



FLACSO
ARGENTINA

**Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales
(FLACSO/Argentina)**

**MAESTRÍA EN DERECHO Y ECONOMÍA DEL CAMBIO CLIMÁTICO CICLO
2018-2019**

TESIS DE MAESTRÍA

**Título: “Análisis de empleo de Sistemas Aéreos No Tripulados
(UAVs) como apoyo a los sistemas de monitoreo actuales para
REDD+ en Ecuador”**

Autor: Estefanía Isabel Orquera Guevara

Director: Prof. Mariano Cirone

Buenos Aires, Noviembre 2020

RESUMEN

El presente trabajo de investigación plantea la integración de Sistemas Aéreos No Tripulados (Unmanned Aerial Vehicle, UAV, siglas en inglés) de ala fija como herramienta del apoyo para el componente de Monitoreo de Bosques del Plan de Acción REDD+: Bosques para el Buen Vivir en Ecuador.

En este sentido, se analizó el uso de UAVs o drones como una herramienta complementaria a las empleadas en este proceso como satélites, monitoreo comunitario e in situ, entre otros. Para ello, en primer lugar, se evaluó la situación del Ecuador respecto a la protección forestal, analizando información estadística de deforestación, y el programa REDD+ actualmente ejecutado. Después, y basados en la información obtenida de fuentes oficiales como el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), se realizó una comparación entre diferentes sistemas de monitoreo utilizados y se describió con un ejemplo un sistema de apoyo de monitoreo que contemple el uso de UAVs.

Este análisis consideró distintas investigaciones y casos de estudio en el mundo donde ya se empleen en este momento los UAVs como herramientas de monitoreo forestal. Se evaluó las prestaciones y características de los distintos drones disponibles en el mercado y se escogió un UAV de ala fija por su capacidad de abarcar grandes extensiones y requerir menor tiempo de carga que otros dispositivos como tetracópteros. Esta propuesta de incorporación de UAVs analizó las condiciones operativas, técnicas y normativas del país, para lo cual fue propuesta una metodología de incorporación de UAVs en monitoreo forestal, así como la evaluación de un caso ejemplo en la provincia de Esmeraldas en la región costa de Ecuador para el monitoreo forestal.

ABSTRACT

This research project proposes the integration of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) as a support tool for the Forest Monitoring component of the REDD + Action Plan: Forests for Good Living in Ecuador “Bosques para el Buen Vivir”.

In this sense, the use of UAVs or drones was analyzed as a complementary tool to those used in the forest monitoring such as satellites, on-site monitoring, among others. To do this, first, the situation in Ecuador related to forest protection was evaluated, analyzing statistical information on deforestation, and on the REDD+ program currently being implemented. Following, and based on the information obtained from official sources such as the Ministry of the Environment of Ecuador (MAE), a comparison was made between the different monitoring systems used and a system that contemplates the use of UAVs was described.

This analysis considered different investigations and case studies in the world where UAVs are already being used as forest monitoring tools. The performance and characteristics of the different drones available on the market were evaluated and a fixed-wing drone was chosen for its ability to cover large areas and require less loading time than other devices such as tetracopters. This proposal of incorporation of UAVs analyzed the operational, technical and regulatory conditions of the country, for which a methodology of incorporation of UAVs in forest monitoring was proposed, as well as the evaluation of an example case in the province of Esmeraldas in the coastal region of Ecuador for forest monitoring

Tabla de Contenido

CAPÍTULO I. Aspectos teóricos y estado del arte.....	1
1. Importancia y estado de los bosques	1
2. Impactos e importancia de la conservación de bosques en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).....	2
3. Problemáticas de la Deforestación	4
4. El mecanismo REDD+.....	14
4.1. Los Pilares de REDD+.....	16
4.2. Potencial de REDD+ para las políticas de bosques de los países.....	18
4.3. REDD+ Ecuador	20
Plan de Acción REDD+ Ecuador.....	21
NREF.....	22
Sistema de Información de Salvaguardas (SIS) de Ecuador	23
El Sistema MRV de Ecuador	23
Componentes del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SNMB)	25
5. Sistemas de Monitoreo forestal.....	29
6. Sistemas MRV en países en vías de desarrollo: Aspectos teóricos	31
7. Aplicaciones de UAVs en Monitoreo forestal.....	36
7.1. Tipos de UAVs para tareas de Monitoreo forestal.....	39
7.2. Experiencias de Monitoreo con UAVs en países en vías de desarrollo.....	43
CAPÍTULO II. Metodología de investigación	49
1. Hipótesis Preliminar.....	49
2. Objetivos.....	49
Objetivo General	49
Objetivos Específicos.....	49
3. Metodología Aplicada.....	50
Análisis de Escenarios de Monitoreo	51

CAPÍTULO III. Propuesta de incorporación de UAVs para la REDD+ de Ecuador.....	61
1. Desarrollo de la propuesta de metodología para posible incorporación de UAVs en el PA REDD+ de Ecuador	61
2. Caso de aplicación de la propuesta de metodología de incorporación de UAVS en el monitoreo forestal	64
3. Requisitos para la implementación del sistema de monitoreo sugerido	69
3.1. Parte Operativa y Técnica	70
3.2. Parte Normativa	78
3.3. Resultados	82
Conclusiones	84
Recomendaciones.....	87
Bibliografía.....	89

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Bosques en el Mundo	1
Ilustración 2. Superficie forestal como proporción de la superficie total en 1990, 2010 y 2015 *FAO 2018	6
Ilustración 3. Regiones del Ecuador	9
Ilustración 4. <i>Deforestación Ecuador Continental</i>	11
Ilustración 5. Porcentaje de la superficie bajo diferentes usos de suelo, área deforestada 2008-2014.....	12
Ilustración 6. Deforestación por Provincias 2008-2014 (ha/año)	13
Ilustración 7. Propuesta de sistema MMRV del Ecuador	25
Ilustración 8. Sistema Nacional de Monitoreo Bosques (SNMB)	27
Ilustración 9. Imágenes satelitales Landsat (20 km x 20 km de tamaño de caja) a 30 m de resolución	28
Ilustración 10. Fotografías aéreas de los usos de la tierra capturados por el Dron	37
Ilustración 11. Escenarios de Monitoreo	50
Ilustración 12. Comparación de escenarios.....	54
Ilustración 13. Comparación entre tecnologías	57
Ilustración 14. MRV con UAVs para PA REDD+ de Ecuador	64
Ilustración 15. Refugio de Vida Silvestre La Chiquita.....	66
Ilustración 16. Zona analizada “La Chiquita”	67
Ilustración 17. Cambios de uso de suelo “La Chiquita”	67
Ilustración 18. Esquema sugerido.....	68
Ilustración 19. Esquema básico de uso de UAVs ala fija y multirotor (Scout)	71
Ilustración 20. Esquema básico de uso de UAVs en monitoreo forestal	73
Ilustración 21. Esquema previo al Monitoreo.....	75
Ilustración 22. Esquema de Monitoreo	77
Ilustración 23. Ejemplo de Normativa actualizada.....	80

Lista de Acrónimos

CAD	Diseño Asistido por Computadora, siglas en inglés
CEDIB	Centro de Documentación e Información Bolivia
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONAF	Corporación Nacional Forestal
CONAF	Corporación Nacional Forestal
CONFENAIE	Confederación de Nacionalidades Indígenas de la Amazonía Ecuatoriana
COP	Conferencia de las Partes de la CMNUCC
DAC	Dirección General de Aviación Civil
DEM	Modelo De Elevación Digital
DGAC	Dirección General de Aviación Civil
DSM	modelos digitales de superficie, siglas en inglés
DSM	modelo de superficie digital
ENBCS	Estrategia Nacional de Bosques para el Crecimiento Sostenible
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
ENF	Evaluación Nacional Forestal
ETN	Estrategia Territorial Nacional
FAA	Acuerdo De Actividad Financiada, siglas en inglés
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, siglas en inglés
FCFP	Fondo de Asociación de Carbono Forestal, siglas en ingles
FCPF	Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques
FONAFIFO	Fondo Nacional De Financiamiento Forestal
FVC	Fondo Verde para el Clima
GCF	Fondo Verde del Clima, siglas en inglés
GEE	Google Earth Engine
GEI	Gases De Efecto Invernadero
GIS	Sistemas de Información Geográfica, siglas en inglés
ICA	Proceso de Consulta y Análisis Internacional
INABIO	Instituto Nacional de Biodiversidad
INPE	Instituto Nacional de Investigación Espacial
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
KfW	Banco de Desarrollo del Estado de la República Federal de Alemania
MAE	Ministerio del Ambiente

MGAS	Marco de Gestión Ambiental y Social
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MGAS	Marco de Gestión Ambiental y Social
MHD	Mapa Histórico de Deforestación
MHD	Mapa Histórico de Deforestación
MRV	medición, notificación y verificación
MVE	Proyecto Mapa de Vegetación del Ecuador
NAMAs	Acciones Nacionales de Mitigación Apropriadas
NDC	Contribuciones Determinadas Nacionales, siglas en inglés
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
NIR	Infrarrojo, Rojo, Verde
NREF	Nivel Nacional de Referencia de Emisiones Forestales
NREF-D	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación
ODS	Objetivos de Desarrollo Sustentable
ONU-REDD	Programa Conjunto de las Naciones Unidas para la REDD+
PA REDD+	Plan de Acción REDD+
PNG	Papua Nueva Guinea
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
RBP	Pagos Basados en Resultados
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
RGB	Rojo Verde Azul
RRC	Riesgo De Catástrofes
SAF	Sistema de Aprovechamiento Forestal
SEPAL	Sistemas de acceso de datos de observación de la tierra, procesamiento y análisis para el monitoreo de la superficie terrestre
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINGEI	Sistema Nacional de Inventarios de Gases Efecto Invernadero
SIS	Sistema de Información de Salvaguardas
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SNMB	Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques
SNMF	Sistema Nacional de Manejo Forestal
SNMG	Sistema Nacional de Monitoreo de Gases de Efecto Invernadero
UAV	Unmanned Air Vehicle Sistemas Aéreos No Tripulados, siglas en inglés
USCUSS	Uso De La Tierra y el cambio del uso de la tierra y la silvicultura

CAPÍTULO I. Aspectos teóricos y estado del arte

1. Importancia y estado de los bosques

De acuerdo con datos estadísticos del 2016 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO siglas en ingles) el área total de bosques a nivel mundial constituye un 30,6%, una importante disminución respecto al 31.6% que existía en 1990 lo cual se aprecia en la Ilustración 1. Las selvas y bosques brindan beneficios esenciales tanto al planeta como a los seres humanos, pues proveen de servicios ecosistémicos que permiten la vida tal y como la conocemos. Por ejemplo, al suministrar aire y agua limpios, conservar la biodiversidad, regular el clima y responder al cambio climático (FAO, 2018a).

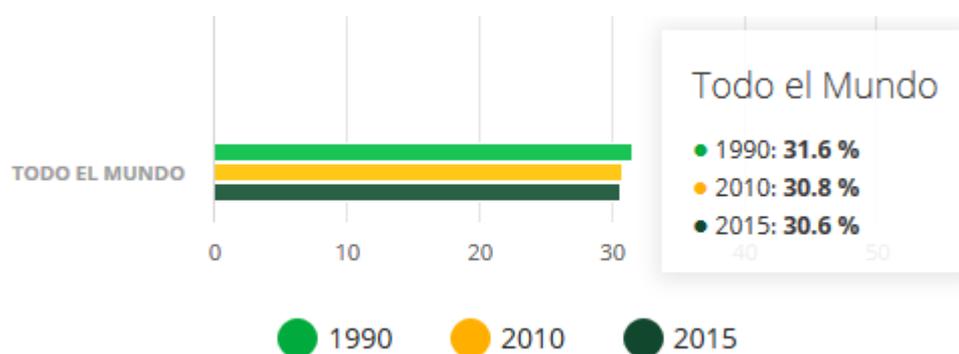


Ilustración 1. Bosques en el Mundo

*Fuente: <http://www.fao.org/state-of-forests/es/>

A partir del año 2015, los gobiernos del mundo adoptaron la Agenda 2030 del Desarrollo Sustentable con 17 Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), donde acordaron enfatizar esfuerzos para al 2030, erradicar la pobreza, la protección medioambiental, prosperidad y bienestar para todos y fomentar la paz y justicia. Es de destacar que el cuidado de las selvas y bosques juega un importante rol en la realización de cada uno de los objetivos. Asimismo, la protección y conservación de bosques también cuentan con un objetivo específico, el ODS 15 que textualmente indica: “*Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad*” (FAO, 2018a; Naciones.Unidas, 2018; Rautner, Leggett, & Davis, 2013).

La protección de los bosques implica considerar su rol fundamental como fuente de alimentos, medicinas y combustible para más de mil millones de personas en el mundo, también de proveer productos y servicios ecosistémicos que contribuyen al desarrollo socioeconómico y ambiental de los pueblos. Una planificación eficiente de estos recursos

naturales supondría una conservación de bosques y zonas forestales, las mismas que albergan más de tres cuartas partes de la biodiversidad del planeta (FAO, 2018a; Rodríguez García et al., 2016).

Además de lo mencionado, un aspecto fundamental de los bosques, y que los hace recursos atractivos en el contexto de la lucha contra el cambio climático, es la de ser considerados sumideros de carbono, es decir, que tienen la capacidad de capturar y almacenar el CO₂ de la atmósfera, y mediante el proceso de la fotosíntesis convertirlo en oxígeno y materia vegetal (Rodríguez García et al., 2016).

Los bosques se encuentran entre los más importantes repositorios de biodiversidad, por lo que su gestión sostenible resulta esencial no solo para conservarlos, sino también para sostener el funcionamiento de los ecosistemas y, por ende, la provisión continua y saludable de servicios ecosistémicos, tales como: la producción de alimentos, regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad. Cumplen un rol esencial en la economía, con aspectos ecosistémicos de regulación, aprovisionamiento, culturales, paisajísticos y de biodiversidad de notable importancia que muchas veces no son valorados económicamente de manera adecuada (FAO, 2018a).

Cerca de 300 mil millones de toneladas de carbono, 40 veces más que las emisiones anuales de gases de efecto invernadero generados por la quema de combustibles fósiles, se almacenan en los árboles. Bosques y zonas forestales tienen la capacidad de absorber aproximadamente 2.000 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente por año, es decir, cumplen una tarea importante de acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera y, por tanto, la pérdida de estos implica agravar las condiciones ambientales, y con ello el cambio climático (FAO, 2018a).

En los países en vías de desarrollo, principalmente en zonas no urbanizadas, los bosques constituyen una fuente importante de recursos para sus pobladores. De acuerdo con diferentes investigaciones, se ha determinado que las zonas forestales pueden proporcionar cerca del 20% de ingresos monetarios al satisfacer las necesidades de subsistencia. Sin embargo, el uso excesivo del suelo, sequías recurrentes y aumento de la temperatura a causa de la degradación de los bosques y pastizales muchas veces obliga a migrar a los habitantes (FAO, 2018a; Naciones Unidas, 2018).

2. Impactos e importancia de la conservación de bosques en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)

El cambio climático, anteriormente pensado como una evolución climática natural del

planeta, es ahora aceptado mundialmente como un fenómeno producido por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, consecuencia, sobre todo, por la quema de combustibles, degradación y deforestación de los bosques y otras actividades resultado de la acción del hombre. De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) entre las principales actividades que producen la emisión o extracción de importantes cantidades de GEI son las prácticas relacionadas con los bosques y su manejo, el uso del suelo, silvicultura y cambio de uso de la tierra, AFOLU por sus siglas en inglés (Agriculture, Forestry and Other Land Use) (MAE, 2015b; MAE & Ecuador, 2016).

Como resultado de estas alteraciones atmosféricas, hemos sido testigos de eventos climáticos nunca antes vistos, tales como tormentas y huracanes cada vez más frecuentes y fuertes, pérdida de cultivos, mayor cantidad de días más cálidos, erosión de suelos, disminución de fuentes de agua, deshielos, entre otros significativos efectos, con graves consecuencias económicas y ambientales a nivel global (Buendía, 2007).

Informes del IPCC “Resumen para responsables de políticas” del 2020 mencionan que debido al calentamiento del planeta es posible que continúe el desplazamiento de las zonas climáticas hacia los polos en las latitudes medias y altas y que en locaciones de latitudes altas el aumento de temperatura afecte a los bosques boreales produciendo sequías, incendios forestales y la germinación de diversas plagas (IPCC et al., 2020)

En general, los países más vulnerables a estos acontecimientos son aquellos considerados en desarrollo, pues no cuentan con las herramientas o los medios para enfrentar estos problemas, resultando en un aumento de su vulnerabilidad y exposición a los desastres, por tanto, se establece un círculo vicioso entre pobreza, desarrollo y cambio climático. Para el caso de Ecuador, de acuerdo con el World Risk Report, es un país con un índice “alto de riesgo” y ocupa el lugar 60 en escala de vulnerabilidad (de entre 180 países analizados).

Basado en la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Ecuador a la CMNUCC, el país representa el 0.15% de las emisiones globales de GEI, con 80 millones de toneladas de CO₂ producidas, donde el sector energético genera la mayor contribución con 46.63% de estas emisiones, luego el uso de la tierra y el cambio del uso de la tierra y la silvicultura (USCUI) con el 25.35% de las emisiones netas totales el cual está relacionado principalmente con la degradación y deforestación de bosques. Finalmente, el sector agrícola ocupa el tercer lugar con el 18.17% de los GEI emitidos a la atmósfera (Buendía, 2007; Day et al., 2019; IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERIA, 2017; MAE, 2012).

Múltiples investigaciones indican que una respuesta eficiente y de impacto inmediato para combatir el cambio climático, en términos de adaptación, mitigación y resiliencia, debe estar enfocada en la conservación de ecosistemas como sumideros de carbono, entre los cuales se puede mencionar humedales, pastizales, manglares y bosques. En el artículo 5 del Acuerdo de París se resaltó la importancia del cuidado forestal y se señaló el rol fundamental de los árboles en el proceso de captura y acumulación de gases de efecto invernadero de la atmósfera. Sin embargo, la deforestación es la segunda causa más importante del cambio climático después de la quema de combustibles fósiles y representa casi el 20% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero; más que todo el sector del transporte a nivel mundial (FAO, 2018a; IPCC et al., 2020).

Tomar acción en medidas que consideren el manejo adecuado de bosques permitirá incrementar las capacidades de resiliencia y adaptación frente a problemas medioambientales venideros para los países, por lo que se considera de gran interés exhortar a la creación de políticas de estado, medidas y otras estrategias nacionales de fortalecimiento de gestión forestal, así como de reducción del riesgo de catástrofes (RRC) (FAO, 2018a; Naciones Unidas, 2018).

Medidas orientadas a combatir el cambio climático tales como la estrategia de reducción de emisiones debidas a la deforestación y la degradación de los bosques, la conservación y gestión sostenible de los bosques, y el incremento de zonas boscosas (REDD+ por sus siglas en inglés), son consideradas cruciales porque apoyan a reforzar las políticas nacionales de gestión forestal. Asimismo, este mecanismo enfatiza no solo en los bosques por la importancia como sumideros de carbono, sino que también incentiva a valorizar y potenciar los “co-beneficios” o “beneficios más allá del carbono” relacionados con la conservación de la biodiversidad y el respeto y mejora de las comunidades dependientes del bosque y de pueblos indígenas. La participación activa de las comunidades que habitan en estas zonas forestales es esencial para un manejo forestal sostenible, el mismo que debe considerar sus necesidades y derechos, lo cual permitirá el fortalecimiento de medidas de protección forestal en la lucha contra el cambio climático (Buendía, 2007; MAE, 2012).

3. Problemáticas de la Deforestación

Para el año 2050 se prevé que la población aumente de los aproximadamente 7.600 millones de personas que existen actualmente a cerca de 10000 millones. Con ello, la demanda de alimentos y recursos para satisfacer las necesidades de los habitantes se

estima que se incrementará en un 50%. Por esta razón se entiende que habrá una gran presión sobre el territorio y el cómo se utiliza la tierra productiva (Duguma et al., 2019).

La deforestación es comprendida como la variación del uso del suelo, de espacios vegetales y forestales y, como consecuencia de esta pérdida se presenta un detrimento de biodiversidad, de recursos y servicios ambientales, otorgando así nuevas características a esas zonas de terreno, con el fin de ser usadas como áreas agrícolas, pastizales u otros. Se considera que la deforestación es uno de los factores que contribuyen al cambio climático global, sin embargo, la protección de bosques y gestión forestal pueden ayudar a combatir esta realidad (Greenpeace, 2018).

La conversión de la tierra forestal en zonas de producción alimentaria y de recursos, así como de ganadería, atenta contra los medios de vida de los silvicultores, las comunidades forestales, los pueblos indígenas y sobre todo contra la variedad de la vida en nuestro planeta. Estos cambios en la tierra dan lugar a procesos de desequilibrio en los ciclos biogeoquímicos de los componentes y nutrientes esenciales para la vida, como son el ciclo del oxígeno, hidrógeno, carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros, degradación de los suelos, disminución del agua limpia y la liberación de carbono a la atmósfera. Se estima que se van perdiendo 7.3 millones de hectáreas de bosque anualmente, las mismas que se asemejan al tamaño del país de Panamá. Además, las emisiones de dióxido de carbono equivalente por año generadas por la producción agrícola y ganadera están en alrededor de 5.000 millones de toneladas. En la actualidad nos enfrentamos al reto de aumentar la producción agrícola, mejorando la seguridad alimentaria, todo ello sin reducir drásticamente las superficies forestales (FAO, 2018a; Rautner et al., 2013).

