

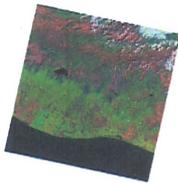
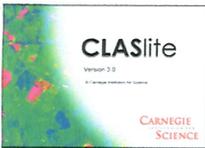


**CENTRO DE ESTUDIOS CONSERVACIONISTAS CECON,
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN DIGI Y
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA USAC**

INFORME TÉCNICO

del proyecto de investigación:

**“DETERMINACIÓN DE LA DEGRADACIÓN FORESTAL EN EL
ECOSISTEMA DE MANGLAR PACÍFICO A TRAVÉS DE SENSORES
REMOTOS Y EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS”**



Elaborado por:

**MSc. Sara Michele Catalán Armas (Cordinadora de proyecto)
Ing. Miguel Antonio Avila Mora (investigador titular I)
PhD Maura Liseth Quezada Aguilar (Investigadora titular I)**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

índice

Resumen	1
Introducción	1
Objetivos	2
• General	2
• Específicos	2
Delimitación de área de estudio	2
Método	3
Descarga de imágenes Landsat 8 OLI/TIRS	4
Procesamiento de imágenes en CLASlite	5
Toma de fotografías con vehículo aéreo no tripulado	7
Construcción de mosaicos	7
Validación de resultados	8
Resultados	9
Conclusiones	14
Recomendaciones	15
Bibliografía	16

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

Dirección General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro de Estudios Conservacionistas

Coordinadora:

MSc. Sara Michelle Catalán Armas email: mishkacatalan@yahoo.com.mx

Investigadores titulares:

Ing. Miguel Antonio Avila Mora email: ingmiguelavila@gmail.com

PhD. Maura Liseth Quezada Aguilar email: mlquezadaa@gmail.com

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 tripulado 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.

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 del 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.

Objetivos

- **General**

Determinar si es posible establecer a través del uso de fotografía de alta resolución con VANT e imágenes del sensor Landsat, un sistema de monitoreo de degradación forestal en el ecosistema de manglar pacífico de Guatemala que sea de utilidad para el mantenimiento y conservación de la estructura y biodiversidad de la flora y fauna.

- **Específicos**

- 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.
- 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.

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.

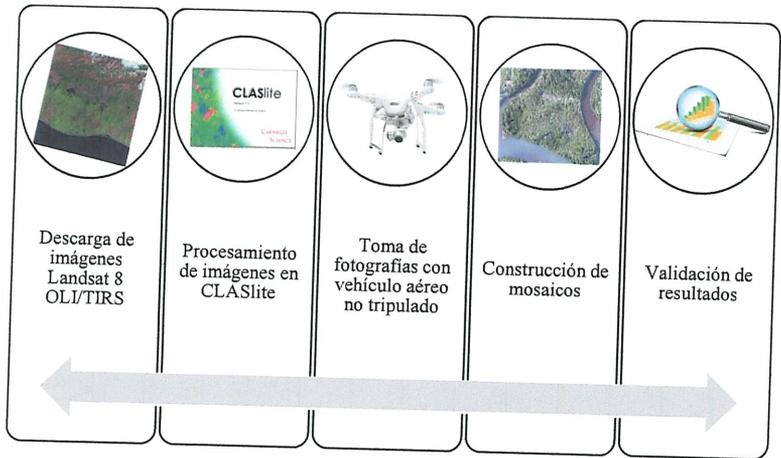


Figura 2. Proceso metodológico

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 $0.433 \mu\text{m}$ a los $1.390 \mu\text{m}$, mientras que TIRS registra de $10.30 \mu\text{m}$ a $12.50 \mu\text{m}$. (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.

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).

