diciembre de 2016 al 19 de abril de 2017, con una diferencia de 16 días entre cada cambio analizado por el software CLASlite, obteniendo un total de 30,798 pixeles (tabla 3), validando la totalidad de los pixeles ubicados dentro de los tratamientos de campo; coincidiendo estos con los periodos de mayores frecuencias, como el cambio 1, 2, 4 y 6.

Cambio	Período analizado dd/mm/aaaa	Número de pixeles degradados - CLASlite-	Número de muestras	Muestras positivas	Muestras negativas
1	12/12/2016 - 28/12/2016	2,659	78	74	4
2	28/12/2016 - 13/01/2017	10,094	432	424	8
3	13/01/2017 - 29/01/2017	3	0	0	0
4	29/01/2017 - 14/02/2017	11,155	325	293	32
5	14/02/2017 - 02/03/2017	189	0	0	0
6	02/03/2017 - 03/04/2017	6,639	211	204	7
7	03/04/2017 - 19/04/2017	59	0	0	0
Totales		30,798	1,046	995	51

Tabla 3. Detalle del número de muestras obtenidas por cambio y el periodo de tiempo que comprenden.

Tomando en cuenta la tabla 3, se procedió a analizar por individual cada muestra de los cambios 1, 2, 4 y 6, realizando un análisis de los promedios diferenciales de los valores espectrales NPV, PV y S, con el fin de poder analizar las tendencias de las muestras negativas y positivas por individual (tabla 4). Nótese que los promedios diferenciales totales coinciden considerablemente a los promedios diferenciales positivos, dando lugar a una mayor certeza a los valores de degradación obtenidos por CLASlite que son correctos y se encuentran estrechamente apegados al 95% de precisión obtenida y el 2% de incertidumbre.

Cambio	Promedio diferencial total			Promedio diferencial Positivo			Promedio diferencial Negativo		
	NPV	PV	S	NPV	PV	S	NPV	PV	S
1	-14.667	0.128	0.090	-14.351	0.135	0.068	-20.500	0.000	0.500
2	-14.676	0.313	0.023	-14.708	0.226	0.021	-13.000	4.875	0.125
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	-14.797	3.049	0.329	-14.686	2.474	-0.085	-15.813	8.313	4.125
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	-18.431	8.213	2.095	-18.397	8.083	1.843	-19.429	12.000	9.429
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Promedio	-15.643	2.926	0.634	-15.535	2.730	0.462	-17.185	6.297	3.545

Tabla 4. Promedio diferencial de los valores espectrales NPV, PV y S obtenidos por el total de muestras validadas, incluyendo valores positivos y negativos.

Por último, se analizó la totalidad de las muestras, identificando los valores diferenciales de NPV, PV y S con mayores frecuencias para los cambios 1, 2, 4 y 6, las gráficas 1, 2 y 3, ilustran el compartimiento de los resultados obtenidos por CLASlite.