Basados en datos de la FAO, Ilustración 2, la región de América Latina y el Caribe es la que más zonas boscosas ha perdido en los últimos años, disminuyendo su superficie forestal de 51.3% en 1990 a un 46.4% en 2015, seguida por África Subsahariana, que en 1990 contaba con una superficie boscosa de 30.6% y en 2015 con un 27.1%. Por otro lado, Europa y América del Norte, así como Asia Oriental y Sudoriental han incrementado o mantenido sus áreas de protección de bosque durante el periodo de análisis de 1990 a 2015.

Además de los problemas mencionados, la pérdida de bosques trae consigo graves consecuencias en el abastecimiento de agua. La calidad del agua, esencial para la vida, es de suma importancia para comunidades rurales y urbanas, y su mantenimiento y disponibilidad está directamente relacionada con la gestión forestal. La falta de suministro de agua agrava los efectos negativos de la deforestación, con lo cual también son evidentes problemas de inseguridad alimentaria y desplazamiento de la población. Varios

estudios han mostrado que, de alrededor 230 cuencas hidrográficas a nivel mundial para abastecimiento de agua, el 40% han sufrido una sustancial pérdida de cobertura boscosa provocando disminuciones importantes en términos de lluvias y suministro de agua. Sin embargo, de acuerdo con investigaciones actuales, en los últimos 25 años la gestión de los bosques está tomando en cuenta los ODS y su manejo sustentable (Rautner et al., 2013).

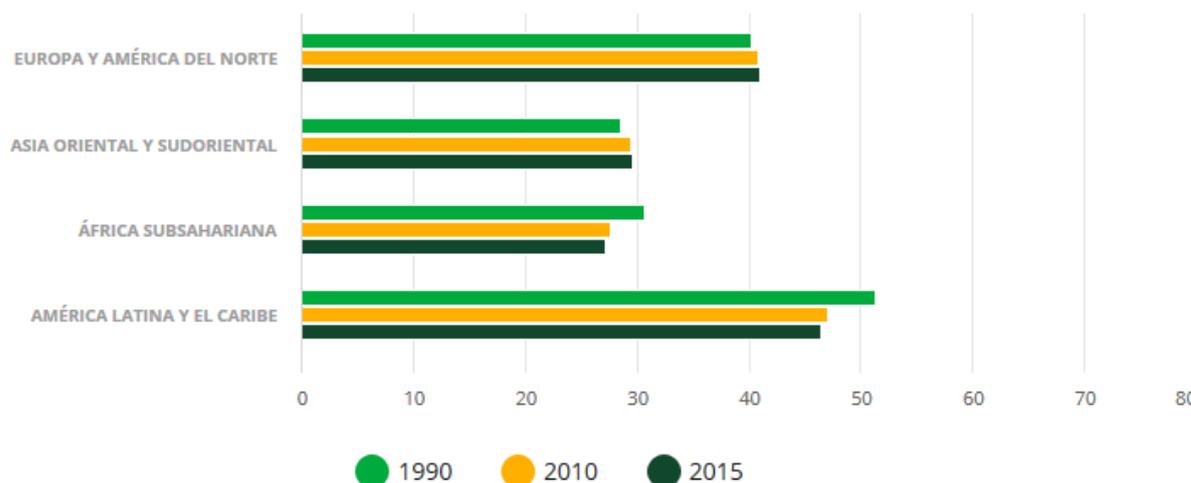


Ilustración 2. Superficie forestal como proporción de la superficie total en 1990, 2010 y 2015 *FAO 2018

La deforestación en América del Sur y en Ecuador

América Latina y el Caribe son de las regiones que cuentan con una de las tasas más altas de pérdida de bosque a nivel mundial, especialmente en las regiones Amazónicas, junto con África y Asia. Entre las principales causas de la deforestación en esta zona se atribuye a prácticas económicas que se relacionan con el avance de la frontera agrícola tales como el pastoreo extensivo, el cultivo de soja y de palma aceitera (FAO, 2010; Olagunju, 2015).

La expansión de la frontera agrícola puede ser definida como la explotación de árboles a tala rasa, para dar paso a miles de hectáreas de nuevos cultivos o ganadería. En el informe de FAO sobre el estado de los bosques de 2016 se concluye que la agricultura comercial en América Latina en países como Argentina, Colombia, Bolivia, Brasil, Paraguay originó casi el 70% de la deforestación. La producción ganadera y expansión de pastizales tienen también un 14% de responsabilidad en la deforestación, así como un 2% debido al crecimiento urbano y desarrollo de infraestructura. Otra causa directa, es la extracción selectiva de madera de bosques nativos, siendo esta la principal causa que provoca la

degradación forestal; esta acción implica la apertura de vías de extracción que es el primer paso en la mayoría de los casos para una pérdida total del bosque donde se realizó aprovechamiento selectivo previo (FAO, 2018a).

Algunos ejemplos de tendencias de deforestación en Latinoamérica se mencionan a continuación. En Brasil, la expansión de la agricultura intensiva, así como la tala “legal” de bosques son las principales causas de deforestación. Además, es importante mencionar que pese a los esfuerzos sociales y políticos por conservar las zonas forestales brasileñas muchas veces se han enfrentado con mecanismos legales que han permitido la disminución y pérdida de bosques en pro de aprovechamiento maderable y recursos económicos, sin considerar una adecuada política de restauración forestal, tal es el caso del estado de Maranhão, Brasil. Hacia julio 2016 en la en la selva Amazónica Brasileña más de 780.000 km² de vegetación nativa se han perdido, es decir, más del doble del territorio correspondiente a Alemania. La tasa de deforestación en los últimos años es 170 veces más rápida que la registrada en la época de la Colonia, especialmente en el estado del Amazonas con un 54 %, de Acre 47% y Pará 41%. En el año 2019 se suscitó la mayor pérdida de bosques brasileños de los últimos años, hasta julio 225,5 has se perdieron, lo que equivale a un 278 % más que en el mismo periodo del año anterior. De acuerdo con el presidente de Brasil Jair Bolsonaro, los incendios forestales acontecidos tienen como causa una intensa sequía, sin embargo, organizaciones científicas, sociales y ecologistas sostienen que muchas veces los incendios son provocados y se deben a las políticas que promueven la agricultura extensiva y minería (Celentano et al., 2017; GreenPeace, 2018; INPE, 2018).

En Bolivia, de acuerdo con cifras oficiales del Centro de Documentación e Información Bolivia (CEDIB) la pérdida bosques asciende a 350 mil has, cada año desde 2011, y en el caso de Perú estudios muestran que se han perdido 1.800.000 has de bosques amazónicos entre el 2001 y el 2015. Como principales causas de la pérdida de bosques se indica la tala, el avance de la agricultura impulsado por la creciente demanda de carne y producción ganadera, minería ilegal, los cultivos de coca, y obras de infraestructura, como las carreteras (CLAES, 2017).

En Colombia, la pérdida de territorio forestal se debe a factores sociales y económicos, la migración, la falta de políticas enfocadas a la protección forestal y producción sostenible. También esta problemática se agrava a causa de una falta de establecimiento en la distribución y derechos de propiedad sobre la tierra, además del conflicto armado y posconflicto, factores culturales, las prácticas ancestrales de “quema controlada de bosques”, crecimiento de la población, entre otros. Se sabe que en 2015 se perdieron 120

mil has de bosques, principalmente en cinco departamentos: Caquetá, Antioquia, Meta, Guaviare y Putumayo. En general, se estima que por la deforestación Colombia ha perdido 6 millones de has desde el año 1990 hasta el 2016 (FAO, 2018a; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

En Argentina se señala que existe graves problemas de deforestación incluso dentro de áreas protegidas; entre las causas de esta pérdida se destaca la agricultura intensiva de soja, ganadería e incendios forestales. De acuerdo con información de la FAO, entre los años 1990 y 2015, Argentina se ubicó entre los 10 países que más pérdida forestal reportaron a nivel mundial, se perdieron 7,6 millones de has, con una tasa de pérdidas de 300.000 has al año. El 80% de la deforestación ocurre principalmente en el norte del país, en las provincias de Santiago del Estero, Formosa y Chaco (Greenpeace, 2018).

Por otro lado, se menciona también el caso chileno, donde basados en el último informe de cambios temporales en la superficie de bosques de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) se indica un aumento neto de 4.631.000 has de bosques primarios en el año 1990 a 5.355.000 has en el año 2015 y, a su vez, un aumento de otros bosques regenerados de manera natural de 8.925.000 a 9.336.000 has. Sin embargo, múltiples estudios, tal como el de Miranda et al. (2018), "Native Forest Loss in the Chilean Biodiversity Hotspot: Revealing the Evidence" indican una tendencia opuesta a la señalada, FAO a su vez señala que entre los años 1991-2015 se han quemado 270.165 has de bosque a nivel nacional (CONAF, 2018; Miranda et al., 2018; F. REDD+, 2017).

Deforestación en Ecuador

Para el caso Ecuador, es uno de los países más megadiversos en el mundo, solamente en plantas cuenta con 12 veces más especies que Brasil y el doble que Colombia y en mamíferos cinco veces más que Indonesia. Con tan solo 283.560 km² de extensión, el 51% de este territorio está cubierto por bosques nativos, los cuales no solo son fuente de alimento o materias primas, si no que constituyen invaluable ecosistemas que regulan el clima y los ciclos del agua. Los Bosques y zonas forestales son importantes depósitos y sumideros de carbono, así como el hogar de comunidades y pueblos indígenas (Burneo, 1997).

La mega diversidad atribuida al Ecuador puede explicarse gracias a factores tales como su ubicación geográfica, factores geológicos, biogeográficos, ecológicos y evolutivos. El país se encuentra situado en la línea ecuatorial y la radiación que recibe del sol consiste en 12 horas diarias de luz durante todo el año, dando como resultado bosques húmedos tropicales ubicados en la cuenca del Amazonas. También se encuentra atravesado por la

Cordillera de los Andes con lo cual se tienen diversos pisos altitudinales, corredores biológicos y valles, que, con la acción de los vientos alisios del noreste y sureste, y las corrientes marinas que bañan las costas ecuatorianas permiten la generación de gran variedad de ecosistemas (Burneo, 1997).

En tal sentido, y tomando en consideración las zonas forestales, al 2014 la superficie de bosques nativos en el país representaba 12.753.387 ha, (MAE & Ecuador, 2016), y se ubican en las siguientes regiones, Ilustración 3:

- En la Amazonía Ecuatoriana con el 74%
- En la Costa con el 16 %.
- En la Sierra con el 10%.



Ilustración 3. Regiones del Ecuador

Sin embargo, esta diversidad forestal se encuentra amenazada como resultado de la acción del hombre y de sus actividades productivas, provocando un incremento en la deforestación y degradación de los bosques con sus respectivas emisiones contaminantes. Ecuador registra una de las tasas más altas de deforestación de Latinoamérica. En base a información obtenida del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del año 2010, en Ecuador, en el sector USCUS, las emisiones por deforestación aportaron el 30%, de las emisiones de GEI nacionales, con lo cual se convierte en el segundo sector más contaminante, después del sector de agricultura. Gran parte de la degradación forestal

en el Ecuador es consecuencia de actividades provenientes del aprovechamiento forestal maderero de especies forestales de alto valor comercial, a través del mecanismo de tala selectiva, misma que, por un lado, puede tener un origen legal, con la aplicación de los llamados programas de manejo forestal sostenibles, y, por otro lado, a través de operaciones forestales no registradas, es decir, que son producto de actividades fuera de la ley. Se sabe que las emisiones atribuibles a este sector en el 2010 ascendieron a 162.2 millones de toneladas de CO₂-eq (Ealidad, Al, & Limático, 2010; INDC, 2015; MAE & Ecuador, 2016).

Entre las causas de la deforestación en Ecuador se tiene la agricultura que se constituye una de las principales actividades económicas y tiene una gran relevancia en el ámbito social. Además del crecimiento de fronteras agropecuarias para cultivos y pastizales sin un manejo adecuado, son motores de la deforestación el crecimiento poblacional y la ampliación de áreas urbanas no planificadas, la explotación forestal no sostenible, la extracción y tala ilegal de madera, el aumento del consumo, obras de infraestructura (carreteras, represas) y actividades de explotación petrolera o minera (MAE & Ecuador, 2016).

El cultivo de alimentos en el país tiene una notación más bien familiar, esto quiere decir que actividades agrícolas, forestales, pastoriles, etc., son llevadas a cabo por una familia y dependen de la acción tanto de mujeres como hombres. Este tipo de agricultura es la manera más común de producción de alimentos a nivel nacional. Durante el período comprendido entre 2006 y 2016 la agricultura ha presentado tasas de crecimiento interanual de hasta 5%, donde los rubros más importantes para el sector corresponden a productos de banano, café y cacao (Sanchez & Llive, 2016).

En Ecuador la deforestación está asociada entre 70 y 90% a las áreas donde se aprobaron planes y programas de corta de madera por el MAE, siendo éstas luego utilizadas para actividades agrícolas o ganaderas. El desarrollo de obras de infraestructura son otra de las causas directas de deforestación, por la construcción de caminos y vías de acceso que permiten a futuro la colonización y expansión de la agricultura y ganadería posterior (Añazco, Morales, Palacios, Vega, & Cuesta, 2010).

En la evaluación de los recursos forestales del país, se ha establecido por parte del MAE una línea base con el Mapa Histórico de Deforestación (MHD), para lo cual se generaron mapas de cobertura y uso de la tierra independientes para cada año de referencia. Estos fueron combinados espacialmente, con lo cual se obtuvo matrices de cambio de cobertura y métricas de deforestación (MAE, 2016a). Así, para calcular la deforestación anual neta promedio se empleó la siguiente ecuación:

$$R = \frac{A_1 - A_2}{t_1 - t_2}$$

Ecuación (1)

En la Ilustración 4 se observa los Mapas de cobertura y uso de tierra generados mediante la interpretación de imágenes satelitales de mediana resolución (Landsat y Aster) para el Ecuador continental (MAE, 2016a).

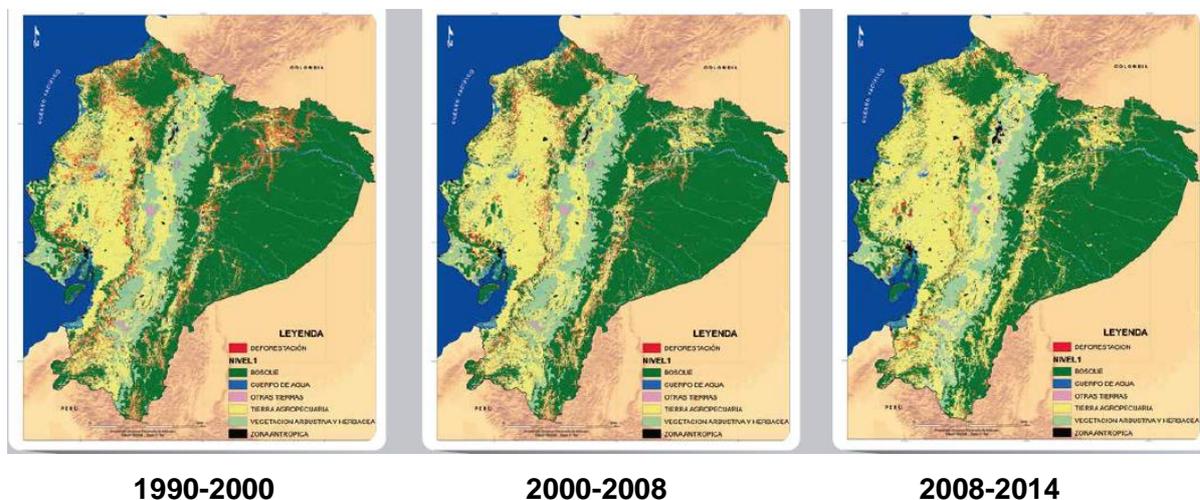


Ilustración 4. Deforestación Ecuador Continental

**Fuente: Deforestación Ecuador Continental-MAE 2016*

La deforestación bruta anual en el periodo comprendido en la década de 1990-2000 correspondía a 129.943 has, mientras que en el periodo 2008-2014 fue de 97.917 has, con lo cual, y basados en datos oficiales, se reflejan una reducción histórica de la tasa bruta de deforestación (MAE & Ecuador, 2016).

En la Ilustración 5 se observa el porcentaje de superficie bajo diferentes usos de suelo para el periodo comprendido entre 2008-2014. En esta figura se aprecia que el 65% de áreas deforestadas fueron convertidas en pastizales, y en total, el 99% de estas áreas fueron transformadas en zonas agropecuarias para el cultivo de productos agrícolas como Cacao, Café, Maíz duro, Palma Africana, entre otros (MAE & Ecuador, 2016).

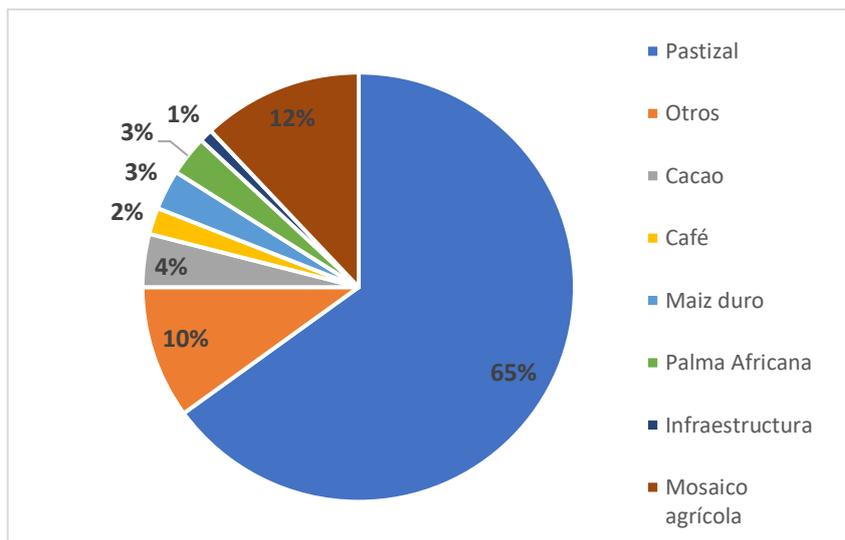


Ilustración 5. Porcentaje de la superficie bajo diferentes usos de suelo, área deforestada 2008-2014

**Fuente: Plan Acción REDD+ Ecuador*

En la Ilustración 6 se puede apreciar la deforestación por provincias acumulada (ha/año) en el país para el período correspondido entre los años 2008-2014.

De acuerdo con la información obtenida del gráfico, las provincias con mayor tasa de deforestación anual son:

- En la Región Costa: Esmeraldas, Guayas, y El Oro,
- En la Región Sierra: Loja, Bolívar y Pichincha,
- En la Región Amazónica: Morona Santiago y Sucumbíos.

En general, a nivel nacional se aprecia un porcentaje importante de pérdidas de bosque nativos. La tasa de la deforestación y la degradación de los bosques en las diferentes provincias están intrínsecamente relacionadas con sus modelos de desarrollo. Por ejemplo, Esmeraldas es conocida como la provincia “verde”, por su exuberante vegetación durante todo el año. Sin embargo, actividades de tala ilegal y cambio de uso del suelo para nuevos cultivos, como el de Palma Africana han provocado una reducción significativa de sus bosques y zonas forestales (Vallejo, 2001).

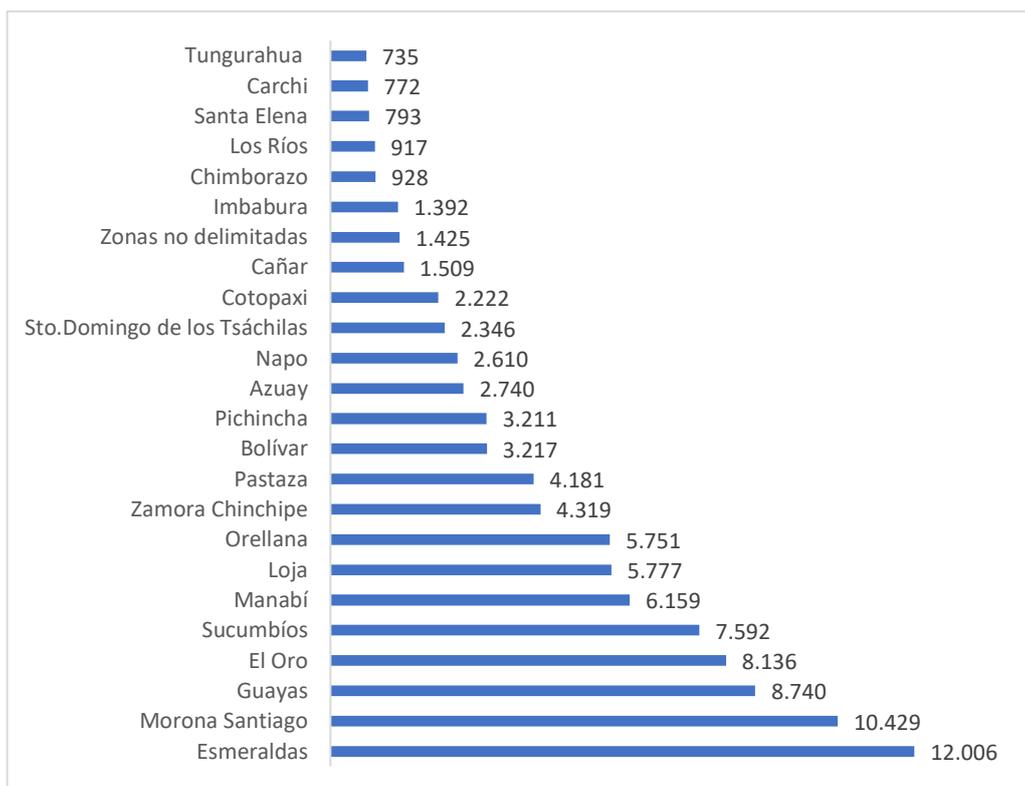


Ilustración 6. Deforestación por Provincias 2008-2014 (ha/año)

**Fuente: Plan Acción REDD+ Ecuador*

La causa principal de la deforestación en el Ecuador es la expansión de la frontera agrícola, seguida por la agroindustria (por ejemplo, la palma africana), la tala ilegal, la minería y el desarrollo de obras de infraestructura. Estas causas dependen de la región geográfica y las actividades económicas que se realicen en las distintas locaciones del país. La Región Costa del Ecuador es una de las áreas más afectadas a nivel nacional, debido a procesos de deforestación en favor de la agricultura, y por esta razón muchos hábitats frágiles se han visto afectados, entre ellos los bosques secos, los manglares y otros humedales que se han perdido o han sufrido una degradación severa. En la Amazonía, amplias áreas han sido afectadas por la extracción de petróleo y la subsecuente colonización humana (Celentano et al., 2017; EcoDecisión, 2012).