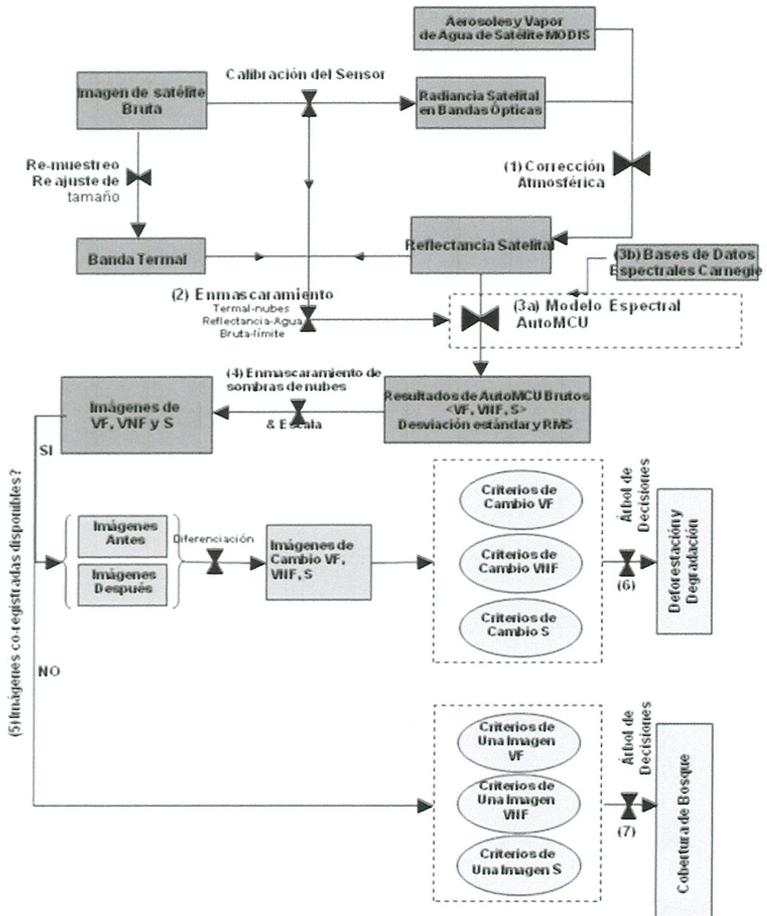


Figura 3. Proceso metodológico realizado en CLASlite

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.

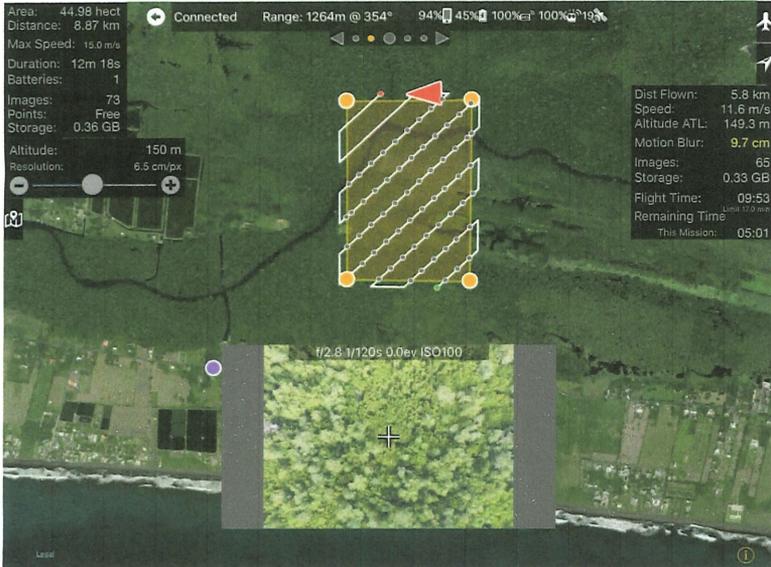


Figura 4. Diseño de un plan de vuelo automatizado para el vehículo aéreo no tripulado Phantom 3 Advanced.

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.

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 es el error tipo B, para poder determinar la precisión e incertidumbre de los resultados obtenidos por CLASlite.

Resultados

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.

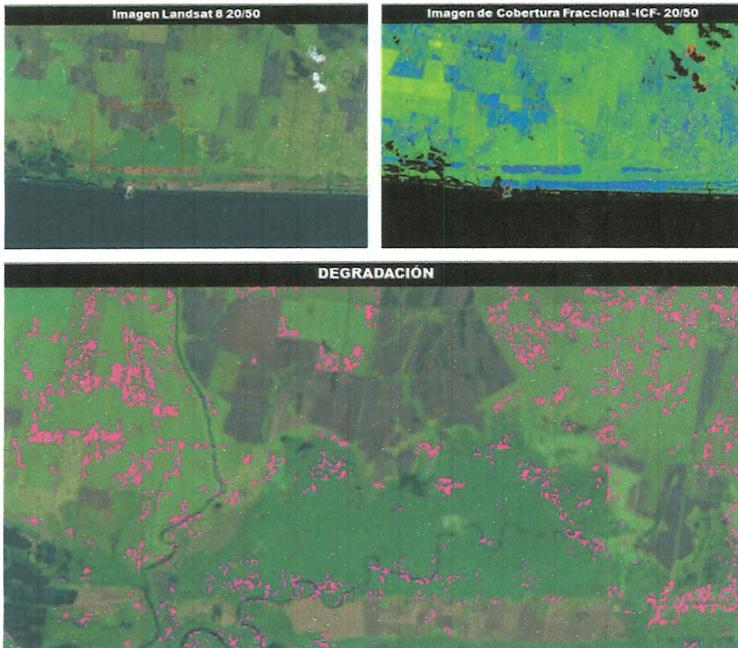


Figura 6. Ejemplo de un resultado obtenido del procesamiento de degradación forestal en el software CLASlite.

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 píxeles (tabla 3), validando la totalidad de los píxeles ubicados dentro de los tratamientos de campo; coincidiendo estos con los periodos de mayores frecuencias, como el cambio 1, 2, 4 y 6.