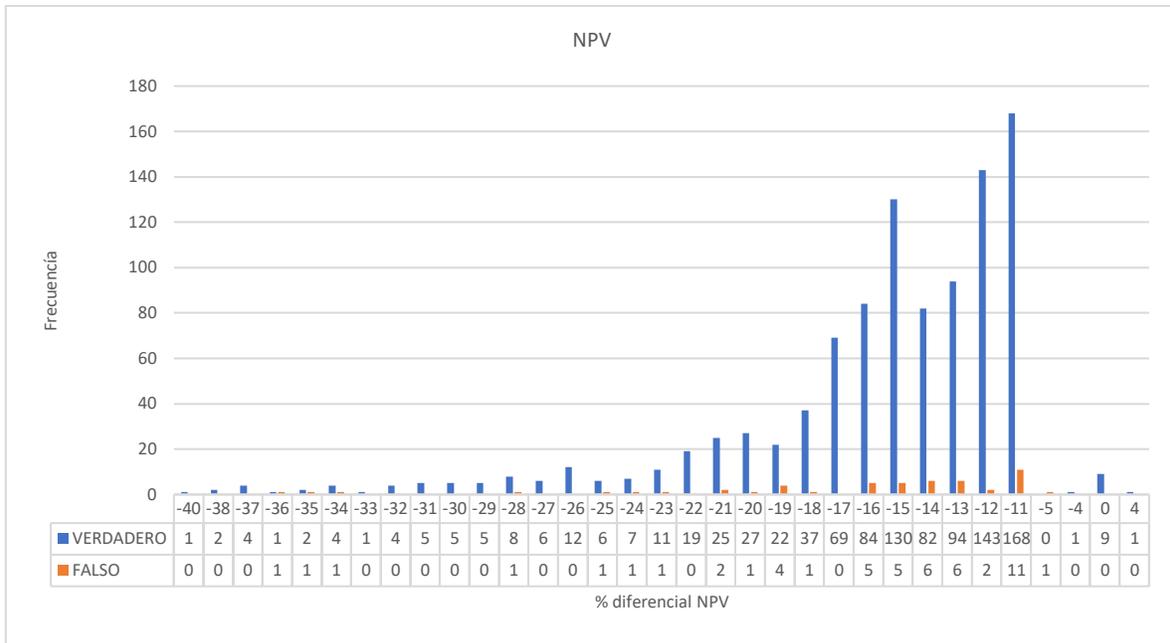


Figura 7: Distribución de la frecuencia acumulada de los resultados obtenidos por CLASlite para el dato NPV.

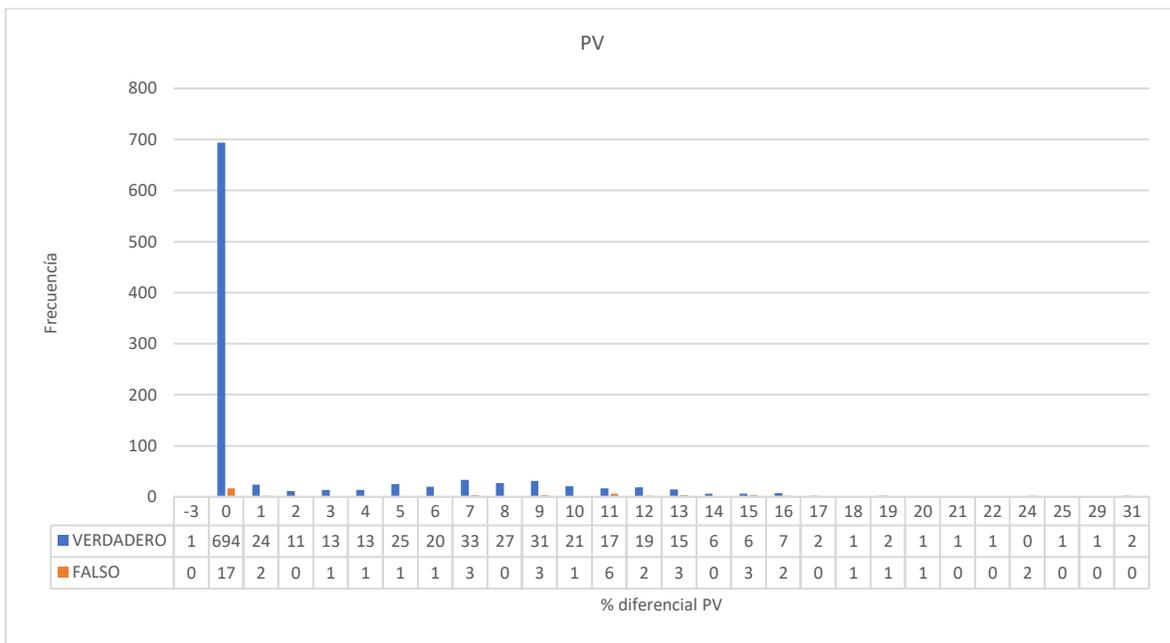


Figura 8: Distribución de la frecuencia acumulada de los resultados obtenidos por CLASlite para el dato PV.