Las plantaciones de palma africana generan procesos de deforestación, ocasionando impactos graves para el sector maderero industrial, puesto que las plantaciones en su mayoría son precedidas por la tala del bosque, el cual tiene como finalidad la limpieza del terreno para un correcto crecimiento. La mayoría de nuevos productores han talado bosque primario para sembrar palma en las proximidades de las grandes plantaciones. Una problemática que señalar es que la mayoría de los gobiernos locales no llevan un monitoreo y control del uso del suelo. Sin embargo, es importante indicar que en la provincia de Orellana, el Ministerio de Ambiente tiene un único punto de control forestal (Aguilar, 2016).

Además, en 2012 se simplificó el procedimiento para obtener el permiso para sembrar palma en espacios de menos de 50 hectáreas. En la Amazonia ecuatoriana solo existen tres empresas que realizan toda la producción del aceite.

A pesar de que Ecuador en su Constitución de la República del 2008 le otorgó derechos a la Naturaleza, de acuerdo con las cifras presentadas, la deforestación en el país constituye un problema que aún se encuentra lejos de resolverse. Por tal razón es importante seguir trabajando en la creación y desarrollo de políticas a favor del cuidado medioambiental y de construir capacidades en torno a prácticas agropecuarias y forestales sustentables. Estas prácticas deben estar basadas en información adecuada y oportuna. Es en este sentido que el presente proyecto de investigación analizará los Sistemas de Monitoreo Forestal actuales en Ecuador, así como el mecanismo REDD+, y tomará en consideración la opción de emplear Sistemas Aéreos No Tripulados (UAVs) como apoyo a las herramientas utilizadas para este fin. Los UAVs son mecanismos que permitirán obtener imágenes de mejor resolución de los bosques con información en tiempo real y que podrían servir de apoyo en la toma de decisiones de protección forestal a nivel país (Constitución, 2008; MAE, 2015b).

4. El mecanismo REDD+

Actividades agrícolas, o de pastoreo, así como tala ilegal, son consideradas motores de degradación de bosques y que traen como resultado la deforestación, la pérdida de diversidad y de otros servicios ambientales de los bosques. El aumento poblacional y la continua demanda de alimentos hace que zonas forestales con suelos muy fértiles que se encuentren en ubicaciones de fácil acceso sean los más vulnerables a la conversión en zonas de cultivo. De igual manera, poblaciones con altos niveles de pobreza y sin una política clara respecto a la producción agrícola pueden ser factores que incentiven el cambio de uso de suelo para producción agrícola u otros usos, y con esta actividad, asegurar un posible ingreso económico. Por este motivo, como medidas y estrategias para abordar la problemática de la deforestación está la de establecer una política de gobernanza forestal efectiva y tenencia de la tierra con incentivos para su conservación.

La política de gobernanza forestal debe ser transversal a todos los sectores, especialmente a los de agricultura, la minería, el desarrollo industrial y la energía, donde se pueda establecer y fortalecer vínculos con estos (FAO, 2018a; Rautner et al., 2013).

Para ello, la gobernanza forestal debe considerar la planificación y el seguimiento del uso de la tierra, la participación de los ciudadanos y sobre todo de la población local para la

toma de decisiones, la creación de marcos jurídicos y reglamentos, así como la inversión en educación e investigación (FAO, 2018a; MAE, 2019b; MINAE, 2015).

Normas, políticas, participación de actores públicos y privados respecto al manejo, gestión, uso y conservación de los bosques y recursos forestales hace referencia a la gobernanza forestal, la misma que considera a organizaciones comunidades indígenas, empresarios, actores de la sociedad civil y demás partes interesadas sobre el manejo de los bosques, el suministro de madera de origen legal y medidas internacionales de apoyo a la legalidad de la madera el Plan de acción de la Unión Europea sobre Aplicación de las Leyes, Gobernanza y Comercios Forestales (Plan de acción UE-FLEGT) y los sistemas de pago por servicios ambientales y REDD+ (Petkova, Larson, & Pacheco, 2011).

REDD cuyo acrónimo representa “Reducción de emisiones por degradación y deforestación” apareció por primera vez en 2005 en la agenda internacional de cambio climático en la Conferencia de las Partes (COP) de la CMNUCC. En el 2007, en la COP de Bali, REDD se convirtió en un elemento clave en la hoja de ruta de la convención, pues en esta se reconoce que la degradación forestal genera gases de efecto invernadero que constituyen un importante aporte a las emisiones contaminantes globales, por lo que el problema de la deforestación debe asumirse como esencial en la lucha contra el cambio climático. En el Plan de Acción de Bali, REDD se define como un componente con una importante contribución en acciones de mitigación (FONAFIFO, 2017a).

REDD+ se define como una iniciativa de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero causadas por la deforestación y degradación de los bosques. Como se ha mencionado, los bosques son lugares que preservan una amplia biodiversidad en el planeta y son hogar de comunidades en todo el mundo, las mismas que dependen de los bienes y servicios ecosistémicos que las zonas forestales proveen. La pérdida de estos es un factor importante que provoca el cambio climático puesto que la disminución de bosques representa una quinta parte aproximadamente de las emisiones de efecto invernadero a nivel mundial (Jorge Mario Rodríguez, 2014).

En este sentido, REDD+ se concibe como un mecanismo que incluye actividades de conservación y manejo sostenible de los bosques, con el incremento de reservas forestales de carbono, todo ello a través de compensaciones financieras o mecanismos de transferencia que pueden incluir el comercio de carbono o pagos por el manejo forestal.

El rol de la conservación, gestión sostenible de bosques y mejora de las reservas forestales de carbono, así como políticas e incentivos positivos respecto a REDD fue considerado por las partes de la CMNUCC como de vital importancia sobre todo en países en vías de

desarrollo. El papel de la conservación y la gestión sostenible de bosques ha hecho que se agregue el “+” a REDD. En los países en vías de desarrollo se espera establecer a REDD como un mecanismo de buenas prácticas para un adecuado manejo de zonas forestales haciendo que la tala o la venta de recursos maderables sea económicamente menos rentable que la alternativa de conservar los bosques y sus recursos de manera sustentable. De esta manera se contribuye a prevenir progresivamente la deforestación y degradación que sin esta alternativa muy probablemente ocurrirían (Hein, Guarín, Fromm, & Pauw, 2018).

En el artículo 2 del Acuerdo de París que consagra REDD+ se establece la necesidad imperiosa de reducir las emisiones de efecto invernadero con el objetivo de mantener la temperatura del planeta por debajo de los 2°C respecto a la temperatura preindustrial y, por tanto, se exalta el papel que juegan las zonas forestales y el cambio de uso de suelo en la temática de cambio climático (Cirone; & Galarza, 2016).

Conseguir los objetivos establecidos en el Acuerdo de París a la velocidad esperada no se podrá lograr si se ignora el rol de la naturaleza, por lo que la implementación de REDD+ como programa para movilizar financiamiento internacional para proteger los bosques y reducir las emisiones contaminantes es de gran interés. El pago basado en resultados representa un mecanismo para los países en vías de desarrollo con gran potencial para proteger y procurar un manejo sostenible de sus bosques. La mayoría de los países presentan en sus Contribuciones Determinadas Nacionales (siglas en inglés NDC) acciones de manejo de bosques, sin embargo, muchas veces estas no están expresadas como temáticas REDD+ ni de su implementación, a pesar del apoyo de programas como el de Naciones Unidas para REDD+, FCPF, ONU-REDD con lo cual el trabajo por hacer está aún en una etapa inicial (Hein et al., 2018).

4.1. Los Pilares de REDD+

REDD+ está formado por etapas de preparación, implementación y de pago por resultados. Entre los años 2009 y 2013 la mayor parte del financiamiento estaba dirigido hacia la preparación de REDD+, con la participación del Programa ONU-REDD, Fondo de Preparación FCPF (Forest Carbon Partnership Facility en inglés), y fondos de la cooperación bilateral. A partir de que los países completaban esta etapa de preparación, el financiamiento para implementación estaba disponible por medio de diversos programas, por ejemplo Programas de Inversión Forestal, el fondo de BioCarbon Fund del Banco

Mundial, el Fondo Verde para el Clima y acuerdos bilaterales de pago por resultado como el de la KfW, entre otros (Guerrero, 2019).

La CMNUCC establece cuatro pilares para la implementación de REDD+ y acceso a pagos basados en resultados (MAE & Ecuador, 2016):

Estrategia o Plan de Acción Nacional

El Plan de Acción Nacional se define como el proceso que cada país establece para definir sus políticas y medidas de REDD+ las mismas que deben estar enfocadas en acciones y estrategias de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el sector de bosques.

Nivel de Referencia de Emisiones Forestales

Establecer un Nivel Nacional de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) permite tener puntos de referencia donde se evaluará el trabajo y esfuerzo de cada país respecto a sus acciones de mitigación en el área de protección de bosques y su contribución reportada en toneladas de carbono equivalente al año (tons de CO₂e/ año).

Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques

El Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques es una herramienta que es alimentada con información tanto de campo como del uso de sensores remotos con el fin de tener reportes constantes de las emisiones/ absorciones de Gases de Efecto Invernadero en el Sector Forestal. Este SNMB se va a abordar en mayor profundidad posteriormente en este estudio.

Sistema de Información sobre Salvaguardas

A pesar de los aspectos positivos que el programa REDD+ puede traer a los países para fortalecer la protección de sus zonas forestales, existen también algunas preocupaciones, asociadas a ciertas restricciones que podrían ser vistas como impactos negativos de REDD+, tales como ser entendido por las comunidades y habitantes de los bosques como una intromisión en su cultura o en sus derechos ancestrales en la tierra. De igual manera, al limitar la expansión de la frontera agrícola y el desarrollo de esta actividad sin darles una alternativa más sustentable de producción de alimentos, puede resultar en una problemática en la provisión de estos productos agrícolas. Para evitar y/o mitigar estos posibles impactos negativos, desde la COP 16 de Cancún, en 2010, se ha acordado un paquete de salvaguardas sociales y ambientales, para evitar o mitigar posibles impactos que REDD+ pueda tener sobre el ambiente o la sociedad. Estas “Salvaguardas de Cancún”

son de implementación obligatorio por todo país que quiera acceder a los pagos por resultados en el marco de la CMNUCC (FONAFIFO, 2017b).

4.2. Potencial de REDD+ para las políticas de bosques de los países

La preparación, implementación y puesta en marcha del programa REDD + en los diversos países puede ser vista como una oportunidad para desarrollar y fortalecer políticas enfocadas en la protección forestal y un desarrollo rural sostenible. De igual manera, de apuntalar la responsabilidad de un manejo comunitario de bosques y zonas forestales, considerando su importancia medioambiental, tanto como locaciones de alta biodiversidad y de sumideros de carbono. En el contexto de REDD+, al ser el PA REDD+ una base para el establecimiento de acciones, medidas y políticas para implementar REDD+, es esencial un compromiso político firme y de largo alcance.

En ese sentido, muchas de las acciones a favor de la reducción de emisiones contaminantes con la correspondiente a la protección forestal pueden implicar políticas establecidas en el marco de la CMNUCC, considerando instrumentos jurídicos y políticos, como los derechos de tenencia, subsidios e incentivos para la protección de bosques, también la planificación territorial, producción agrícola sostenible, estrategias nacionales de cambio climático, derechos sobre el carbono, entre los más importantes (DiPaola, 2012).

El manejo sostenible de bosques y zonas forestales constituye un importante desafío para muchos países, pues este objetivo puede alcanzarse siempre que se tenga una transversalización de la protección forestal con todos los sectores involucrados, tales como el agrícola, minero, energético, y aquellos relacionados con los recursos naturales. La gobernanza forestal debe considerar principalmente el desafío de una creciente población y sus necesidades alimentarias. Muchas veces existe una relación directa entre pobreza e inseguridad alimentaria con pérdida de bosques, pues en aquellos países con ingresos económicos bajos, la agricultura sigue siendo la fuerza impulsora de la degradación de los suelos y de la deforestación. En este sentido, el principal reto es comprender que factores influyen en el avance de la frontera agrícola y buscar los mecanismos pertinentes para reducir y detener la deforestación, y así, contribuir a la lucha contra el cambio climático (FAO, 2018a; Petkova et al., 2011).

Como oportunidades, establecer políticas y mecanismos que se centren en temáticas de producción alimenticia y uso de la tierra impulsando técnicas y tecnologías eficientes de producción amigables con el ambiente, prácticas de uso sostenible de la tierra, aplicación de la investigación y la ciencia que permitan la conservación de las zonas forestales, la

seguridad alimentaria y la creación de nuevos empleos reduciendo así la pobreza. También instaurar políticas de conservación de bosques y la planificación del uso de la tierra con incentivos económicos, considerando la participación local de los pobladores, que permitan a los habitantes de estas zonas gestionar los recursos en beneficio de sus comunidades (FAO, 2018a; José Pablo Rojas, 2016).

Respecto a la implementación de mecanismos para la protección de bosques, se debe considerar los marcos jurídicos de los países para el análisis y control de cambio de uso de la tierra, pues cada país tiene su marco de evaluación, lo cual dificulta las comparaciones y avances entre países a escala internacional (Miranda et al., 2018).

Para el caso de la Estrategia Nacional REDD + en Ecuador, se ha trabajado en la consolidación de los pilares y directrices de REDD+, el desarrollo del Plan de Acción REDD+, Bosques para el Buen Vivir 2016-2025, se ha establecido el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales – NREF, y se ha establecido la manera que serán abordadas y respetadas las salvaguardas sociales y ambientales en el país, y la creación e institucionalización de la Mesa de Trabajo REDD+ con lo cual se a cumplido con la fase de preparación.

En la actualidad, Ecuador es el segundo país a nivel mundial en acceder al pago basado en resultados bajo el programa piloto del Fondo Verde para el Clima (GCF, por sus siglas en inglés), el país recibió US\$ 18.5 millones por haber reducido su tasa de deforestación a 48.6% durante las últimas dos décadas. Ecuador pasó de una deforestación neta anual de 92,742 hectáreas en el período 1990-2000, a 47,497 hectáreas en el período 2008-2014 (FAO, 2018a; PNUD, 2019).

Este reconocimiento económico brindará la oportunidad de implementar los planes de acción de REDD+ bajo la dirección del Ministerio del MAE y el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en temáticas de regulación de tenencia de la tierra en bosques y áreas protegidas, participación de los pueblos y nacionalidades indígenas, promoviendo asociaciones público-privadas y alternativas económicas sostenibles para los recursos naturales, la producción sostenible y la restauración de áreas deforestadas y degradadas. Los próximos pasos están enfocados en fortalecer la continuidad de los esfuerzos del país para reducir la deforestación y acceder a más fondos internacionales para la protección forestal (PNUD, 2019).

4.3. REDD+ Ecuador

A partir del año 2008, se implementó el programa REDD+ en Ecuador como un mecanismo técnico para el desarrollo de políticas y estrategias de mitigación en el sector forestal, que apoye los esfuerzos nacionales para la conservación y el manejo sustentable de sus bosques. Ecuador es pionero en la preparación de REDD+ bajo un enfoque nacional. También es el primer país en contar con una cooperación no reembolsable del Fondo Verde Climático para implementar REDD+, esto debido a que, en el año 2014, presenta el Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación con un alcance nacional, marcando así un referente a nivel mundial.

La fase de preparación para REDD+ culminó en 2016 con los siguientes logros importantes:

- Plan de Acción REDD+ “Bosques para el Buen Vivir 2016 –2025”
- Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación.
- Proceso de Consulta y Análisis Internacional (ICA) del Anexo Técnico REDD+
- Interpretación Nacional de Salvaguardas REDD+ (Alcance Nacional de Salvaguardas).
- Primer Resumen de Información de Salvaguardas
- Mesa REDD+ como espacio de participación y construcción colectiva

Al oficializarse la fase de implementación de REDD+ se desarrollaron dos instrumentos importantes, el Plan de Acción REDD+ (PA REDD+) y los lineamientos para la implementación de REDD+ en el Ecuador.

Las reducciones de emisiones de Ecuador gracias al PA REDD+ se reportarán a cabo en los años 2020, 2022, 2024 y 2026, mediante los Informes Bienales de Actualización a la CMNUCC, tomando como base el nivel de referencia presentado (PNUD_Ecuador, 2018).

Asimismo, Ecuador accedió al Programa Piloto de Pagos Por Resultados de REDD plus del GCF (Programa RBP, siglas en inglés) gracias al reconocimiento de la implementación del programa REDD+ de Ecuador, que logró en el año 2014 una reducción de emisiones de aproximadamente 5 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente. El 8 de julio de 2019 el RBP de Ecuador fue aprobado por la junta del GCF y en diciembre del mismo año fue ejecutado por el acuerdo de actividad financiada (FAA, siglas en inglés) para su implementación.

Los pagos por resultados fueron por un total de US\$ 18.5 millones los mismos que se conoce serán invertidos en actividades que fomenten el desarrollo e implementación del Plan de Acción Nacional REDD+ del país. Entre las actividades a llevar a cabo se puede

mencionar la creación y promoción de políticas de gestión institucional de REDD+, el apoyo al despliegue de prácticas agrícolas sostenibles, a la gestión y manejo forestal sostenible, a la restauración y protección de ecosistemas, así como un plan de acción nacional de REDD+. En el 2020 el FAA se encuentra en la fase de implementación efectiva y será completado el 26 de febrero de 2026 (GCF, 2020).

Este proyecto del GFC es implementado por el MAE con el apoyo de PNUD. El mismo tiene como enfoque principal apoyar actividades que fomenten el Plan de Acción Nacional REDD+ “Bosques para el Buen Vivir (National REDD + AP)” mediante:

- Desarrollo de acuerdos y alianzas con los pueblos y comunidades indígenas, y la Confederación de Nacionalidades Indígenas de la Amazonía Ecuatoriana (CONFENAIE).
- Fortalecimiento de un Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques robusto que fomente la gobernanza forestal con planes de uso de suelo alineados a las acciones contra el cambio climático.
- Creación de alianzas público-privadas y alternativas económicas sostenibles para los recursos forestales.
- Incentivos para las comunidades en temas de protección y restauración de bosques.
- Promoción de sistemas de producción agrícola sostenible.
- Mejorar la gestión de los Bosques de Protección y las Áreas Naturales Protegidas.

Gracias a estas acciones se procurará cumplir con los objetivos de mitigación del cambio climático establecidos en el Plan de Acción REDD+ Ecuador. El proyecto RBP aportará con una reducción de GEI del sector forestal en al menos un 20% para 2025, tomando el punto de referencia el inventario 2000-2008 (MAE, 2019b, 2017b; PNUD_Ecuador, 2018).

A continuación, se hace una breve introducción de los cuatro pilares de REDD+ de Ecuador.

Plan de Acción REDD+ Ecuador

El Plan de Acción (PA) REDD+ es el instrumento de gestión para mitigar el cambio climático y combatir las causas de deforestación en el sector uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS), tiene una relación directa con el Plan Nacional de Desarrollo de Ecuador (2017-2021) que establece como objetivo: “Contribuir a la sostenibilidad de las

iniciativas que buscan conservar y regenerar la cobertura boscosa en el marco de las metas establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo” además, se enmarca en 7 principios básicos, establecidos en la Constitución del país, tales como la Articulación con políticas y directrices nacionales, la corresponsabilidad entre las entidades implementadoras de las medidas y acciones REDD+, acciones para garantizar la transparencia con la información, la participación plena y efectiva de actores clave en procesos de toma de decisiones, equidad en las acciones, eficiencia institucional señalando al MAE como la Autoridad Nacional REDD+, transparencia y eficiencia en el manejo financiero de REDD+ (MAE, 2018b, 2019b).

El PA REDD+ en Ecuador además de considerar las acciones para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la deforestación y degradación forestal, procura el cumplimiento de salvaguardias en áreas ambientales y sociales con sus correspondientes beneficios y se ve fortalecido con acciones concretas como son el Programa Socio Bosque, el Programa Nacional de Restauración, Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible (PROAmazonía), entre otros (MAE, 2019b).

Por parte de los lineamientos para la implementación REDD+ en el Ecuador, se definieron en 22 artículos que conforman el Acuerdo Ministerial 116 el mismo que “establece la necesidad de implementar acciones que fomente el respeto y protección de los derechos de la naturaleza, los derechos humanos individuales y colectivos, la participación plena y efectiva de actores clave como las comunidades locales, pueblos y nacionalidades indígenas y la obligatoriedad de la consulta previa, libre e informada en territorios colectivos, así como la incorporación del enfoque de género de manera transversal en la implementación de acciones REDD+ en el país”, los mismos que son elementos fundamentales para el abordaje y respeto de las Salvaguardas Ambientales y Sociales de REDD+ (MAE, 2019b).