Cambio	Periodo 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

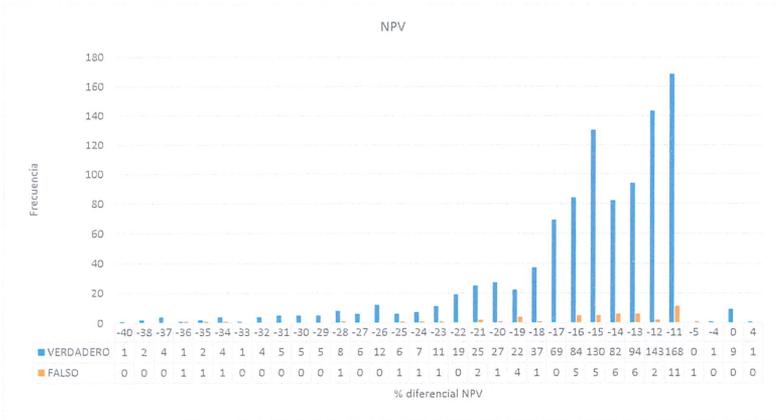
Tabla 3. Detalle del número de muestras obtenidas por cambio y el periodo de tiempo que comprenden.

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.

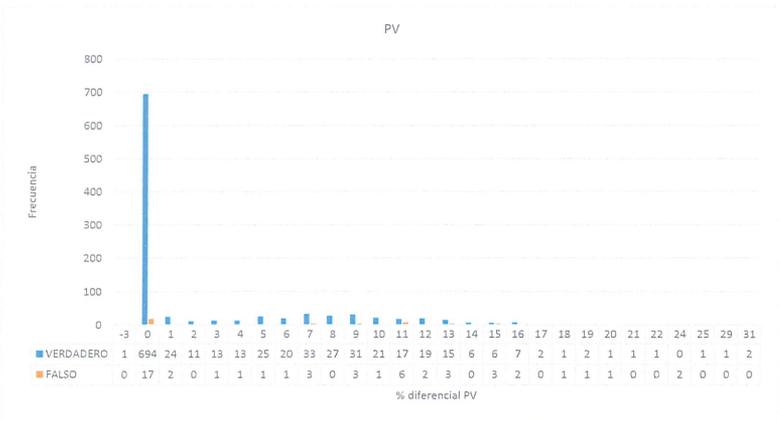
Cambio	Promedio diferencial total			Promedio diferencial Positivo			Promedio diferencial Negativo		
	NPV	PV	S	NPV	PV	S	NPV	PV	S
1	-14.667	0.128	0.090	-14.351	0.135	0.068	-20.500	0.000	0.500
2	-14.676	0.313	0.023	-14.708	0.226	0.021	-13.000	4.875	0.125
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	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.

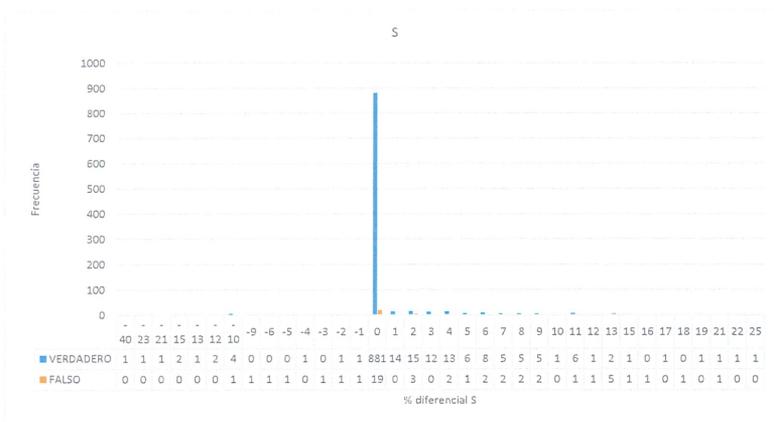
Por último, se analizó la totalidad de las muestras, identificando los valores diferenciales de NPV, PV y S con mayores frecuencias para los cambios 1, 2, 4 y 6, las gráficas 1, 2 y 3, ilustran el compartimiento de los resultados obtenidos por CLASlite.



Gráfica 1: Distribución de la frecuencia acumulada de los resultados obtenidos por CLASlite para el dato NPV.



Gráfica 2: Distribución de la frecuencia acumulada de los resultados obtenidos por CLASlite para el dato PV.



Gráfica 3: 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 pacífico

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

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

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 falsas, 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 los 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 de 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.

Recomendaciones

- 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.

Bibliografía

- 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/espaf10l/Usuarios%20nuevos/CLASlite_v3.1_Gu%EDadelUsuario_espaf10l.pdf
- Catalán, M. (2014). Protocolo Metodológico: Mapa nacional de uso/coertura/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>
- 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.