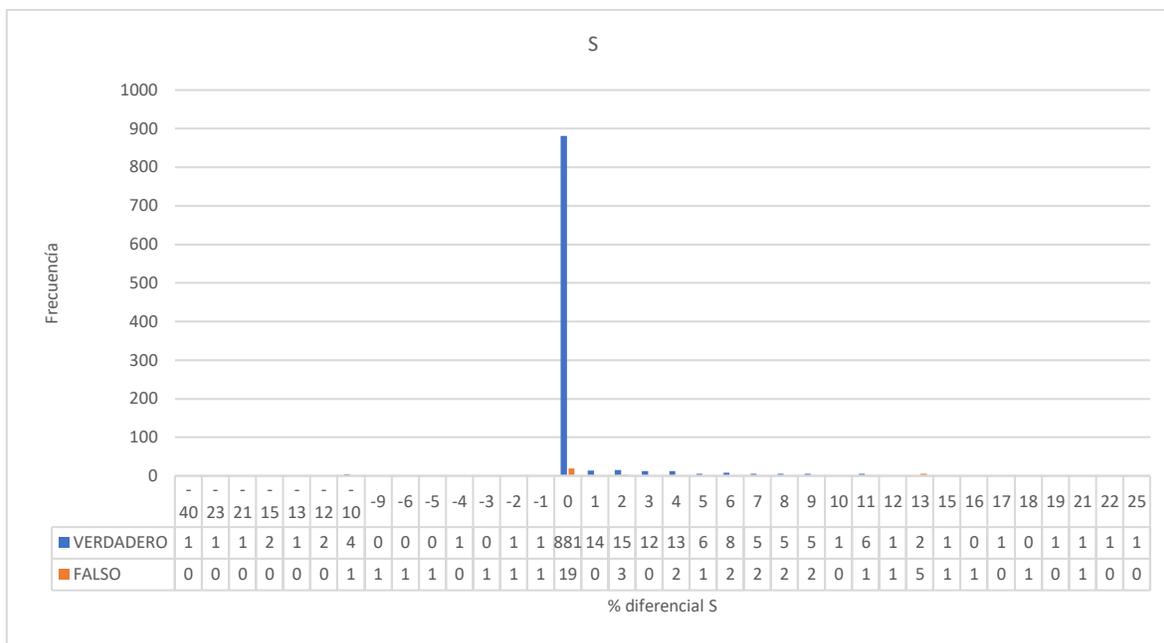


Figura 9: Distribución de la frecuencia acumulada de los resultados obtenidos por CLASlite para el dato S.

La validación de los rangos mostrados en la tabla 5 fueron obtenidos mediante el trabajo de campo y gabinete realizado a través de todo el proyecto de investigación, combinando el uso del vehículo aéreo no tripulado Phantom 3 Advanced, los sensores remotos Landsat 8 OLI/TIRS y el software CLASlite los cuales permitieron cubrir un total de 590.94 hectáreas de la cobertura forestal del ecosistema de manglar pacifico

Dato	≤ 0	≥ 0
NPV	-32	-11
PV	-3	15
S	0	11

Tabla 5. Rango de datos para identificar degradación forestal en el ecosistema de manglar pacifico de Guatemala

Se estima que los rangos aquí mostrados cumplen con el fin de asegurar una mejor identificación de degradación forestal, descartando de manera más efectiva todos aquellos positivos falsos que se obtienen del algoritmo de cambio del software CLASlite

6.1 Matriz de resultados

Objetivo específico	Resultado esperado	Resultado Obtenido
Definir cuál es el valor espectral dentro de la cobertura del ecosistema de mangle que permite identificar la degradación forestal a través del sensor remoto Landsat.	Identificar el valor espectral Landsat de degradación forestal en el ecosistema de manglar pacifico	NPV= -32,-11,0 PV= -3,0,15 S= 0,11

Fortalecer la identificación de degradación forestal en el ecosistema de manglar con la toma de fotografías de alta resolución con el Vant Phantom 3 Advanced.	Poder visualizar los vacíos dentro del ecosistema de manglar pacifico a partir de fotografías tomadas con el Vant Phantom 3 Advanced	590.94 hectáreas tomados con el Vant con una resolución espacial de 10 cm
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------

6.2 Impacto esperado

Se espera que los resultados obtenidos puedan ser de utilidad para las instituciones encargadas del monitoreo forestal nacional siendo estas Inab, Conap, Maga y Marn bajo los siguientes lineamientos:

- Tomar en cuenta esta investigación y los resultados obtenidos por CLASlite con el fin de poder replicar el estudio en otros tipos de bosque validando su uso y contribuyendo a establecer un mejor sistema monitoreo forestal en todo el país.
- Utilizar estos resultados y empezar a hacer uso de esta metodología evaluando la capacidad de respuesta y aplicación de la misma, tomando en cuenta los valores que garantizan cambios en la estructura forestal del mangle, pudiendo validar en campo si se trata de una degradación natural, legal e ilegal.
- Hacer uso de los vehículos aéreos y mejorar las capacidades dentro de las instituciones de gobierno y privadas, garantizando una mejor colecta de datos en Guatemala que permita a la academia poder establecer en un futuro un sistema de monitoreo nacional a través del uso de estas tecnologías que demostraron ser de uso y aplicación práctica.

7. Conclusiones

- El uso de nuevas tecnologías como los sensores remotos Landsat OLI/TIRS y los vehículos aéreos no tripulados Phantom 3 Advanced, son una potente herramienta dentro del ámbito de la investigación forestal; una ventaja se obtiene a partir de los costos de las herramientas, las cuales son de acceso libre a excepción del dron, el cual tiene un valor asequible que puede ser utilizado efectivamente como una herramienta de monitoreo de alta resolución, demostrando en esta investigación que la combinación de herramientas geomáticas pueden agilizar la toma de datos de campo y el procesamiento de datos de gabinete obteniendo una precisión del 95% y una incertidumbre de 2% en los resultados obtenidos por actividades de degradación forestal que ocurren dentro del ecosistema de manglar pacífico garantizando así el mantenimiento y conservación de la biodiversidad de este importante ecosistema.
- Los valores obtenidos por el software CLASlite PV, NPV y S, permiten a través de un análisis multitemporal identificar cambios en la estructura forestal, del total de 1,046 muestras tomadas para validar los resultados dentro de 590.94 hectáreas del ecosistema de manglar pacífico 995 fueron validadas como positivas y 51 como falsos, algunos de estos errores falsos se encuentran estrechamente ligados a errores encontrados en la máscara de cobertura de mangle del año 2012, dando lugar a concluir que las diferencias de cambio que identifican actividades de degradación forestal se encuentran comprendidas dentro de: NPV (-32% a 0%), PV (-3% a 15%) y S (0% a 11%), la combinación de estas diferencias multitemporales tienen un intervalo de confianza de 97% en sus resultados.
- El vehículo aéreo no tripulado Phantom 3 Advanced, demostró ser una herramienta práctica y fácil de utilizar durante la obtención de datos de campo, su sistema semi autónomo controlado por un GPS de doble frecuencia y un sensor de radar ubicado en la parte inferior del vehículo permiten una estabilidad y precisión útil para esta investigación; con los parámetros adecuados puede cubrirse un promedio de hasta 50 hectáreas por batería, con una duración de 15 minutos y una resolución espacial mínima de 10cm obteniendo ortomosaicos de alta resolución en los que puede visualizarse los cambios obtenidos por el software CLASlite.

8. Bibliografía

- Alcalá, E. (2014). *Desarrollo e Implementación de un Cuadróptero*. Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.
- Asner, G. P., Knapp, D. E., Balaji, A., & Páez-Acosta, G. (18 de Agosto de 2009). Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. *Remote Sensing*, 3(033543), 24. doi:10.1117/1.3223675
- Carnegie Institution for Science. (2013). *CLASlite Tecnología para el Monitoreo de Bosques: GUÍA DEL USUARIO VERSION 3.1*. (D. Bigio, Trad.) Stanford, California, USA. Obtenido de ftp://dgc.stanford.edu/pub/clas/docs/CLASlitev3.1/espa%F1ol/Usuarios%20nuevos/CLASlite_v3.1_Gu%EDadelUsuario_espa%F1ol.pdf
- Catalán, M. (2014). Protocolo Metodológico: Mapa nacional de uso/cobertura/carbono, 2012. Fase I y II. 75. Guatemala.
- Department of the interior U.S. Geological Survey. (2016). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. Data user handbook, USGS, Department of the interior, United States. Obtenido de <https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>
- DJI. (2015). Manual de usuario Phantom 3 Advanced. 1, 58.
- Inab, Conap, Uvg, & URL. (2012). *Mapa de cobertura forestal 2010 y dinámica de cobertura forestal 2006-2010*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Bosques. (1998). *Resolución No. 01.25.98. Reglamento para el aprovechamiento del mangle*.
- Jiménez, J. (1994). *Los manglares del pacífico centroamericano*. Universidad Nacional. Fundación UNA.
- Olofsson, P., Foody, G., Herold, M., Stehman, S., Woodcock, C., & Wulder, M. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*(148), 42-57.