NREF

Ecuador presentó su Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación (NREF-D) en 2014, para que este fuera evaluado técnicamente y validado por expertos de la CMNUCC en el sector USCUS, en el contexto de pagos basados en resultados. Después de la evaluación técnica los expertos en su informe final determinaron que la metodología y la información empleada para establecer el NREF-D fue transparente y completa. En noviembre de 2019 se empezó a elaborar una nueva iteración del NREF

tomando en consideración la definición de “bosques” del Acuerdo Ministerial 116, año base el mapa 2000 como base tanto para el NREF-D como para los monitoreos, el periodo de referencia 2001-2014, deforestación bruta, y la escala a nacional. De acuerdo con el calendario de la CMNUCC, después de su presentación, se espera la evaluación técnica para el segundo semestre de 2020. Adicionalmente, junto con el nuevo NREF-D se espera desarrollar un Anexo con el Reporte de las Emisiones Forestales por Degradación, el mismo que aún no tiene un periodo definido de evaluación, sin embargo, se espera llegar a establecerlo con personal de las diferentes unidades del MAE (MAE, 2019b).

Sistema de Información de Salvaguardas (SIS) de Ecuador

En Ecuador el SIS consiste en varias actividades que permiten manejar la información sobre la forma como se abordan y respetan las salvaguardias en el proceso de implementación de REDD+. El SIS es una exigencia fundamental para recibir pagos por resultados de REDD+ y fue construido basado en los aportes y participación de varios sectores de la sociedad ecuatoriana (MAE, 2019b; M. REDD+, 2020)

Las Salvaguardas de Cancún descritas en el país cuentan con un marco de interpretación nacional, que indica como las salvaguardias son entendidas en el contexto ecuatoriano, junto con la identificación de las acciones a ser consideradas por los involucrados para desarrollar actividades REDD+ Ecuador, sean estos socios implementadores e instituciones.

De acuerdo con lo analizado, tanto el PA REDD+ como el abordaje y respeto del sistema de salvaguardas Ambientales y Sociales del Ecuador están en concordancia con la Estrategia Nacional del Ecuador de conservación y planificación territorial, donde se generen y fomenten políticas públicas intersectoriales que permitan transversalizar el cambio climático en los principales instrumentos de planificación y ordenamiento territorial a nivel provincial y cantonal (MAE, 2019b; M. REDD+, 2020).

El Sistema MRV de Ecuador

Ecuador ha realizado varias acciones en relacionadas con medición, reporte y verificación (MRV) de las actividades que tengan injerencia con la emisión y reducción de CO₂ y otros gases contaminantes. Los avances en materia de MRV han tomado en consideración el manejo de información considerando enfoques de emisiones de GEI, así como acciones que permitan la reducción y/o mitigación de GEI e indicadores de gasto y financiamiento en términos de cambio climático.

El monitoreo de GEI se elabora considerando el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) y el monitoreo de las emisiones relacionadas con las zonas forestales se lleva a cabo con el Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SNMB). Este SNMB facilita el monitoreo y reporte de las acciones de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) considerando los procesos de Monitoreo y Medición, Reporte y Verificación (M-MRV) (MAE, 2019a).

El MAE plantea un MRV doméstico con una visión integral, estableciendo módulos que tengan una correlación dentro de un mismo sistema de gestión de información de cambio climático. Se espera desarrollar un sistema que permita obtener avances y resultados consistentes evitando una contabilidad doble en el contexto de emisiones y reducción de estas, según sea el abordaje por mitigación o adaptación al cambio climático a nivel país.

Actualmente se está desarrollando el sistema unificado de medición, reporte y verificación para la gestión del cambio climático, que se inserta en la plataforma del sistema Único de Información Ambiental (SUIA) (MAE, 2019a).

En este sentido, los procesos de medición y monitoreo (M-M) consideran cinco módulos:

- 1) Mitigación
- 2) Financiamiento
- 3) Adaptación
- 4) Creación y fortalecimiento de condiciones
- 5) Co-beneficios

Las actividades y acciones para los Reportes (R) se desarrollan considerando el mecanismo de implementación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), tanto a nivel nacional como local y la Verificación (V) se lleva a cabo a nivel global. Estos informes de verificación son evaluados basados en su consistencia y calidad respecto a los acuerdos internacionales sobre cambio climático.

En la Ilustración 7 se muestra la propuesta de sistema MMRV del Ecuador con los componentes mencionados, algunos se encuentran operativos y otros aún en fase de diseño, previstos en el corto y mediano plazo. Esta visión integral se espera se cristalice en el mediano plazo, a la par de la asistencia técnica-financiera recibida (IDEAM et al., 2017; MAE, 2019a).

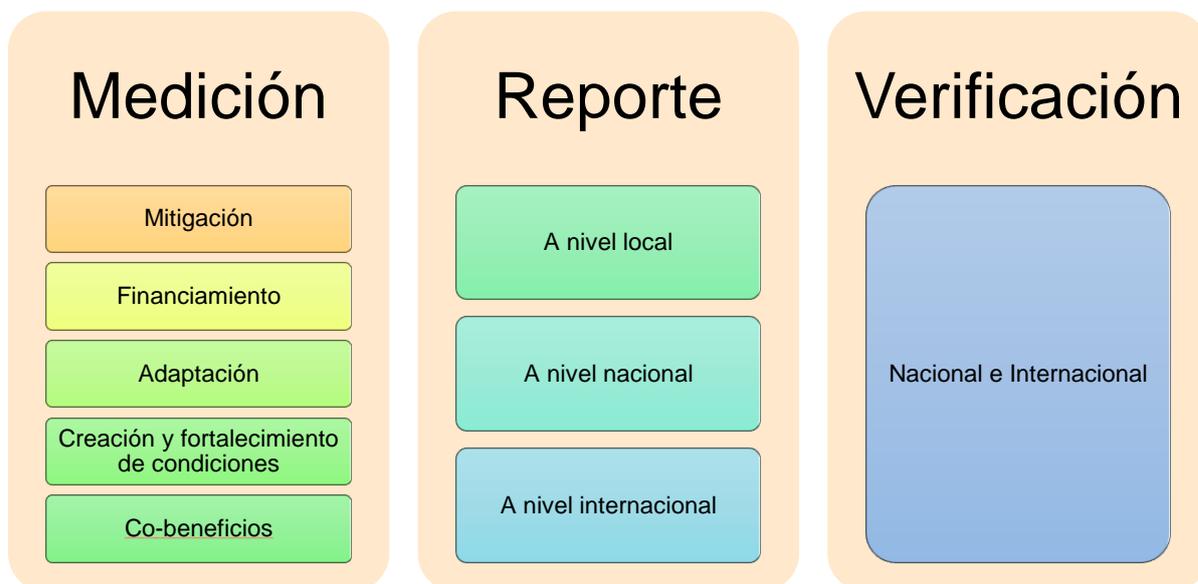


Ilustración 7. Propuesta de sistema MMRV del Ecuador

Componentes del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SNMB)

La protección de bosques a nivel mundial no solo considera la conservación de flora, fauna y biodiversidad planetaria, si no también recursos forestales que son capaces de mitigar hasta el 12% de las emisiones mundiales anuales de GEI a nivel mundial. La iniciativa de protección de zonas forestales cuenta con el apoyo de pagos por resultados RBP, los mismos que se obtienen gracias a un SNMB robusto. La información que entrega este sistema es el resultado de la implementación de actividades REDD+ en la protección de los bosques, y que deben ser transparentes, coherentes y adecuados para el proceso de medición, notificación y verificación (MRV) de estimaciones de las emisiones/absorciones de GEI en zonas forestales.

La instauración de un SNMB sólido y sostenible en el tiempo requiere la creación y fortalecimiento continuo de capacidades técnicas e institucionales para el manejo e interpretación de los resultados obtenidos con los sistemas satelitales de monitoreo terrestre e inventarios forestales nacionales. Asimismo, requiere un buen entendimiento y conocimiento de métodos de estimación, coherentes con los sistemas de inventario nacional de GEI y las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

En Ecuador este sistema se encuentra en la etapa de institucionalización, es decir, se elabora en base a la información obtenida de los proyectos Mapa Histórico de

Deforestación (MHD), la Evaluación Nacional Forestal (ENF) y el proyecto Mapa de Vegetación del Ecuador (MVE) (MAE & Ecuador, 2016).

El componente de SNMB tiene como principal objetivo generar información y reportes referentes a los resultados obtenidos de protección forestal por la adopción de medidas y acciones en favor del cuidado de bosques a nivel nacional. De igual manera, este sistema debe entregar datos medibles, reportables y verificables para elaboración de estimaciones, reportes internacionales de las emisiones, y de absorciones de GEI forestales que serán cuantificadas en un futuro (MAE, 2016b; Sanhueza & Antonissen, 2014).

En los últimos años la implementación del SNMB ha contado con el apoyo del Proyecto de Apoyo Específico ONU-REDD–FAO. Para ello se han organizado talleres de capacitación sobre los avances tecnológicos en el procesamiento de imágenes obtenidas por las plataformas Google Earth Engine (GEE), System for Earth Observation Data Access, Processing & Analysis for Land Monitoring (SEPAL) que permiten la obtención de mapas de bosque no bosque, detección de cambios y deforestación (FAO, 2017).

El SNMB toma en consideración el empleo de distintos procesos y metodologías para recolectar, analizar y reportar información biofísica y de carácter socioeconómico respecto a los ecosistemas forestales y los cambios que se pueden evidenciar con el paso del tiempo. La generación de la información respecto a actividades de protección de bosques se ha visto fortalecida gracias a nuevas plataformas de acceso libre como lo son los satélites Sentinel 1 y 2 y Landsat 8. El SNMB actual tiene planificado reportar la deforestación en el Ecuador continental cada dos años, a través de mapas de bosque/no bosque, los cuales emplean principalmente información obtenida mediante satélites para esta tarea, además, mapas de cobertura y uso de la tierra cada cuatro años (MAE, 2020).

En la Ilustración 8 se aprecia el esquema del SNMB de Ecuador, que incorpora procesos de Monitoreo y Medición, Reporte y Verificación (M-MRV) de acuerdo con sus circunstancias y capacidades nacionales. En el componente de monitoreo emplea sensores remotos, el monitoreo forestal comunitario y la interfase web. En el componente de medición, reporte y verificación (MRV) se utiliza el sistema satelital de monitoreo de tierra, el inventario nacional forestal, y los inventarios de GEIs, con lo cual el SNMB da seguimiento a las acciones y políticas nacionales, evaluando su efectividad, tomando como base los Niveles de Referencia de Emisiones Forestales (MAE & Ecuador, 2016; F. REDD+, 2017).

El SNMB de Ecuador obtiene información de tres componentes:

- Componente de Prospectiva Geomática
- Componente de Evaluación Biofísica y Socioambiental
- Componente de Administración de Objetos Paisajísticos

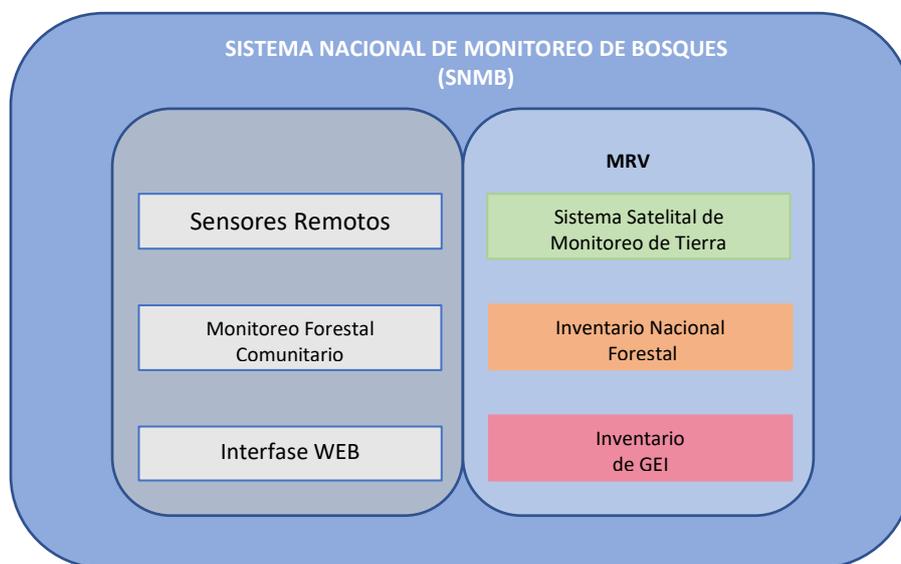


Ilustración 8. Sistema Nacional de Monitoreo Bosques (SNMB)

**Fuente: FAO- ONU-REDD ECUADOR*

Para los fines de este estudio se analizará el Componente de Prospectiva Geomática. Este componente analiza la recolección y manejo de información geográficamente referenciada respecto a la variación evidenciada en los ecosistemas, coberturas y uso de la tierra mediante el empleo de sensores remotos y otras técnicas geomáticas disponibles. Con estas herramientas se obtiene resultados de la deforestación en el Ecuador mediante mapas de bosque/no bosque cada dos años, y se elabora mapas de cobertura y uso de la tierra cada cuatro años (MAE & Ecuador, 2016; F. REDD+, 2017).

En las evaluaciones forestales que se realizan se toma en consideración imágenes satelitales (Landsat TM, Landsat MSS, AVHRR LACC) e información secundaria disponible, mapas de vegetación, topografía, clima, etc., para identificar diferentes tipos de vegetación. En ocasiones los mosaicos de plantaciones agrícolas, como las de café de sombra, pueden ser confundidos como tierras forestales, por lo que mejores herramientas con resolución de imagen más avanzadas serían de gran utilidad para la detección de cambios en la cobertura boscosa. (GIZ, 2009).

Para evidenciar el proceso de análisis satelital en la evaluación de cambios de usos de la tierra, se cita el estudio realizados por Hugh D. et al, 2012, donde menciona el empleo de sistemas satelitales para la evaluación de monitoreo forestal en los periodos

correspondientes a los años 1990-2000, y 2000-2005 en regiones de Centro y Sudamérica (Eva et al., 2012).

Esta investigación realizó estimaciones de cambio de la cobertura forestal mediante el análisis de una muestra sistemática de datos obtenidos por un satélite de resolución media abarcando 1230 lugares de 20km por 20 km, en el periodo 1990, reduciéndola a 10 km por 10 km en el período 2000-2005. En cada muestreo se empleó datos satelitales (Landsat Thematic Mapper) con una resolución espacial terrestre media (30m x 30m). Esta información fue procesada para producir estadísticas de cambio forestal.

En la Ilustración 9 se aprecian imágenes satelitales, en diferentes periodos de tiempo, y en los cuales se evidencia cambios en la cobertura forestal.

Como se menciona en el artículo, con la ayuda de satélites es posible obtener imágenes de baja o media resolución para el monitoreo forestal, y muchas veces estas imágenes están disponibles de manera gratuita, así por ejemplo se obtienen imágenes de Landsat (landsat.gsfc.nasa.gov) y MODIS (modis.gsfc.nasa.gov) (Eva et al., 2012).

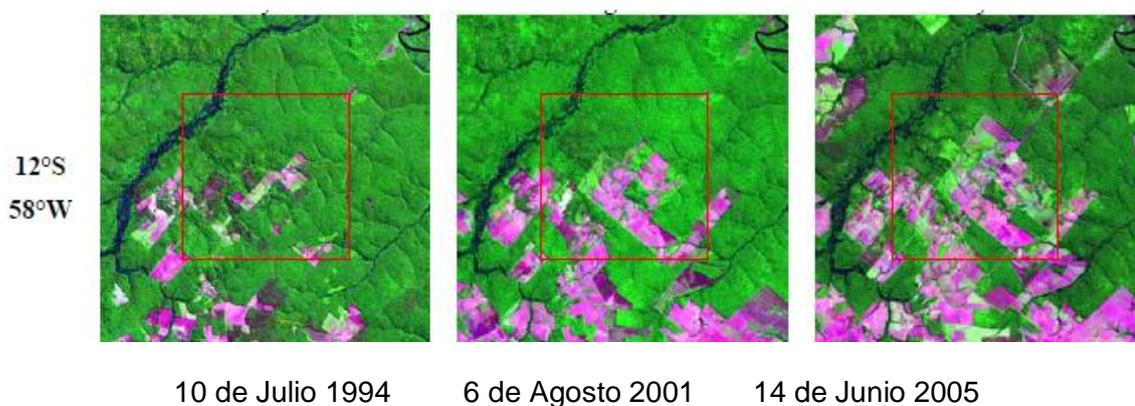


Ilustración 9. Imágenes satelitales Landsat (20 km x 20 km de tamaño de caja) a 30 m de resolución

A pesar de contar con información disponible de cambio en el uso del suelo, el problema radica en la poca resolución que presentan las imágenes capturadas con sistemas de posicionamiento remoto, que dificulta la detección de pequeños cambios en la cobertura forestal, o la determinación distintos tipos de cultivos. Se puede citar el caso de cultivos de palma de distinta edad que presentan dificultad en la diferenciación de bosque regenerado con bosque primario. Además, el monitoreo con estos sistemas satelitales se ve afectado debido a la presencia de nubosidad que no permite obtener información en intervalos regulares (Eva et al., 2012; MAE & Ecuador, 2016; F. REDD+, 2017; Wich, 2015).

Como se menciona, una evaluación satelital permite un reconocimiento de cambio de uso de suelo en escalas de tiempo espaciadas, razón por la cual muchas veces no es posible detectar en tiempo real o de manera oportuna deforestación, cambios de uso de suelo, tala

ilegal o incendios forestales. Es en este sentido que el presente trabajo de investigación plantea la integración de Sistemas Aéreos No Tripulados (Unmanned Air Vehicles, UAV, siglas en inglés) para el componente de Monitoreo de Bosques de REDD+ Ecuador, como una herramienta adicional a las ya empleadas en este proceso como un sistema de apoyo y alerta temprana para la protección forestal.

5. Sistemas de Monitoreo forestal

Los sistemas de monitoreo forestal son herramientas y arreglos institucionales diseñados para evaluar las condiciones en las que se encuentran los bosques, así como sus procesos dinámicos y tendencias requiere la utilización de varias herramientas de monitoreo. Por una parte, estos instrumentos entregan información del cambio de los bosques en un periodo de tiempo establecido, considerado como histórico y otras están diseñadas para alertar de las variaciones producidas en tiempo real. De acuerdo con los resultados obtenidos del monitoreo se pueden establecer medidas y políticas para la gestión sostenible de los bosques, reducir su degradación y la deforestación, así como apoyo en la toma de decisiones para la conservación de ecosistemas, y también permitir una respuesta rápida a problemas puntuales como tala ilegal o incendios forestales.

La elección de una u otra herramienta de evaluación y vigilancia de cuidado de bosques, dependerá de factores como la necesidad de precisión en los datos de monitoreo, la disponibilidad de estos para la toma de decisiones, el tipo de recursos adicionales tales como internet, capacidad de procesamiento de información, dispositivos móviles, capacidad operativa y personal técnico especializado, etc. Aquellas herramientas de monitoreo en tiempo real generalmente presentan imágenes de alta resolución espacial, sin embargo, son menos precisas para cuantificar cambios a nivel de grandes áreas forestales, por lo que son apropiadas para monitorear y responder a degradación ambiental emergente. Las herramientas que evalúan la cubierta forestal son más precisas pero la información que entregan a menudo se produce en periodos de tiempos más largos, entre seis meses a dos años (Connell, 2019).

Por estas razones se sugiere diseñar sistemas de monitoreo que permitan compensar las falencias de una u otra herramienta de evaluación forestal, acoplando entre ellas sus ventajas tanto de precisión como de frecuencia. Sin embargo, muchas veces este tipo de arreglos puede traer costos adicionales tanto para el procesamiento de imágenes de alta resolución, como para la automatización de los procesos.

Existen distintos enfoques para el monitoreo forestal, uno de ellos es el “top-down” o monitoreo de arriba hacia abajo, el cual consiste en evaluar los cambios en zonas forestales mediante el empleo de información satelital que puede proporcionar un largo registro histórico de la dinámica de la cubierta forestal y también alertar sobre los cambios del bosque en tiempo casi real. Esta información es la base fundamental para los desarrollando sistemas nacionales MRV para REDD+ (Connell, 2019).

Otro enfoque es el “bottom -up”, o monitoreo de abajo hacia arriba. que considera las observaciones en campo de las zonas forestales, la cual requiere de personal para realizar los recorridos. La frecuencia generalmente no necesariamente es la óptima, y se tienen costos asociados con lo cual rara vez es sostenible a largo plazo. Por esta razón, una opción es el monitoreo local por parte de las poblaciones, para abaratar costos de monitoreo forestal y a la vez fortalecer el compromiso de las comunidades con sus bosques y territorio. Este tipo de acciones robustece los compromisos establecidos por REDD+ al involucrar a las comunidades y grupos indígenas en la participación y manejo de sus bosques, sin embargo, algunos desafíos para la comunidad en el monitoreo forestal incluyen la falta de rigor y consistencia en la recopilación de datos y la cobertura espacial limitada.

También existe el monitoreo integrado que combina el empleo de varias herramientas para tener una visión más holística de resultados, es así como se puede combinar diferentes satélites para usar las fortalezas de cada uno de ellos, por ejemplo los resultados obtenidos por un satélite de resolución espacial gruesa que frecuentemente sobrepasa un área para marcar el cambio del bosque, se podría combinarlo con un satélite de alta resolución para validar y medir la deforestación e incluso identificar avances de la frontera agrícola, tala ilegal, plantaciones de palma, etc.

Este tipo de monitoreo puede surgir de la combinación de sensores remotos de espacio y en tierra, con satélites ópticos que muchas veces no pueden evaluar más allá del dosel de los árboles y sus imágenes capturadas podrían confundir bosque primario con cultivos, con lo cual como solución se plantea monitoreo in situ, fotografías, sistemas aéreos no tripulados, entre otros.

El monitoreo interactivo es un enfoque que integra las ventajas de los enfoques top down y bottom up, es decir, la confiabilidad del monitoreo satelital con monitoreo preciso in situ por parte de las comunidades comprometidas con su propio manejo forestal. Al ser una herramienta interactiva permite obtener información satelital y enviar alertas de presuntos cambios a las comunidades e individuos encargados de la vigilancia de los bosques,

quienes pueden investigar las alertas, y a su vez enviar alertas de cambios forestales visto desde el suelo y actuar en concordancia.

Basado en lo expuesto, existen diferentes enfoques para el monitoreo forestal que apuntan a satisfacer las necesidades de monitoreo y control. En resumen, se cuenta con información satelital, sensores portátiles, drones y servicios de almacenamiento de información recolectada en la nube. La manera en cómo se asocien las distintas metodologías de monitoreo implica contar información de monitoreo de mayor precisión que requerirá más entrenamiento para uso sostenido y probablemente mayores costos (Connell, 2019).

6. Sistemas MRV en países en vías de desarrollo: Aspectos teóricos

Los SNMB deben cumplir con su rol de entregar datos que sean transparentes y coherentes en el tiempo, y consistentes con la actividad de los sistemas de monitoreo, revisión y verificación (MRV). En el caso de que los países decidan presentar de manera voluntaria las actividades que cumplen de REDD+, los sistemas MRV hacen alusión a las circunstancias nacionales y procedimientos acordados en la CMNUCC como actividades de mitigación del cambio climático (FAO, 2018b).

Estos sistemas para bosques en Latinoamérica se centran en tres pilares: un inventario forestal nacional, un sistema satelital de monitoreo terrestre, y la elaboración y entrega de informes para REDD+. Los sistemas MRV toman en consideración los inventarios forestales tanto terrestres como por teledetección y dan lugar a las estimaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico que se relacionan con los bosques y la capacidad de estos de servir como sumideros (FAO, 2018b).

La importancia del establecimiento de un sistema MRV radica en un análisis continuo o monitoreo de reducción de emisiones GEI. Los reportes presentan las variaciones evidenciadas en el monitoreo y la verificación evalúa el efecto de las acciones realizadas. En este sentido, el sistema MRV forestal apoya en la evaluación del cumplimiento de los compromisos adquiridos por los estados en materia de protección ambiental, manejo de bosques y desarrollo de políticas nacionales respecto a la protección forestal a escala nacional, así como la efectividad de las acciones implementadas. Organismos mundiales como la FAO brindan apoyo técnico y recursos a los países para el proceso MRV de REDD+ (Paneque-Gálvez, McCall, Napoletano, Wich, & Koh, 2014).

A continuación, se citan algunos ejemplos de particularidades de sistemas MRV para REDD+ en algunos países en vías de desarrollo:

Papua Nueva Guinea

Papua Nueva Guinea (PNG) es la Isla Tropical más grande e importante en el mundo, pues tiene 37,7 millones de hectáreas de tierras forestales relativamente bien conservados con una gran biodiversidad, y que actualmente se ve amenazada por la falta de políticas claras de conservación de bosques, así como el avance de la frontera agrícola y la tala ilegal.

Sin embargo, gracias a que el país está trabajando en el mecanismo REDD+, ya le es posible tener un mejor conocimiento del estado actual de sus zonas forestales y el papel que desempeñan en la lucha contra el cambio climático a nivel mundial. PNG se encuentra enfocado en acciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero relacionado con los bosques y para acceder a posibles pagos por resultados que las acciones tomadas en favor de la disminución de GEI podría traer.

En primera instancia y con el apoyo de FAO el país ha creado y establecido los sistemas, la capacidad técnica y operativa necesaria para la medición, revisión y verificación (MRV) de REDD+, pilar esencial para el desarrollo del SNMB. El monitoreo de bosques se realiza empleando satélites *TerraPNG* y *Collect Earth* en conjunto con Google Earth, una herramienta digital para el análisis satelital de zonas forestales en alta y muy alta resolución, donde se analiza el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y silvicultura para el inventario nacional de bosques (<http://www.cdda.gov.pg/MRV.html>).

Este inventario tiene como objetivo primordial recolectar información para la toma de decisiones respecto a la conservación y manejo de bosques. El inventario de GEI que se elabora requiere información recopilada de los sectores de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. El diseño de los inventarios de este país se basa en el análisis por teledetección que cuentan con las herramientas mencionadas para mayor precisión.

De esta forma, de la experiencia de PNG, se puede advertir que más allá de todo lo avanzado queda aún por desarrollarse aspectos clave de la gobernanza forestal, como son el inventario de GEI nacional para el sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, que será incluido en el primer informe bienal de actualización y su implementación; así como seguir creando y fortaleciendo capacidades en el procesamiento de datos geoespaciales utilizando el sistema de acceso de datos de observación de la tierra, procesamiento y análisis para el monitoreo de la superficie terrestre.

Costa Rica

Costa Rica ha participado y ratificado los distintos acuerdos internacionales relacionadas con la lucha contra el Cambio Climático y la protección de sus bosques con el programa REDD+, tanto en el Acuerdo de Paris como parte de la CMNUCC, como en el convenio de

Diversidad Biológica y la Convención de Lucha contra la Desertificación, la Degradación de la Tierra y la Sequía. Para alcanzar los objetivos propuestos es esencial para el país contar con información detallada del uso de tierra, biodiversidad y ecosistemas que le permitan elaborar reportes y comunicaciones nacionales relacionadas con GEI y el monitoreo de programas como REDD+ y Acciones Nacionales de Mitigación Apropriadas (NAMAs).

El Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF) está conformado por el Sistema de Monitoreo Satelital Terrestre (SMST) y de un Inventario Nacional Forestal (INF); el SMST recoge información de cambio de uso de suelo y cobertura, y en el INF se compilan los datos territoriales para desarrollo de factores de emisión, en la estimación de emisiones y remociones a informar en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) del sector Agricultura, Silvicultura y otros usos del Suelo.

Respecto a la conservación forestal y la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales de carbono como parte de REDD+, Costa Rica cuenta con su SNMF con el apoyo Medición, Reporte y Verificación (MRV) de REDD+ y en el contexto de los pagos basados en resultados. En Costa Rica el sistema de monitoreo forestal se denomina SIMOCUTE, Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y uso de la Tierra y Ecosistemas, el mismo que entrega información de los recursos forestales y es una base para la toma de decisiones sobre políticas de mejora de la cobertura y uso de la tierra en el país (<https://simocute.go.cr/>).

La estimación de los GEI del sector forestal se realiza considerando por una parte cuales son aquellas actividades que causan el cambio de uso de suelo y que actividades son las que ocurren en un bosque permanente, y cada una con su respectiva metodología de evaluación. En el primer caso, se evidencian cambios drásticos especialmente en la deforestación y reforestación que toma su tiempo, para ello se ha determinado una evaluación satelital con imágenes de mediana resolución como lo son del *satélite Landsat*. En el segundo caso, los cambios en un bosque permanente son más difíciles de detectar con imagen satelital, con lo cual se evalúan estableciendo una relación de carbono con el porcentaje de biomasa, y evaluación con imágenes de alta resolución.

En 2016, Costa Rica presentó su Nivel de Referencia Forestal (NREF), y gracias a este el país pudo detectar aspectos de mejora del proceso de Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF), así como su metodología para contabilizar emisiones en programas de REDD+. En este sentido, se sugiere poder monitorear el manejo de bosques secundarios y evaluar la tala de bosque selectiva como parte de la industria forestal. Adicionalmente,

se reconoció la importancia de monitorear áreas de plantaciones forestales, así como que tipo de especies están presentes y cuáles serán sus aplicaciones.

Actualmente el país se encuentra en la fase de preparación y consolidación de arreglos institucionales para garantizar el funcionamiento de un Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF) que le permita evaluar las emisiones y absorciones relacionadas con actividades REDD+ incluidas en el NREF y el Programa de Reducción de Emisiones sometido al Fondo de Carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF) (Redd, Redd, Elena, & Ugalde, 2019).

Perú

Perú cuenta con la Estrategia Nacional de Conservación de Bosques, establecida en 2016 mediante Decreto Supremo N° 007-2016-MINAM, también mediante resolución Ministerial N° 324-2015-MINAM aprobó el Protocolo de Clasificación de Pérdida de Cobertura en los bosques Húmedos Amazónicos entre los años 2000 y 2011, la Memoria Descriptiva del Mapa de Bosque/No bosque año 2000, Mapa de pérdida de los Bosques Húmedos Amazónicos del Perú 2000-2011, así como el Reporte de la Pérdida de los Bosques Húmedos Amazónicos al 2011-2013.

El monitoreo de la Cobertura de Bosques ha considerado en primer lugar la evaluación de los bosques húmedos amazónicos, cuantificando las emisiones vinculadas a la deforestación. La deforestación se ha definido como pérdida de bosque por acción antropogénica, evaluando información de datos anuales de pérdida de bosques desde el año 2000 al 2014. Además, se ha considerado un protocolo para el cambio de cobertura forestal y mapeo de zonas forestales en la Amazonia. Estas determinaciones de zonas con y sin bosques fueron realizadas con más de 11 000 imágenes de mediana resolución para los años 2000, 2011, 2013, proporcionadas por el satélite Landsat. A futuro, se espera evaluar los bosques secos de la costa y los bosques andinos y cuantificar las emisiones debidas a la degradación forestal (<http://www.gruporedperu.com/mrv/>).

La degradación de bosques hizo necesarios métodos más específicos de análisis y evaluación, entre ellos se tiene el *método GOF-C-GOLD* (Observaciones mundiales de la cubierta forestal y la dinámica del uso del suelo) combinado con la información proporcionada por sensores remotos. Se elegirá un método -o combinación de métodos- suficientemente robusto y costo-eficiente para implementar el monitoreo de la degradación en biomas a partir de 2016. Actualmente se ejecutan medidas basadas en resultados demostrados mediante medición, reporte/notificación y verificación, a pesar de ello, en la actualidad Perú no ha recibido pago por resultados (REDD+ ; Grupo Peru, 2020).

Brasil

Brasil se comprometió a cumplir el Acuerdo de París en septiembre de 2016 y en sus NDCs se propuso reducir sus emisiones de GEI en un 37% bajo los niveles establecidos respecto al 2005 como año de referencia y para 2025 reducirlos en un 43% (A. Brasil, 2020).

La Estrategia Nacional para REDD+ fue oficializada en 2015 tomando en consideración la participación de diferentes sectores de la sociedad, donde los Planes de Acción para la Prevención y Control de la Deforestación en la Amazonia son los principales elementos de la iniciativa REDD+. La NDC de Brasil incluye al sector agrícola, en donde se espera fortalecer el Programa Agricultura de Baja Emisión de Carbono para reducir la deforestación y procurar una producción sostenible, así como la restauración de 15 millones de hectáreas de pastizales para 2030.

Respecto a los sistemas MRV, Brasil ha desarrollado mecanismos que le han permitido mejorar su monitoreo de zonas forestales en la región amazónica. La información de deforestación es producida anualmente por el Instituto Nacional de Investigación Espacial (INPE) que tiene una serie temporal desde 1988. También se cuenta con un sistema de detección de deforestación en tiempo real que ayuda a monitorear la aplicación de leyes ambientales. Este sistema provee información a diario y tiene una serie temporal desde 2004. Otra herramienta es *el DEGRAD*, un sistema para monitorear la degradación de los bosques en la Amazonía brasileña, cuya serie temporal se extiende de 2007 a 2013. Finalmente, el sistema *TerraClass* que realiza un seguimiento del cambio en el uso de la tierra en áreas identificadas como deforestadas (A. Brasil, 2020; M. A. Brasil, 2016).

De acuerdo con el cronograma de Brasil respecto a su estrategia REDD+ la parte concerniente a medición, revisión y verificación de resultados consideraba actividades de definición de niveles de referencia para medir los posibles efectos de REDD+, preparación de informes del nivel de referencia y los resultados alcanzados reflejados en el Anexo Técnico REDD +, a la CMNUCC, que como se indica en fuentes oficiales, la última actualización debió ser entregada en febrero de 2020, y su predecesora en febrero de 2018 (A. Brasil, 2020).

7. Aplicaciones de UAVs en Monitoreo forestal

Al considerar y analizar las limitaciones y aspectos de mejora de los Sistemas Nacionales de Monitoreo Forestal presentados anteriormente, una posibilidad sugerida de mejora de su desempeño es el completarlos con equipos innovadores de monitoreo de bosques como son los UAVS.

A continuación, se mencionan algunos trabajos investigativos que sirven de sustento bibliográfico para este estudio, referidos la propuesta de integrar de UAVs al Sistema Nacional de Monitoreo Forestal del Ecuador en el contexto del Programa REDD+.

En el trabajo de Lina Tang y Guofan Shao (2015) se resalta la utilidad de los UAVs para detección y monitoreo forestal, en donde como beneficios asociados a su fácil uso, bajos costos de operación y alta resolución de imágenes, se indica la capacidad de estos para complementar información obtenida a través de aviones y sistemas de teledetección satelital (Tang & Shao, 2015).

En el artículo de Koh y Wich (2012) se analiza el uso de un UAVs de costo menor a \$2000, con una autonomía de vuelo de 25 minutos que cubrió una distancia de 15 km para la determinación de la topografía, mapeo de bosques y biodiversidad en Sumatra, Indonesia. Para cumplir esta tarea se utilizó un autopiloto “*ArduPilot Mega*” (APM) y se lo combinó con un sistema de planificación de misiones de software libre (*APM Planner*), se emplearon también dos tipos de cámara, una Canon IXUS 220 HS y un GPS Pentax Optio WG-1. Los resultados de las imágenes captadas permiten distinguir diferentes usos del suelo lo cual se aprecia en la Ilustración 10 (izquierda) (Koh & Wich, 2012) incluyendo:

- a) Plantaciones de palma aceitera
- b) Campos de maíz
- c) Asentamientos humanos
- d) Bosques
- e) Zonas taladas
- f) Senderos del bosque

Usando software comercialmente disponible (Autopano giga; kolor.com/) se consiguió mosaicos georeferenciados, los cuales son esencialmente mapas de cobertura / uso de la tierra en tiempo casi real, que podrían ser útiles para monitorear el cambio de uso de la tierra y las actividades forestales ilegales. En la Ilustración 10 (derecha) se muestra un ejemplo del mosaico producido que se superpone a un mapa de uso / cobertura del suelo basado en Landsat (satélite). La resolución en píxeles del mosaico con drones (5,1 cm) es 600 veces mayor que la del mapa basado en Landsat (30 m) (Koh & Wich, 2012).



Ilustración 10. Fotografías aéreas de los usos de la tierra capturados por el Dron

En el trabajo de Hervouet, et al. (2013), se indica que imágenes obtenidas por UAVs en combinación con detección remota por satélite facilitaron el estudio del desarrollo de la vegetación en Ríos con canales trenzados en el Sur y Este de los Alpes Franceses. Como ventajas del uso de UAVs en el monitoreo se menciona que estos equipos otorgan mosaicos con una mayor cobertura, respecto a aquellos que se podrían obtener de técnicas de campo tradicionales, también, es considerado positivo su empleo en condiciones climáticas donde un monitoreo de campo podría ser peligroso, así como su flexibilidad en términos de frecuencia de vuelo, con lo cual se puede detectar cambios a largo plazo en el río y en la vegetación mientras se desarrolla (Hervouet, Dunford, Piégay, Belletti, & Trémélo, 2011).

Una de las áreas de estudio de esta investigación constituye la evaluación de sitio y la determinación, a diferentes escalas del Río Drôme en el Sureste de Francia. En este trabajo investigativo se detalla el uso del dron “Pixy Drone (2005-2007)” para el monitoreo, con una velocidad de vuelo de 15 a 25 km por hora, y una altitud para la captura de imágenes de 150 m. La cámara empleada para los análisis más recientes, del 2008 en adelante, fue una un Sony DSLR-A350, logrando una resolución espacial de 3,2-11,8 cm (Sony, 2017).

Grenzdörffer et al. (2008), en su investigación mencionan algunas de las aplicaciones mas interesantentes de UAVs y Micro UAVs (peso menos de 5kg) en monitoreo forestal como: detección de incendios forestales, monitoreo y detección de cambios dentro de los bosques, tala ilegal e infracciones, con un analisis de una extensión relativamente pequeña de menos de 1.500 hectáreas (Grenzdörffer, Engel, & Teichert, 2008).

Saari et al. (2015), en su estudio hablan del empleo de UAVs con cámaras hiperespectrales, las cuales usan modelos digitales de superficie (DSM, siglas en inglés) de alta resolución para estimar la altura del árbol, y que, con esta información hiperespectral recolectada mejoran la identificación de especies arbóreas (Saari et al., 2011).

En el trabajo de Casbeer, et al. (2015), se menciona el uso de múltiples UAVs con cámaras de detector infrarrojo que monitorean entre sí para transmitir la información obtenida de un incendio a una estación base. Gracias al trabajo en conjunto de estos dispositivos los datos sobre la ubicación y el crecimiento de un incendio forestal se pueden hacer con más frecuencia y con mayor detalle (Casbeer, Beard, McLain, Li, & Mehra, 2005).

Lee, Park et al. (2014) emplearon en su estudio un UAV con tres tipos de fuentes de alimentación que funcionaron simultáneamente. El dron EAV-2 usado realizó un vuelo de 22,13 horas. La celda de combustible actuó como fuente de alimentación primaria durante el vuelo nocturno, mientras que los paneles solares tomaron el control durante el día, y las baterías atenuaron las fluctuaciones de potencia y los cambios momentáneos en la potencia. En condiciones anormales de funcionamiento durante las pruebas de vuelo, como voltaje excesivo, corriente excesiva, falla de la celda de combustible y escasez de energía solar debido a las nubes, cada fuente de energía funcionó como fue diseñada y suministró con éxito la potencia de propulsión requerida para el vuelo (Lee, Park, Kim, & Kwon, 2014).

En el estudio llevado a cabo por Paneque et al., (2014), se menciona el monitoreo forestal comunitario, mediante el empleo de pequeños drones por parte de habitantes de comunidades para ayudarles a gestionar y conservar mejor sus bosques. Se comenta que la participación de las comunidades es esencial para mejorar la gobernanza forestal, y que los datos recolectados de este proceso de monitoreo benefician a organizaciones asociadas, gobiernos y usuarios finales de datos forestales, particularmente aquellos dedicados a proyectos forestales, de conservación de biodiversidad y mitigación del cambio climático como REDD+ (Paneque-Gálvez et al., 2014).

Existen trabajos investigativos como el de Ballari et al. en 2016, los cuales empleando UAVs realizaron el monitoreo de la vegetación litoral en Puerto Villamil (Isabela Isla, Galápagos, Ecuador) valorando su degradación mediante la evaluación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, o NDVI, empleando cámaras multiespectrales rojo verde azul (RGB) e Infrarrojo, Rojo, Verde (NIR) en los vehículos aéreos no tripulados. Los resultados mostraron que las imágenes obtenidas permiten una interpretación visual de las zonas analizadas y también son adecuados para la generación de información temática ambiental de las islas. Además, gracias a la clasificación de imágenes se puede realizar la

identificación de especies y determinar aquellas especies invasoras en las islas, tales como mora, cedro español (*Cedrela odorata*) o guayagillo (*Eugenia pachyklamys*), así como monitoreo del estado de la vegetación endémica, extracción de madera, etc. (Ballari, Orellana, Acosta, Espinoza, & Morocho, 2016).

Gracias a que los datos obtenidos con los drones pueden ser procesados a mayores velocidades, y con mayor periodicidad, estos vehículos aéreos no tripulados se han convertido en aliados para las herramientas actuales de conservación de ecosistemas. La evaluación continua de estas locaciones permite determinar cómo son las afectadas por la actividad humana y el cambio climático (Andrade, 2018).

De igual manera, se tiene lo detallado en el trabajo de investigación de Valencia et al., en 2019, donde se hace una evaluación de humedales en la región Andina del Ecuador, específicamente en la región Puglllohuma, empleando un UAV de Ala Fija con cámara RGB incorporada para obtener y analizar imágenes multiespectrales que permitan evaluar índices de agua y vegetación. El estudio demuestra una primera etapa de monitoreo de degradación de estos ecosistemas por la expansión de la frontera agrícola y su pérdida en el páramo a causa de actividades antropogénicas. La importancia del páramo y de los humedales radica en que estos ecosistemas actúan como reguladores de agua y su degradación implica una preocupación para habitantes de las principales ciudades del país que ven amenazada su dotación del líquido vital (Valencia et al., 2020)

Los equipos UAVs también pueden ser considerados como herramientas de apoyo para el mapeo topográfico, por ejemplo, en el establecimiento de modelos hidráulico de inundaciones, usando fotogrametría que permite disminuir el tiempo de mapeo y acceder a zonas de difícil acceso, volviéndose más eficientes que las técnicas tradicionales de topografía (López Carlos, 2015).

7.1. Tipos de UAVs para tareas de Monitoreo forestal

Actualmente existen diversos tipos de tecnologías de UAVs disponibles en el mercado para las distintas necesidades de monitoreo. A continuación, se presenta en la Tabla 1 un breve resumen de los equipos UAVS y las principales diferencias entre aquellos de Ala Fija y Multirotor.