9. Actividades de gestión, vinculación y divulgación

Presentación de resultados a invitados



Presentación Informe Final proyecto: Determinación de la degradación forestal en el ecosistema de manglar pacífico a través de sensores remotos y el uso de vehículos aéreos no tripulados
Lugar: Salón 4 DIGI-USAC Edificio S11 Segundo nivel. Fecha: 07/11/2017

No.	Nombre	Institución	Firma
1	Jorge Acosta del Cid	CECOM-USAC	[Firma]
2	Sara Catalina	CECOM-USAC	[Firma]
3	Miguel Antonio Aulo Mora	CECOM-USAC	[Firma]
4	Erick Gutstein	USAC	[Firma]
5	Gerant Martinian Hernández	F.D.N.	[Firma]
6	Julio Rufino Salazar	Digi-usac	[Firma]
7	Saul Gustavo Gutiérrez	Digi	[Firma]
8	José Cajón	VERED+ - MARN	[Firma]
9	Estela Herrera Rec	DIGI-USAC	[Firma]
10	Joselyn López	CECOM-USAC	[Firma]
11	Javier Orellana	ENF	[Firma]
	Karlun Joly	ENF	[Firma]
13	Manuel Celina	NUMTECH	[Firma]



Presentación Informe Final proyecto: Determinación de la degradación forestal en el ecosistema de manglar pacífico a través de sensores remotos y el uso de vehículos aéreos no tripulados
Lugar: Salón 4 DIGI-USAC Edificio S11 Segundo nivel. Fecha: 07/11/2017

No.	Nombre	Institución	Firma
14	José Daniel Uretila	NUMTECH	[Firma]
15	Ernesto Uretila	NUMTECH	[Firma]
16	Constante Riberos	USAC	[Firma]
17	Leandrina Rojas	CECOM-USAC	[Firma]
18	Maria José Hernández	CECOM-USAC	[Firma]
19	Fabio José Lee Castillo	CECOM-USAC	[Firma]
20	José Carlos Calderón	CECOM-USAC	[Firma]
21	Lina María Ojeda	CECOM-USAC	[Firma]
22	Melany Cordero Herrera	USAC	[Firma]
23	Jennifer Hernández	UMG	[Firma]
24	Rebeca Sánchez	REDD-INSAB	[Firma]
25	Yolanda Chacón	UMG	[Firma]
26	Maria Fernanda Ojeda	USAC	[Firma]



Presentación Informe Final proyecto: Determinación de la degradación forestal en el ecosistema de manglar pacífico a través de sensores remotos y el uso de vehículos aéreos no tripulados

Lugar: Salón 4 DIGI-USAC Edificio 511 Segundo nivel. Fecha: 07/11/2017

No.	Nombre	Institución	Firma
27	Beberlynn Quirós	USAC	
28	Paula Justiziano González	UNAC	
29	Selvesthan Del Cid	UMG	
30	Maria Fernanda Palma	CUNCAZ	
31	Yolaine Sotoyosi	CUNCAZ	

10. Orden de pago

Contratados por la unidad avaladora	Otros colaboradores
Maura Liseth Quezada Aguilar	--

Contratados por la Dirección General de Investigación					
Nombre	Categoría	Registro de Personal	PAGO DIGI		Firma
			SI	NO	
MSc. Sara Catalán	Investigadora titular I (coordinadora)	20020179	X		
Ing. Miguel Avila	Investigador titular I	20170867	X		

Fecha de Entrega: 30/11/2017

MSc. Sara Michelle Catalán Armas

Nombre coordinador del Proyecto de investigación

Firma

Dra. Sandra Herrera

Vo.Bo. Nombre del Coordinador del Programa Universitario

Firma

Ing. Agr. Rufino Salazar

Vo. Bo. Nombre del Coordinador General de Programas

Firma