Tabla 1. Características de UAVs de Ala Fija y Multirotor

Características	Ala Fija	Multirotor
Autonomía de vuelo	Abarca áreas extensas en el menor tiempo posible (hasta 90 minutos)	Pequeñas áreas durante un periodo de tiempo (15 minutos)
Estabilidad de imágenes y del aparato	Puede sufrir pequeñas desviaciones a causa de ráfagas de aire. *	Cuenta con mayor estabilidad estática. *
Precio de adquisición	Aparatos más costosos que un Multirotor.	Son más asequibles, pero también cuentan con menores prestaciones

*Las imágenes pueden ser procesadas para conseguir mayor estabilidad

De acuerdo con la aplicación que se le desee otorgar al UAV, se puede escoger aquel que preste las mejores características para la tarea deseada. Para el caso de este estudio, se analizará la opción de emplear UAVs de Ala Fija para el monitoreo forestal, principalmente por su autonomía de vuelo, y por las mejores prestaciones que otorga respecto a los equipos multirotor (Paneque-Gálvez et al., 2014).

Para el monitoreo forestal, los UAVs de Ala Fija son equipos de mejores prestaciones que los multirotores, ya que pueden realizar un barrido de 150 hectáreas por día, en comparación al Multirotor que logra un barrido de 50 hectáreas por día.

De igual manera, el tipo de monitoreo que se plantea considerar en este estudio requiere una amplia autonomía de vuelo, los multirotores consumen demasiada batería y requieren cargas constantes, a diferencia de los de ala fija, que además presentan mayor velocidad, son resistentes a distintas perturbaciones y tienen mayor capacidad de carga (Mecánica, 2018; Redondo Martín, 2016).

Algunos ejemplos de sistemas de monitoreo UAVs de Ala Fija que se pueden citar se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de UAVs Comerciales

UAV	Tamaño	Sensores	Autonomía	Velocidad
SenseFly	96cm	Thermo/Visual/	45 minutos	40-90
eBee Ag	Envergadura (710g EPP)	Multiespectral NIR/Red Edge. Tubo Pitot		Km/h
SenseFly	96 cm	Thermo/Visual/	40 minutos	40-90
eBee RTK	Envergadura (730g EPP)	Multiespectral NIR/Red Edge. Tubo Pitot		Km/h
Novadrone	3m	RGB/Thermal/	-2 horas	65km/h
Nomad	Envergadura (2.4kg kevlar/fibra de carbono)	multiespectral Tubo pitot	800ha/vuelo	
	2.4kg payload 5kg PMD			
LA300	92 cm	RGB/NIR/	30/45	20-80
AG	Envergadura 950 g /200 g payload	Multiespectral	minutos	km/h

*Fuente: (Redondo Martin, 2016) Datos obtenidos de las páginas web oficiales de cada empresa

A continuación, en la Tabla 3 se realiza un comparativo entre las características de UAVs de ala fija y multirrotores de sistemas ya disponibles en el mercado.

Tabla 3. UAVs multirotor y de Ala Fija (disponibles en el mercado)

Nombre	Parrot Anafi	DJI Mavic Air	DJI Mavic Pro
Imagen			
Marca	Parrot	DJI	Parrot
Características	<p>Drone plegable con armazón de carbono ultracompacto y ligero.</p> <p>Videos 4K HDR y fotografías de 21 MP.</p> <p>Alcance máx. 4 Km</p> <p>Exclusivo Gimbal con orientación en 180° y estabilización híbrida de 3 ejes. Batería USB-C inteligente con una autonomía de 25 minutos.</p> <p>Se completa con un controlador plegable, el Parrot Skycontroller 3.</p>	<p>Manéjalo y haz fotos desde iPhone. Utiliza gestos sencillos de la mano para volar o hacer fotos utilizando SmartCapture.</p> <p>FlightAutonomy 2.0 ofrece 3 sensores de entorno direccionales para mover el dron hacia delante, atrás y abajo. Las prestaciones inteligentes incluyen ActiveTrack, QuickShots, SmartCapture y TapFly</p>	<p>La principal ventaja de estos drones es que nos proporcionan una gran autonomía de vuelo, pueden llegar a estar volando hasta un par de horas gracias a su eficiencia aerodinámica.</p> <p>Se utilizar para labores de agricultura o mapear grandes superficies de terreno con fotogrametría.</p>
Sensor de cámara	Sensor Sony® 1/2,4" 21 MP CMOS.	CMOS de 1/2,3 pulgadas.	
Resolución de cámara	4K HDR 100M bps	12 Mp 4K en 24/25/30 f/s.	Full HD 1080p, 14 Mpx
Autonomía	25 min	21 min	45 min
Alcance	4 Km	4 Km	2 Km
Precio	\$788,19	desde \$ 900,12	\$630,96

*Fuente: <https://www.droneymas.com/drones-profesionales/>

7.2. Experiencias de Monitoreo con UAVs en países en vías de desarrollo

En la actualidad son pocos los países que emplean UAVs como herramientas de apoyo en sus sistemas de MRV. En muchas ocasiones, el uso de estos dispositivos se concentra en captura puntual de imágenes, monitoreo de especies o en actividades de esparcimiento. Sin embargo, para este estudio se señalan algunos ejemplos en países en vías de desarrollo que emplean UAVs como equipos adicionales a los tradicionalmente empleados en tareas de monitoreo forestal. Así por ejemplo se tiene el caso de:

Papúa Nueva Guinea

En este país se cuenta con el "Proyecto de Desarrollo de Capacidades para la Operación del Sistema de Gestión de Información de Recursos Forestales de PNG", propuesto por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA en Papúa Nueva Guinea (PNG), JICA-PNGFA, proyecto que es empleado como herramienta para afrontar el cambio climático.

Como parte de las acciones de este proyecto se capacitó a personal de la Autoridad Forestal de PNG (PNGFA) en el uso de drones, tecnología GPS / GIS para el manejo forestal sostenible y entregarles una herramienta adicional a las técnicas tradicionales de inspección y monitoreo. Los sistemas UAVs son instrumentos innovativos y eficientes en áreas de monitoreo forestal donde se puede contar con captura de imágenes de zonas boscosa en alta resolución.

Con estos dispositivos se espera recolectar información sobre la medición de la altura del árbol y el tamaño de la copa, la evaluación de los tipos de vegetación, medición del nivel de perturbación y, por lo tanto, determinar la salud de las distintas zonas forestales. De igual manera, realizar evaluaciones sobre degradación forestal que tienen como objetivo analizar la reducción de la capacidad de un bosque para proporcionar bienes y servicios ecosistémicos.

La degradación o pérdida de bosque se refiere a las brechas de tala y los senderos de deslizamiento que resultan de la cosecha de troncos en un área forestal. Las brechas de tala y las pistas de deslizamiento se pueden identificar mediante captura de imagen por drones, antes y después de la operación de registro y la ejecución de las imágenes (banda IR), a través del análisis de segmentación. El resultado final es el porcentaje de áreas de tala y senderos que conforman la degradación del área forestal

A pesar de todas las ventajas que presentan los UAVs en monitoreo de zonas boscosas, su uso por parte de la PNGFA sigue siendo relativamente reciente y, como tal, las directrices, medidas de seguridad y la verificación de su viabilidad en su incorporación a PNGFA son prácticamente inexistentes.

Los representantes de la PNGFA coinciden en el hecho de que la utilización de drones en la protección de bosques es importante y que es aplicable en inspecciones de campo y monitoreo. Sin embargo, hubo un consenso general en que, si bien los UAVs son una poderosa herramienta de monitoreo, se necesita más capacitación para comprender mejor todo su potencial; por lo tanto, el curso de acción óptimo es integrar el uso de estos equipos de monitoreo con los métodos de inspección existentes. Además, la posibilidad de introducir el uso de drones en la protección forestal de PNG no debe considerarse como un reemplazo de los métodos tradicionales, sino más bien como un complemento

El futuro de la utilización de UAVs en PNGFA está plagado de potencial. El desarrollo de capacitaciones en el manejo de UAVs fueron fundamentales para redactar la Política de normativa drones en PNG y en su plan de Protección Forestal tomando en consideración pautas de seguridad y administración del uso de drones, lo cual ha sentado las bases y allanado el camino para un mayor desarrollo de la creación de capacidades técnicas. La integración de la tecnología moderna en los métodos existentes de monitoreo forestal y la promoción de la Gestión Forestal Sostenible, fortalecerá las políticas y directrices de manejo de zonas forestales que son aspectos clave para descubrir dónde es aplicable la tecnología GPS / GIS / Dron y crear enfoques más innovadores en la tecnología GPS / GIS / Dron que beneficiarán tanto al Proyecto JICA-PNGFA como a PNGFA y que deben establecerse en el futuro (JICA-PNGFA, 2019).

Panamá

Miembros de las comunidades indígenas de Panamá fueron entrenados en el manejo de drones y otras tecnologías de detección temprana para evaluar cambios en el uso de la tierra que podrían amenazar a los distintos ecosistemas. Los líderes indígenas han sido capacitados en el uso de drones de ala fija para el monitoreo de zonas forestales comunitarias, gracias al apoyo de programas como FAO y ONU-REDD, es así como los representantes de las comunidades juegan un rol fundamental en el cuidado y conservación de bosques lo que permite un fortalecimiento de la gestión de recursos forestales de este país por parte de los habitantes de estas zonas (Panamá-FAO, 2019).

Comunidades indígenas de Panamá, los Wounaan de Platanares, emplean drones y tecnología satelital para elaborar mapas georreferenciados del bosque y detectar invasiones en sus tierras ancestrales, así como cultivos y tala ilegal. La información recolectada es usada como evidencia contundente de degradación de sus bosques (Aljazeera, 2016).

De igual manera, técnicos de la sección forestal del Ministerio de Ambiente de la Regional de Panamá Oeste en abril del 2020 recibieron capacitaciones respecto al empleo de UAVs con el fin de fortalecer sus tareas de monitoreo y fiscalización de recursos naturales. La Directora Regional, Marisol Ayola indicó “que es oportuno contar con profesionales capacitados en estas tecnologías para ser aplicadas en las labores de fiscalización forestal y ambiental”. Por tal razón, se considera que el uso de estas herramientas permite el mejoramiento continuo de los sistemas de monitoreo y el fortalecimiento de estos en la prevención de deforestación y degradación de zonas forestales (Ambiente_Panamá, 2020).

Costa Rica

Costa Rica le está apostando a la evaluación de carbón y biomasa de sus zonas forestales de una forma económica y efectiva, todo ello con el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) de ala fija. Es así como existe el proyecto de Deep Forest del grupo ambiental Fundecor, que ayudará a la comunidad científica, comunidades indígenas, y tomadores de decisión a conocer lo que sucede en sus bosques y fortalecer su manejo y gestión forestal. Garantizar la existencia de bosque significa garantizar la absorción de carbono, controlar la erosión del suelo, conservar la biodiversidad mantener los servicios ecosistémicos, por lo cual los UAVs son empleados para volar en zonas de difícil acceso utilizando sensores para escanear tres bosques cerca de la ciudad de Guápiles donde se realizarán capturas de datos en tres dimensiones de altura, diámetro de los árboles y biodiversidad, así como madera caída. Basados en la información recopilada se desarrollan algoritmos para analizar las imágenes de los drones y evaluar cambios en las regiones forestales.

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta este proyecto es la gran cantidad de datos e información que se tiene en los sobrevuelos. Este inconveniente es también analizado y se ha procurado resolverlo aumentando la capacidad de almacenamiento del dron. Además, los drones utilizarán un láser de alta definición, llamado LiDAR HD, para analizar un área del bosque que, hasta ahora, era difícil de acceder para los investigadores por las copas de los árboles, sin embargo, al emplearlo en estos instrumentos, su costo es significativamente menor que el de emplear aviones o helicópteros para este fin. El LiDAR HD es el único instrumento científico que tiene la capacidad de penetrar el dosel de bosque

y obtener información a través de todos los estratos y llegar hasta el sotobosque y el suelo. Con estos instrumentos, los expertos crearán un modelo tridimensional de la superficie del bosque, cobertura del dosel, información relevante de la salud de árboles, altura, biomasa y número de árboles, entre los parámetros (Rodríguez, 2018).

Brasil

Si la determinación de la cantidad de biomasa y la capacidad de esta de almacenar carbono es una tarea difícil y costosa, esta realidad lo es más para los extensos bosques de Brasil donde la evaluación satelital se convierte en un desafío debido a la cantidad de nubes que cubren estas áreas. Con el fin de luchar contra este inconveniente un equipo de investigación con el apoyo de la Unión Europea llevaron a cabo en 2015 el proyecto COREGAL.

Esta iniciativa emplea la técnica del sistema global de navegación por satélite: reflectometría (GNSS-R), además de drones de bajo costo que permite la evaluación de la biomasa mientras vuelan sobre el bosque. Al medir la biomasa se puede estimar el almacenamiento de carbono, lo cual es una valiosa cuantificación que ayuda al país a evaluar sus NDCs.

Los drones automatizados tienen un receptor reflectométrico especial llamado Galileo, el cual es empleado para determinar posición y también es usado como un sensor de biomasa. Las señales transmitidas por los satélites GNSS se reflejan en el terreno forestal y son recibidos por el sensor de biomasa. Estas señales reflejadas se distorsionan y debilitan a través de su paso por las copas de los árboles, ramas y hojas. Cuantas más hojas tengas, más se pierde la señal (del GPS y Galileo). Esto significa que cuanto más débil es la señal recibida por el dron mayor cantidad de biomasa está presente en el bosque. Es decir, que al combinar los datos del dron con la de los satelitales obtenemos un mapa más preciso de biomasa que cualquiera de las dos por separado (Freire, Engenharia, & Galileo, 2019).

Perú

En Perú se planteó el uso de UAVs o drones para la evaluación de los cambios en la cobertura boscosa, junto con el monitoreo de los bosques por los mismos habitantes de comunidades indígenas en sus locaciones. El monitoreo con drones consistiría en proveerles de una cámara y hacer volar estos mecanismos unos 300 metros sobre el suelo para producir imágenes de alta resolución, con lo cual se determinan arboles específicos y cambios en la cobertura vegetal. Asociado a estos resultados, los bajos costos de

operación hacen que esta sea una propuesta atractiva de monitoreo forestal (Evans, 2015; MAAP, 2016).

De igual manera en el Proyecto de Monitoreo de la Amazonía Andina (MAAP) con el apoyo de la organización Conservación Amazónica (ACCA) se realizó la adquisición de drones para monitoreo de tala y minería ilegal en la provincia de Tambopata, en la región de Madre de Dios. Habitantes de esta zona han logrado reunir evidencia de imágenes satelitales y drones para denunciar actividades ilegales ante la Fiscalía Especializada en Materia Ambiental (FEMA). Autoridades comentan que, a pesar de contar con imágenes de zonas afectadas, muchas veces el problema es imputar a los causantes de acciones de minería ilegal o deforestación. Sin embargo, contar con estas herramientas de monitoreo permite establecer el lugar exacto del delito ambiental. Las imágenes georreferenciadas de los drones son de gran utilidad para programar un operativo y encontrar a los infractores en flagrancia (Velez, 2019).

Chile

La Corporación Nacional Forestal (CONAF) de Chile con el objetivo de detectar la tala o quema ilegal en zonas boscosas de difícil acceso, adquirió 15 drones de última generación que fueron entregados a las oficinas regionales de Biobío, La Araucanía, Los Ríos, la comuna de Cunco y Los Lagos.

Las autoridades comentaron que la adquisición de estos equipos servirá de apoyo en la emisión de alertas tempranas para protección de bosques que en conjunto con imágenes satelitales permitirá fortalecer la fiscalización forestal y la detección de pérdidas de bosques en tiempo real.

El empleo de estos UAVs permite realizar una inspección de mayor cantidad de superficie, que entre las 4 regiones son casi 5 millones de hectáreas de bosque nativo y que se ven amenazadas por actividades antropogénicas como tala ilegal que por problemas de logística y movilización muchas veces son de difícil acceso (CONAF, 2018).

Colombia

En Colombia varias hectáreas de bosques son vigilados por estos UAVs, especialmente para detectar las actividades madereras y mineras ilegales mientras están produciéndose. Gracias a estas herramientas la deforestación será una práctica más difícil de realizar en la clandestinidad. Mediante el monitoreo de bosques con drones el objetivo es sorprender in fraganti a los delincuentes, capturar de forma visual la deforestación en tiempo real, dando oportunidad de detener la tala cuanto antes (Vanguardia, 2015).

De igual manera, los drones están siendo empleados para controlar incendios en regiones como Santander, donde los monitoreos con drones en las zonas en problemas permitieron georreferenciar las llamas y así atacarlas con más efectividad desde tierra. El funcionamiento consiste en que con la información que recolecta el dron este se envía al terreno y desde el aire se identifican los puntos más críticos (mayor presencia de llamas y difícil acceso), toma las coordenadas y las envía tanto a personal en tierra como al helicóptero para llegar al punto exacto y hacer más efectivas las labores de apagar los incendios (Bucaramanga, 2019).

Ecuador

El país cuenta con algunas experiencias en el uso de drones para el monitoreo y alerta temprana. Así, por ejemplo: en el cerro Colorado en Guayaquil los drones han sido empleados como herramientas de prevención de incendios forestales en bosques sensibles y en peligro de deforestación. Asimismo, el Ministerio del Ambiente adquirió 7 drones para el monitoreo de manglares en Esmeraldas, en Pichincha en el Cerro Catequilla y otras provincias que formen parte del Sistema Nacional de Monitoreo de Patrimonio Natural.

Los equipos adquiridos son de la empresa AEREUM, cuenta con sistema Scout y tienen un costo de \$USD 150.000 por unidad. Los mismos son utilizados principalmente en el campo de monitoreo de la restauración, áreas de reforestación y vigilancia de cobertura boscosa. Respecto al control de incendios se encargan de la prevención y control de estos (Telegráfo, 2015).

También, los drones se han convertido en herramientas de apoyo en el campo de conservación y manejo ambiental, por ejemplo, en el Proyecto CETACEA que investiga sobre ballenas jorobadas enfocándose en la necesidad crítica de mejorar la salud de los océanos y prevenir la disminución de las ballenas y otras criaturas marinas, desde 2017 emplea UAVs en la costa norte de Ecuador en la Reserva Marina Galera San Francisco áreas de gran importancia para la reproducción de las ballenas (Oña, 2020).

En las Islas Galápagos científicos de la fundación Charles Darwin empleando imágenes satelitales adicionales a UAVs en las islas Santa Cruz, Floreana y Santiago evaluaron zonas húmedas y determinaron especies vegetales invasoras. Los drones empleados contaban con cámaras multiespectrales que cubren el rango infrarrojo y así se pudo caracterizar a especies no nativas con distintos niveles de clorofila. Este análisis sirve para determinar las plantas invasoras y cuales podrían ser las acciones para tomar (Ladines, 2019).

CAPÍTULO II. Metodología de investigación

En este capítulo se detallan los objetivos del proyecto de estudio, así como la metodología propuesta para el análisis de la incorporación de UAVs en el Sistema de Monitoreo Forestal del Ecuador, para el Plan de Acción REDD+ Ecuador. El presente estudio analiza la situación actual del SNMB en el país, al cual se le adiciona UAVs de ala fija como herramienta de apoyo a las ya empleadas para monitoreo. Se evalúa posteriormente esta propuesta de incorporación en un caso ejemplo en la provincia de Esmeraldas en la Región Costa del país, tomando en consideración los resultados obtenidos en otros trabajos investigativos, mencionados en el estado del arte, que han empleado esta tecnología en diversas aplicaciones de monitoreo forestal y que serán adaptados al caso ecuatoriano.

1. Hipótesis Preliminar

Los UAVs de ala fija se constituyen en una herramienta con gran potencial para el fortalecimiento y apoyo a los sistemas de monitoreo actuales de bosques, en el marco del programa REDD+ en Ecuador.

2. Objetivos

Objetivo General

- Analizar la viabilidad operacional del empleo de UAVs de ala fija como herramienta de apoyo y fortalecimiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SNMB) para la protección forestal en Ecuador.

Objetivos Específicos

- Analizar los Sistemas Aéreos No Tripulados (UAVs) de ala fija empleados actualmente para aplicaciones de monitoreo forestal.
- Determinar posibilidades de incorporación de drones para el monitoreo y control de la deforestación en el contexto del Plan de Acción REDD+ Ecuador: Bosques para el Buen Vivir.
- Desarrollar una propuesta de metodología para la incorporación de UAVS para el monitoreo forestal en Ecuador.
- Establecer caso piloto de incorporación propuesto, ejemplo la provincia de Esmeraldas.

3. Metodología Aplicada

A fin de cumplir con los objetivos planteados en este estudio, se llevó a cabo:

- Búsqueda de información bibliográfica respecto a la importancia de los bosques y su protección, el programa REDD+, sistemas de monitoreo de bosques y el empleo de UAVs en monitoreo forestal en otros países en vías de desarrollo.
- Desarrollo de entrevistas con actores del Ministerio del Ambiente en Ecuador con el fin de conocer el programa REDD + Ecuador y el monitoreo de las zonas boscosas a nivel nacional en el periodo del 2017-2020¹.
- Análisis distintos tipos de UAVs tomando en consideración su funcionalidad y prestaciones.
- Evaluación de los hallazgos de la investigación y fundamentos teóricos.
- Desarrollo de una propuesta de aplicación de UAVs al monitoreo forestal con un caso ejemplo.

De acuerdo con lo mencionado, a continuación, en la Ilustración 11 se aprecia una comparación entre dos escenarios de monitoreo establecidos con el propósito de esta investigación.

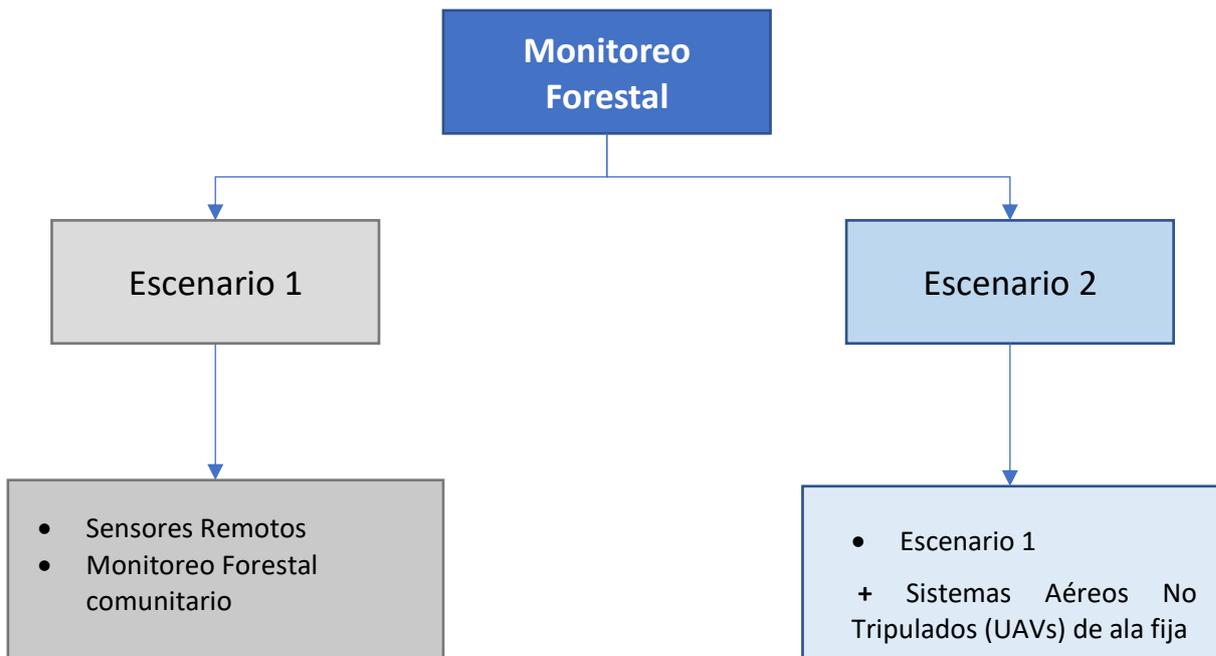


Ilustración 11. Escenarios de Monitoreo

¹ Entrevistas con técnicos de la Dirección de Monitoreo de Bosques del MAE Sistemas de monitoreo productivo: Experiencias latinoamericanas/ 13-15 octubre de 2020. https://www.youtube.com/channel/UCDdlfxkyd_5OLZ5-RECZr4w

Análisis de Escenarios de Monitoreo

El monitoreo para la gestión de bosques en el país ha ido cambiando a través de los años, desde una política enfocada en conocer la biodiversidad del país hasta un enfoque de manejo forestal sostenible que promueva acciones contra el cambio climático y reducción de emisiones contaminantes. Respecto a la política de protección forestal, se hace referencia al Acuerdo ministerial 052 de junio de 2019 en donde se indica en el Capítulo II del SNMB, su principal objetivo es el de proporcionar información medible, reportable y verificable de manera continua que permita el establecimiento y fortalecimiento de las políticas, medidas, acciones de gobernanza forestal sostenible, de recursos naturales, de ordenamiento territorial como la Estrategia de gobernanza forestal, la Estrategia Nacional de Cambio climático, la Estrategia Nacional de biodiversidad, así como Reportes nacionales e internacionales referentes a las NDCs y Comunicaciones nacionales e inventarios de gases de efecto invernadero (SUIA_MAE, 2020).

Con estos antecedentes se plantea el siguiente análisis de escenarios:

Monitoreo Forestal Actual de Ecuador (Escenario 1)

En el **Escenario 1** se hace referencia al componente de prospectiva Geomática del sistema nacional de monitoreo de la estrategia nacional REDD+ de Ecuador. En este se considera la recopilación, análisis, evaluación, modelado y gestión de información geográficamente referenciada mediante levantamientos, mapas y Sistemas de Información Geográfica (SIG), empleando posicionamiento por satélites, percepción remota y gestión de información geoespacial (Argotty et al., 2019).

Respecto a bosques, la geomática juega un papel importante en el desarrollo de técnicas que permiten la caracterización de zonas forestales que muchas veces son de baja accesibilidad o de gran extensión y que requieren la optimización de recursos, razón por la cual muchas veces el levantamiento de información demanda la utilización de imágenes satelitales (Lencinas, 2011).

En este escenario las principales herramientas tecnológicas que se han utilizado para el monitoreo forestal, niveles de referencia y sistemas monitoreo y medición, reporte y verificación M-MRV para REDD+ a nivel Latinoamérica son imágenes satelitales, sensores remotos, programas de cómputo y distintos protocolos para el procesamiento de imágenes y corrección de datos. En el caso de Ecuador, se tiene información satelital mediante la herramienta Landsat que tiene una cobertura global, buena resolución espacial (15-30 m), gran cobertura espectral, y para el procesamiento de imágenes y generación de mapas se tiene ARGIS que para su interpretación cuenta con el apoyo de mapas de precipitación,

temperatura, topográficos, geología, vegetación potencial, posteriormente, la cobertura y cambios en la cobertura de bosque se analiza de manera manual-visual (Argotty et al., 2019).

Gracias al apoyo técnico de FAO se ha implementado la herramienta SEPAL (Sistema de acceso de datos de observación de la tierra, procesamiento y análisis para la vigilancia de la superficie terrestre) como parte del SNMB del país, la cual genera mosaicos que incluyan correcciones topográficas, radiométricas y atmosféricas para la evaluación del cambio de cobertura y uso de la tierra que incluye imágenes satelitales ópticas y radar en diversos periodos de tiempo (FAO, 2018c).

Una tarea por cumplir en este escenario es la del monitoreo de todo el país, actualmente se lleva a cabo el monitoreo en Ecuador continental, a futuro se piensa integrar a estas evaluaciones la región Insular (Islas Galápagos). De igual manera, se está trabajando en un enfoque territorial de monitoreo comunitario participativo en áreas piloto de socio bosque con lo cual se espera desarrollar un modelo de gestión de monitoreo comunitario para su implementación en otras locaciones (UN-REDD, 2019).

Los nuevos retos vienen acompañados con el desarrollo e implementación de un piloto del Sistema de Alertas Tempranas (SATA) del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques del Ecuador el cual es aplicado para la detección de deforestación e incendios en zonas vulnerables como lo son humedales o manglares. Este es el único sistema de monitoreo que emplea drones y gracias a la captura de la información se pueden establecer reportes administrativos y/o legales de degradación y deforestación. (SUIA_MAE, 2020)

De igual manera, es importante mencionar que para el fortalecimiento de la implementación del SNMB y de los sistemas M-MRV a nivel país se requieren de arreglos institucionales dentro del MAE y otros organismos clave, tales como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) para así articular un seguimiento técnico a las actividades de REDD+. Por esta razón, se han propuesto algunas líneas de acción que en el caso de: (MAE, 2019a).

Monitoreo y Medición son las siguientes:

- Establecer indicadores para los procesos de Medición y Monitoreo de las acciones en el marco de REDD+ el manejo forestal y su efectividad.
- Instituir una homologación metodológica para los sistemas de información de las instituciones involucradas, MAE y MAG.
- Instalar parcelas permanentes para monitoreo forestal, de áreas protegidas y agroforestales.

- Procurar el desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana para la deforestación que proporcione información de madera efectiva para la toma de decisiones.
- Obtener información periódica que permita el desarrollo de factores de emisión que serán empleados en la contabilidad de emisiones.
- Integrar a comunidades y nacionalidades indígenas en procesos participativos de monitoreo forestal
- Determinar información geográfica basada en el cambio de uso de suelo que aporte en el monitoreo continuo de locaciones.
- Establecer comités científicos con distintos actores del estado, la academia, investigadores en temáticas de ecosistemas, ONG de manera periódica para el análisis de resultados de monitoreo y apoyo en la toma de decisiones

Para el Reporte:

- Emplear y considerar los lineamientos establecidos en los reportes de la CMNUCC dentro del diseño del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques.
- Establecer mecanismos de articulación entre el SNMB y el Sistema Nacional de Inventarios de Gases Efecto Invernadero (SINGEI) para el sector de USCUS en los Informes Bienal de Actualización y Comunicaciones Nacionales.
- Instituir reportes del monitoreo comunitario para su consideración en el SNMB.

En el caso de la verificación, las líneas de acción buscan:

- Desarrollar las capacidades operativas para incorporar procedimientos de verificación internacional.
- Establecer un grupo de expertos a nivel nacional para procesos de verificación de resultados.
- Incentivar los procesos de verificación considerando lineamientos establecidos por la CMNUCC como un proceso oficial.

En el proceso de instauración del SNMB en los distintos ministerios e instituciones se requiere el establecimiento de roles de coordinación, en aspectos de planificación ambiental, gestión administrativa y financiera del SNMB. También el rol de comités técnicos de la Dirección Nacional Forestal (DNF), del Componente de Procesamiento de Información y Geomática del SUIA, de la Dirección Nacional de Mitigación al Cambio Climático y de Seguimiento y evaluación. De igual manera, el rol de personal de unidades, es decir, técnicos especialistas en diferentes temáticas forestales y de protección ambiental (MAE, 2019a).

Bajo el marco descrito, el Ecuador ha trabajado en los insumos necesarios para la estructuración del SNMB, el avance en el sistema MRV y el desarrollo del Nivel Nacional de Referencia de Emisiones. Tomando en consideración los avances logrados, aún se tienen algunos retos que deberán seguirse enfrentando. Entre ellos está la implementación de la detección de alertas por deforestación e incendios en SEPAL también el establecer casos de estudio piloto en las locaciones más afectadas por deforestación o tala ilegal. Personal entrenado y capacitado en el manejo de herramientas innovativas de monitoreo, así como el procesamiento de información. De igual manera, el establecimiento de tareas de verificación en campo de problemas detectados y la generación de reportes con información georreferenciada para llevar a cabo procesos administrativos y/o legales.

Escenario 2 (Sistema de Monitoreo actual +Empleo de Sistemas Aéreos No Tripulados)

Como se mencionó, en el escenario 1 se describe y analiza la situación actual del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques de Ecuador, donde se emplea sensores remotos, es decir, teledetección², juntamente con monitoreo forestal comunitario en locaciones específicas, así como mediciones y tomas de muestras *in situ*.

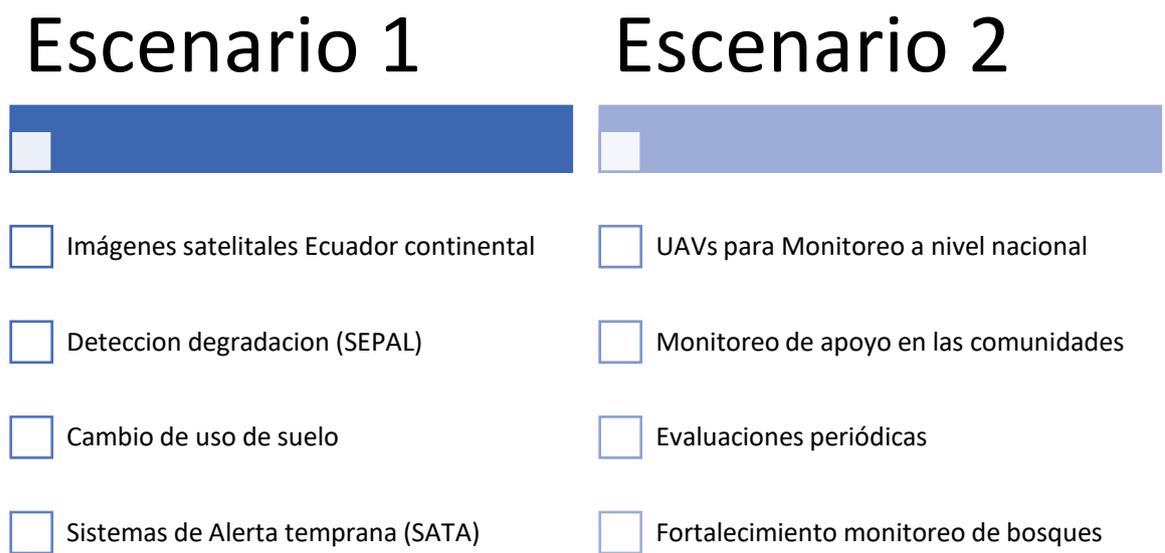


Ilustración 12. Comparación de escenarios

² Conocida como percepción remota, es aquella que permite obtener información de la Tierra u otros objetos a una distancia aérea, espacial o satelital, mediante diversos sensores aéreo, cámaras o escáneres. (Cabello et al., 2016)

Para el caso del escenario 2 se plantea la posibilidad de incorporar, a más de las herramientas y sistemas de monitoreo del escenario 1, los sistemas Aéreos No Tripulados (UAVs) de ala fija en el monitoreo forestal y de esta manera añadir las fortalezas de estos dispositivos modernos a la evaluación de zonas boscosas.

Ambos escenarios en comparación se muestran en la Ilustración 12.

El **Escenario 2** plantea como propuesta la incorporación de UAVs al Escenario 1 (monitoreo forestal actual). Además de las imágenes satelitales, el monitoreo forestal empleando UAVs, representa una alternativa tecnológica interesante para inspeccionar paisajes y generar imágenes de alta resolución espacial georreferenciadas prácticamente en tiempo real. Al complementarlos con inspecciones en campo se consideran herramientas útiles, de bajo costo y de alta confiabilidad.

A diferencia del monitoreo satelital, la inspección mediante el uso de drones se puede realizar en cualquier época del año, incluso en temporadas invernales y con lluvia, con lo cual se puede asegurar un monitoreo continuo de zonas forestales (Miranda et al., 2018).

Como se mencionó anteriormente, los UAVs pueden tener varias aplicaciones interesantes, una de ellas sería en el apoyo en el monitoreo forestal para el programa REDD+ Ecuador, sobre todo por la resolución de las imágenes que se podrían obtener con las cámaras adaptadas para estas aplicaciones, las cuales evidenciarían con mayor facilidad acciones como tala ilegal, avance de la frontera agrícola. De igual manera, es posible emplear los UAVs para un monitoreo de biodiversidad y ecosistemas sensibles que muchas veces son de difícil acceso, permitiendo la conservación de reservas forestales de carbono, y el monitoreo y gestión sostenible de los bosques ecuatorianos.

El presente estudio propone en la posibilidad de incorporar UAVs específicamente los modelos de Ala Fija, como apoyo a sensores remotos en teledetección, monitoreo forestal comunitario, sistemas de alerta temprana, mediciones y tomas de muestras in situ y otras las acciones y herramientas de monitoreo utilizadas por los organismos de control competentes. El monitoreo con estos equipos puede llevarse a cabo tomando en cuenta el Ecuador continental y las Islas Galápagos. Además, hay que considerar que al ser herramientas pequeñas pueden ser manejadas por las propias comunidades para vigilar sus bosques de manera continua.

Al realizar un comparativo de costos de obtención de imágenes mediante satélites, aviones o drones se sabe que un costo estimado empleando drones por un día estaría en el orden de \$1.000. En el caso de satélites, las imágenes del *Landsat 8* están disponibles de forma

gratuita con una resolución de 30m y el sistema de satélite *RapidEye* proporciona imágenes de resolución de 5 m por tan solo \$ 0,013/ ha. A pesar de estos bajos costos de operación, al contar con un área de trabajo de por ejemplo 10.000 ha o menos, los costos aumentarían significativamente (DroneApps, 2016).

Otra desventaja del uso de satélites es que analizan un área determinada cada tres días, con lo cual no se puede tener una reacción rápida a eventos como incendios forestales o de tala ilegal, además, las imágenes obtenidas dependen de las condiciones climáticas, nubosidades u otros que pueden interferir en los resultados, así como la baja resolución de imágenes, generalmente obtenida en metros, que para análisis a detalle no sería suficiente. En el caso de los aviones, estos otorgan imágenes de mejor resolución que las satelitales, y pueden cubrir mayores áreas que los drones, sin embargo, el costo de imágenes obtenidas por su operación solamente se podría justificar con análisis de áreas grandes (DroneApps, 2016).

En el caso de monitoreo de áreas puntuales, los costos de operación de UAVs respecto a las opciones mencionadas hacen que este sea la opción más atractiva, además de la ventaja de entregar imágenes de alta resolución en el orden de cm. Por ejemplo, para el monitoreo forestal por parte de pobladores de sus comunidades forestales. En el estudio llevado a cabo por Matese, Toscano, et al. (2015), se comparó el empleo de las tres tecnologías para conseguir imágenes de viñedos y se encontró que para los proyectos de menos de 5 hectáreas los drones eran la opción más económica, (DroneApps, 2016), tal como se aprecia en la Ilustración 13.

Como se puede observar, el costo de operación con UAVs para un área de 5 ha es de aproximadamente \$ 1 765, respecto a \$ 2 600 por aviones, o \$ 2 900 por satélites, con lo cual se vuelve la opción más factible para el monitoreo.

Basados en esta información, se puede inferir que el monitoreo con UAVs en áreas de entre 5 y 20 ha por día presenta precios competitivos respecto a las otras tecnologías, y que sus resultados en tiempo real y con obtención de mapas 3D a partir de imágenes de alta resolución la hacen una excelente opción de monitoreo (DroneApps, 2016; Matese et al., 2015).

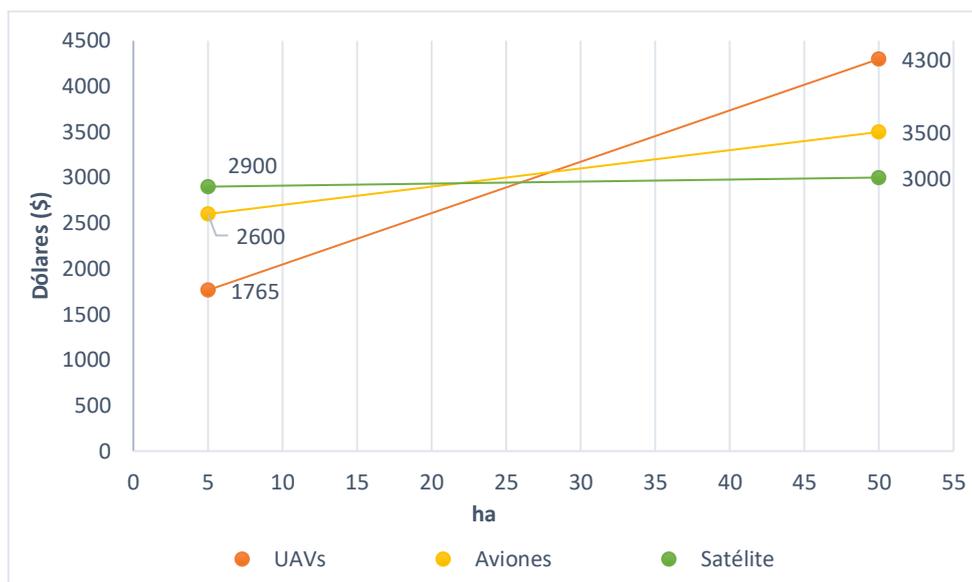


Ilustración 13. Comparación entre tecnologías

En resumen, en la Tabla 4 se señalan las ventajas y algunos obstáculos que presentan los UAVs respecto a otras tecnologías (Ballari et al., 2016; Bustamante, Flores, Ronald, & Ontiveros Capurata, 2016).

Para esta investigación se llevaron a cabo reuniones en el Ministerio del Ambiente (MAE)³, con los encargados del monitoreo forestal de Ecuador, en las cuales se mencionó el uso de distintos sistemas de detección remota para el monitoreo de bosques a nivel nacional mediante satélites, así como de casos puntuales de monitoreo con drones del tipo tetracópteros SCOUT. En el primer caso debido a la resolución de las imágenes entregadas por estos dispositivos (en metros), es posible que en el momento de realizarse los respectivos análisis se pase por alto indicios de tala ilegal, o crecimiento de la frontera agrícola.

Asimismo, se destacó el uso de UAVs de tetracópteros, los mismos que han sido utilizados para medir la deforestación y resguardar áreas protegidas, acciones que forman parte del sistema SATA.

³ Reuniones en las instalaciones del MAE con la Ing. Valeria Correa, técnica de Proyectos y los encargados del monitoreo forestal del MAE y PNUD (marzo 2018).

Tabla 4. Ventajas y desventajas del uso de UAVs

VENTAJAS	DESVENTAJAS
El uso de estas tecnologías permite la obtención de información y mapeo de una gran superficie en un tiempo menor respecto al de otros sistemas. Monitoreo continuo y permanente.	Autonomía de vuelo relacionado con la duración de las baterías, para multirrotores es de alrededor de 30 minutos y cobertura por vuelo de 65 ha.
Alta resolución de las imágenes obtenidas gracias a sus sensores especializados, en muchos casos mayor que las imágenes satelitales.	Autonomía de vuelo a un tiempo de vuelo estimado de 30 a 90 minutos y cobertura por vuelo de 120 a 3.800 ha.
Reducción de costos de inspección respecto a técnicas convencionales.	Problemas de estabilidad de imágenes y del aparato en condiciones ambientales adversas. Conocer las velocidades máximas de ascenso y descenso, junto con la velocidad horizontal, alturas mínima y máxima en la que opera cada sistema UAVs, así como las temperaturas.
Monitoreo a zonas de difícil acceso.	Requiere de Software especializado o desarrollo de este.
Alta disponibilidad de datos recolectados en tiempo real.	Sistemas de procesamiento de imágenes. Mientras mejor sea la resolución de imágenes con mayor cantidad de píxeles, aumenta significativamente el tiempo de procesamiento de computacional.
Aplicaciones en la identificación de especies, monitoreo vegetal, detección temprana de siniestros, incendios, tala ilegal, etc. Fortalecimiento del sistema SATA.	Se requiere de personal capacitado para el manejo de UAVs.

Se comentó que se han empleado principalmente drones *Skyranger* que son cuadricópteros que pueden desplazarse hasta 3 metros desde su base y elevarse unos 450 metros, también es posible adaptarles cámara infrarroja o térmica. Estos equipos cuentan con el sistema “*streaming*” que permite obtener fotografías y mapas de alta definición con un *zoom* de 30x en tiempo real y a través del internet⁴ (MAE, 2018a).

Sin embargo, el principal inconveniente del uso de estas tecnologías es el limitado tiempo de vuelo, el mismo que depende de la capacidad de las baterías, razón por la cual su uso está restringido a pequeñas escalas de evaluación, además, que actualmente no existe una normativa que regule su funcionamiento a nivel nacional (Argotty et al., 2019).

A pesar de este inconveniente, se resaltó la importancia de los sistemas de detección remota, como instrumentos preventivos y de protección de bosques. En correos intercambiados con especialistas en el MAE en el 2020 se ha indicado que debido a la situación política, económica y social del Ecuador no han existido cambios en las disposiciones respecto al uso de sensores remotos, o una nueva adquisición de equipos de monitoreo por drones, ya que se cuenta con la información proporcionada por los satélites.

Por lo tanto, y después de la evaluación de la información recolectada, así como de las entrevistas con técnicos y operarios del MAE, se plantea la propuesta de este estudio, de tal manera que se analice la viabilidad operacional de la incorporación de UAVs especialmente de ala fija dentro del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques (SNMB) de Ecuador para su fortalecimiento. (MAE & Ecuador, 2016).

En este estudio se analizará la opción de UAV de ala fija para el fortalecimiento del sistema de monitoreo, en lugar de un multirotor, debido principalmente a ser un UAV con mayor autonomía de vuelo, es decir mayor tiempo de análisis y que permite la evaluación de mayor cantidad de áreas para monitoreo.

Además, se plantea utilizar un sistema informático especializados para la planificación de misiones, el mismo que se podría adquirir tomando en consideración el uso de software libre, por ejemplo, el *APM Planner*. El sistema de piloto automático basado en APM incluye procesador de computadora, GPS, registro de datos, giroscopio, acelerómetro, sensores (temperatura, presión, velocidad del aire), este sistema es necesario combinarlo junto a un software de código abierto. También, se sugiere desarrollar el software de manera local en diversas instituciones investigativas y universidades a nivel nacional. Con este paquete

⁴ Contacto con técnicos del MAE, entrevistas llevadas a cabo e intercambio de correos electrónicos.

informático y con la ayuda de un mapa satelital obtenido de una plataforma como Google, se establece la misión a seguir (Koh & Wich, 2012).

Con las imágenes obtenidas, procesadas y georreferenciadas durante la misión, es posible evaluar el estado de la locación analizada, es decir, determinar el cambio en el uso de suelo, establecer zonas deforestadas, evidenciar el avance de la frontera agrícola con distintas plantaciones, también asentamientos humanos, detección temprana de tala ilegal, o de introducción de especies vegetales invasivas, y mediante esta información, usarla como sustento para la toma de decisiones de diversas medidas o reglamentos por parte de los Ministerios encargados del monitoreo forestal, MAE, así como el establecimiento de políticas públicas a favor del medio ambiente, o en el caso del programa REDD+ evidenciar la reducción de la deforestación y protección de bosques, y la conservación de bosques protegidos y sumideros de carbono (Koh & Wich, 2012; Tang & Shao, 2015).

CAPÍTULO III. Propuesta de incorporación de UAVs para la REDD+ de Ecuador

1. Desarrollo de la propuesta de metodología para posible incorporación de UAVs en el PA REDD+ de Ecuador

Como se describe en la **sección 7.2** del Capítulo I, la incorporación de UAVs a los sistemas de monitoreo forestal se ve documentada en varios países y cuenta con interesantes resultados que pueden ser replicados en otras localidades. Tales resultados son reflejados en resumen en la Tabla 5. El presente estudio considera el potencial de los UAVs de ala fija como herramientas adicionales y de apoyo para monitoreo y protección de bosques a las actualmente empleadas en esta tarea en el PA REDD+ de Ecuador.

A continuación, se describe la propuesta de metodología de Monitoreo Forestal con UAVs de ala fija para el monitoreo de zonas forestales en Ecuador. Para esta metodología, se ha tomado como referencia el periodo de tiempo 2017-2020 debido a que es durante esta época en la cual se realizó el levantamiento de información, así como las entrevistas en el Ministerio del Ambiente de Ecuador como parte del proyecto de prácticas profesionales personales para la Maestría de Flacso la cual se denominó: “Análisis de implementación de Sistemas Aéreos No Tripulados (UAVs) como apoyo a los sistemas de monitoreo actuales para la protección forestal en Ecuador”.

La metodología propuesta de Monitoreo Forestal con UAVs de ala fija para el caso ejemplo ecuatoriano tomo en consideración el análisis de países en vías de desarrollo que ya han considerado el empleo de UAVs en el componente de monitoreo forestal. En la siguiente tabla se indican los principales hallazgos.

Tabla 5. Principales hallazgos de Monitoreo en países en vías de desarrollo.

Países	Papua Nueva Guinea	Costa Rica	Perú	Brasil	Panamá	Colombia	Chile
Monitoreo Forestal							
Compromisos internacionales de conservación de bosques	x	x	x	x	x	x	x
Apoyo económico Internacional	x	x	x	x	x	x	x
Análisis temporales anuales	x	x	x	x	x	x	x
Nivel de referencia	x	x	x	x	x	x	x
Información satelital	x	x	x	x	x	x	x
UAVs							
Capacidad operativa	Reforzar	x					
Capacidad técnica	Reforzar	x					
Capacidad de análisis de la información	Reforzar	Reforzar					
Puntos de muestreo con imágenes de alta resolución		x					
Detección de deforestación o tala ilegal en tiempo real	x	x	x	x	x	x	x
Incendios forestales		x				x	
Apoyo sistemas alertas tempranas	x		x	x	x	x	x
Monitoreo en zonas de difícil acceso		x		x			x
Monitoreo por habitantes de zonas forestales comunitarias	x		x		x		
Análisis de biomasa	x	x		x			
Medición de carbono		x		x			
Análisis de biodiversidad	Reforzar						
Normativa de uso de UAVS	x						

Para la mayoría de los países analizados el Monitoreo forestal está instaurado en el sentido de dar cumplimiento a compromisos internacionales de lucha contra el cambio climático y protección forestal. De igual manera, muchos de los países cuentan con apoyo económico internacional y fondos dedicados al cuidado de sus bosques y reservas forestales. Los países han establecido un nivel de referencia para el monitoreo de bosques y esta evaluación generalmente es realizada mediante monitoreo satelital con imágenes de baja o mediana resolución.

Respecto al uso de herramientas de detección remota como lo son los UAVS PNG, Costa Rica, Brasil destacan experiencias en su uso para el monitoreo, sin embargo, la mayoría los emplea para detecciones puntuales de deforestación o tala ilegal, de igual manera, para ubicar y cuantificar incendios forestales, acceder a zonas remotas que de otra manera son de difícil acceso y no como parte de un sistema de monitoreo de bosques robusto y fortalecido con drones.

En algunos países como PNG, Panamá y Perú se han llevado a cabo tareas de capacitación a comunidades y pobladores de zonas forestales con el fin de integrarlos a los procesos de participación en el monitoreo forestal, acción muy importante de involucramiento que puede ser replicada en otras localidades.

De igual manera se destaca que Costa Rica y Brasil han aprovechado las prestaciones de los drones y los han utilizado para llevar a cabo análisis de biomasa de las zonas monitoreadas, medición de carbono y análisis de biodiversidad, información esencial para el manejo y conservación sostenible de los bosques, así como para las estimaciones de emisiones de GEI para los inventarios nacionales.

Se debe indicar que PNG y Costa Rica han establecido y desarrollado la capacidad técnica y operativa para llevar a cabo su monitoreo forestal con UAVs, a pesar de ello reconocen que es importante trabajar en su fortalecimiento, de igual manera es esencial contar con la capacidad técnica para analizar la información recolectada.

En la mayoría de los países no se cuenta con una base normativa que regule y controle el uso de drones para monitoreo forestal, pero este no es el caso de PNG que ha establecido una normativa de monitoreo forestal y de utilización de UAVs que puede ser empleada como una base para el establecimiento en otros países.

De esta manera, y basados en los hallazgos de los países mencionados se considera establecer una propuesta de incorporación de UAVs para monitoreo forestal para el caso Ecuador tomando en consideración los beneficios mencionados de estas herramientas que permitirán el fortalecimiento del SNMB del país.

2. Caso de aplicación de la propuesta de metodología de incorporación de UAVS en el monitoreo forestal

Con base a lo mencionado, a continuación, en la Ilustración 14 se hace una descripción del monitoreo con UAVs del tipo ala fija para la REDD+ de Ecuador, tomando en consideración los aspectos y acciones necesarias en cada etapa del monitoreo forestal.

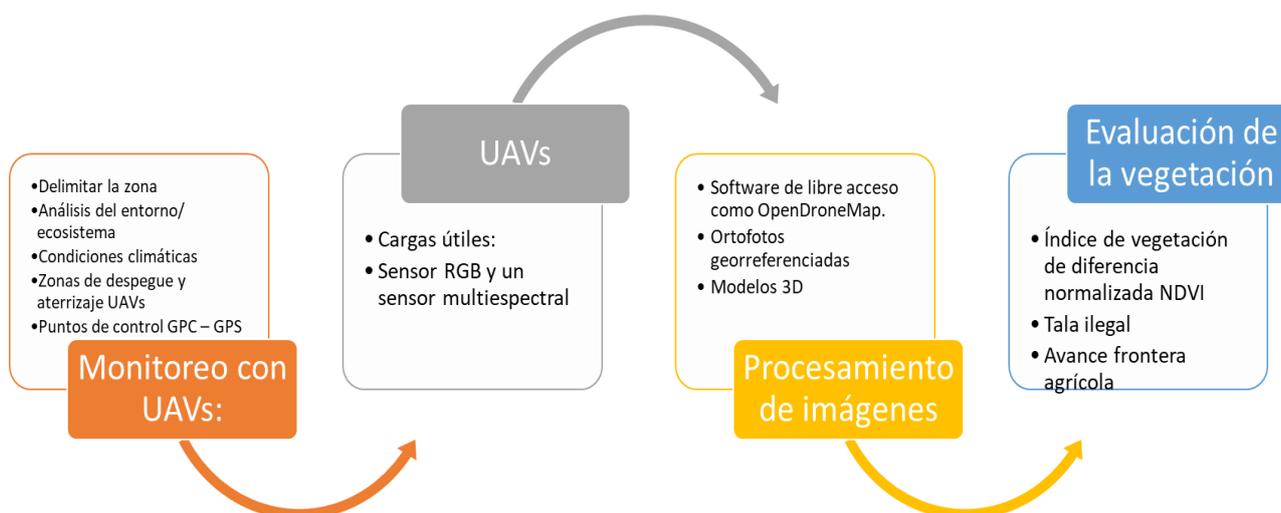


Ilustración 14. MRV con UAVs para PA REDD+ de Ecuador

La descripción de la metodología propuesta de monitoreo con UAVs de zonas boscosas amenazadas por la deforestación debido a avance de la frontera agrícola o tala ilegal debe considerar los siguientes aspectos:

- Realizar la recopilación de información necesaria en campo (condiciones climáticas)
- Escoger el equipo adecuado de UAVs y evaluar su desempeño
- Planificar las misiones del mecanismo.
- Procesamiento de imágenes con un software especializado
- Analizar la información recolectada

En este sentido, y basados en el esquema sugerido las misiones de monitoreo forestal deben establecer y delimitar la zona a ser monitoreada. Se requiere hacer un reconocimiento in situ del bosque a analizar, considerando su topografía, es decir, pendientes, desniveles y accidentes topográficos. Muchas veces debido a la gran frondosidad y diversidad de los bosques, es difícil delimitar con gran precisión el área y

zonas de monitoreo, sin embargo, es necesario hacer aproximaciones del sitio a evaluar con puntos de control para los UAVs.

Para establecer los límites se lleva a cabo un análisis de bosques y ecosistemas mediante evaluación de flora y fauna de la zona para identificar especies predominantes, sean estas de origen endémico, introducidas o pérdida de estas a causa de factores antropogénicos. Se sugiere además evaluar las condiciones atmosféricas de la zona monitoreada, es decir, su temperatura, humedad relativa, precipitación, condiciones de viento y velocidad. Con la información obtenida se realizan estimaciones y pronósticos del tiempo ambiental, tanto en época lluviosa como seca, así como turbulencias y otras afectaciones ambientales que podrían interferir con el correcto desempeño del UAV (Valencia et al., 2020).

En el reconocimiento in situ se debe identificar las zonas más adecuadas de despegue y aterrizaje de los UAVs, que generalmente se sugiere que sean en locaciones planas. También se deben establecer cuáles y cuantos serán los puntos de control en tierra (GCP, por sus siglas en inglés) que son esenciales para el sistema de posicionamiento global (GPS) y la corrección en la georreferenciación de imágenes.

En el diseño y tamaño de UAV se considera las cargas útiles para el análisis de vegetación y cambios en la vegetación. En el caso de análisis de zonas forestales se podría sugerir el empleo de sensor RGB y un sensor multiespectral, también se toman en cuenta las necesidades aerodinámicas de la zona, con lo cual el sistema de propulsión se diseña de acuerdo el peso de todo el sistema de drones, es decir, el fuselaje, sistema de telemetría, cargas útiles y propulsión.

El procesamiento de imágenes capturadas se debe realizar con la ayuda de un software de libre acceso como OpenDroneMap, que entrega ortofotos georreferenciadas y corregidas. Las cámaras multiespectrales ayudan con la creación de varios mapas de cobertura y modelos 3D de alta resolución, orto mosaico, nube de puntos a todo color, modelo de superficie digital (DSM), modelo de elevación digital (DEM) y la malla texturizada 3D son el resultado de las fotografías de la cámara RGB.

En el ortomosaico se podrá distinguir los diferentes tipos de bandas capturadas con la cámara multiespectral. La evaluación de la vegetación emplea el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, también conocido como NDVI que son detectados mediante bandas del espectro visual y el infrarrojo de onda corta (SWIR) o infrarrojo cercano (NIR) del espectro infrarrojo. Este índice NDVI proporciona una evaluación vegetal integral de la zona analizada, con lo cual las imágenes multiespectrales extraen información valiosa de ecosistemas de las zonas boscosas.

Como caso ejemplo de aplicación de la metodología propuesta de UAVs el monitoreo forestal en Ecuador se puede considerar el Refugio de vida Silvestre “La Chiquita”, Ilustración 15, ubicada en la provincia de Esmeraldas, con una extensión de 809 hectáreas, y que comprende bosque húmedo tropical de la región del Chocó, de gran biodiversidad. Esta reserva natural fue establecida como área protegida por el país desde el 2002 (MAE, 2017a).



Ilustración 15. Refugio de Vida Silvestre La Chiquita

La razón por la cual se escoge esta zona es debido a que, como se mencionó para el país, la provincia que mayor tasa de deforestación tiene es en Esmeraldas, y generalmente la deforestación en esta zona ocurre por el cambio de uso de suelo para actividades agrícolas o extractivistas de madera. Así, el monitoreo satelital que se realiza actualmente, y gracias a las resoluciones de las imágenes que presentan, generalmente en metros, no permite un análisis a detalle de conservación de bosques y evaluación específica de cobertura forestal en zonas que se ven amenazadas por el avance de la frontera agrícola, muchas veces ilegal (Wich, 2015).

El MAE realizó la inspección en este lugar utilizando un vehículo aéreo denominado SCOUT, que es un tetracóptero armable con autonomía de vuelo de alrededor de 18 minutos y con capacidad de monitoreo de entre 15 y 20 ha, en una zona en la cual existía la sospecha de tala ilegal y de cambio de uso de suelo, el área a analizarse en esta reserva fue cercada a 30 ha, Ilustración 16.

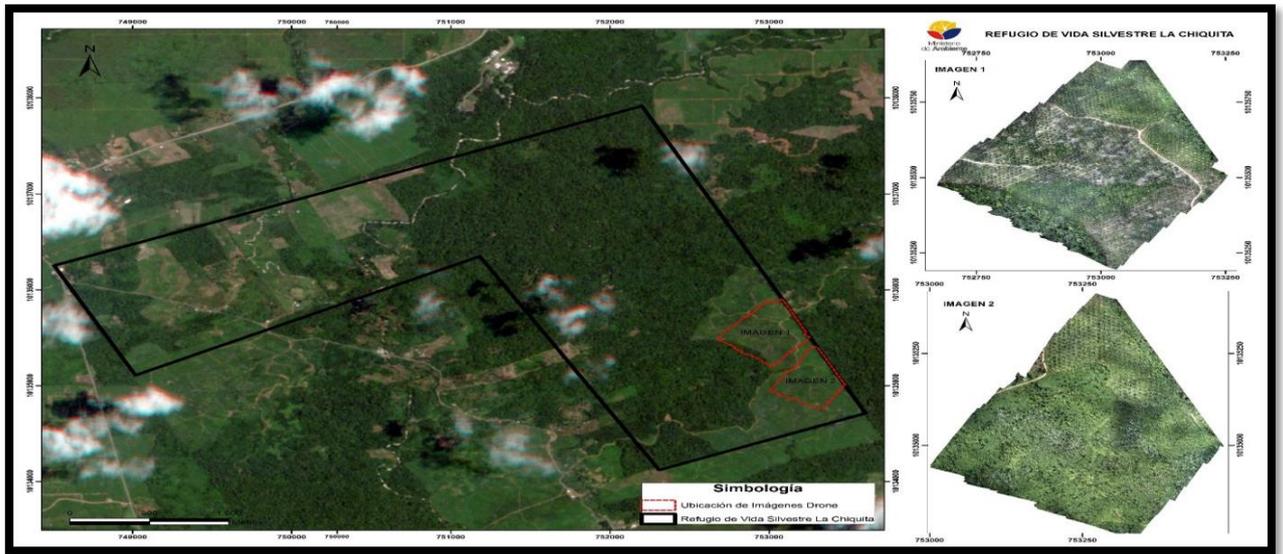


Ilustración 16. Zona analizada “La Chiquita”
*Fuente:MAE

Tomando en consideración la fotografía Ilustración 17, obtenida del monitoreo con tetraedros se puede apreciar:

- Zonas agrícolas (1)
- Área deforestada (2)
- Pastizal (3)
- Deforestación con cultivo (4)
- Bosque nativo (5)



Ilustración 17. Cambios de uso de suelo “La Chiquita”
*Fuente:MAE

En el análisis de resultados de la evaluación con drones se evidencia un área importante de zonas agrícolas que hacen sugerencia a cultivos de palma africana, también se evidencia áreas deforestadas que podrían ser considerados futuros terrenos de cultivo o pastizales, así como una franja de deforestación con cultivo. Todas las zonas mencionadas se encuentran apreciablemente cerca de bosque nativo, con la cual una posible zona de amortiguamiento de protección de bosques se ve disminuida. Estas acciones se podrían interpretar como un avance de la frontera agrícola.

Es por esta razón, y con el fin de preservar las reservas forestales y combatir acciones de cambios de uso de suelo por agricultura o tala ilegal el presente proyecto de investigación propone reemplazar los drones empleados actualmente por UAVs de ala fija y así fortalecer los sistemas de monitoreo forestal y los de los sistemas de alerta temprana.

Estos equipos tienen como características ser más ligeros, presentar mayor autonomía, y, por tanto, pueden abarcar mayores áreas para monitoreo forestal en tiempo real y con costos menores respecto a un monitoreo con aviones o satélites. En el caso de la reserva “La Chiquita” se podría hacer un análisis de un mayor número de hectáreas a las ya evaluadas, en zonas remotas de difícil acceso, verificar su estado y las posibles amenazas en un tiempo considerablemente menor (senseFly, 2016).

En la Ilustración 18 se aprecia el sistema propuesto con el UAV “Sensefly eBee”, citado como ejemplo de UAV de ala fija para aplicaciones en monitoreo forestal. Este dron tipo avión permite un mapeo profesional y monitoreos aéreos en extensiones de más de 100 ha con una autonomía de vuelo de aproximadamente una hora.



Ilustración 18. Esquema sugerido

El UAV Sensefly de 690 gramos cuenta cámaras espectro visible de 18.2 MPx para la realización de levantamientos topográficos, y puede llegar a alcanzar velocidades de entre 40 y 90 km/h. El software para establecer el plan de vuelo y su manejo viene incorporado, y se denomina “eMotion”. Después de la captura de imágenes aéreas, estas son analizadas usando un software profesional de procesamiento de imágenes, por ejemplo, el “Pix4Dmapper” (senseFly, 2016).

En la Hoja de Ruta de la metodología propuesta de monitoreo deberían también considerarse los siguientes aspectos:

- Manejo de UAVs a cargo de técnicos especializados.
- Desarrollo de sistemas de alerta temprana en las comunidades.
- Creación y seguimiento a bases de datos
- Elaboración de estadísticas de cambio de uso de suelo.
- Difusión de la información

Al llevar a cabo las misiones de monitoreo de bosques, operarios especializados tanto del MAE como de otras instituciones de investigación pueden realizar esta tarea. Además, es deseable que estas capacidades técnicas y operativas sean desarrolladas en los mismos pobladores, haciendo que ellos cumplan el rol de vigilar sus locaciones y se establezcan los sistemas de alerta temprana en las comunidades.

A partir de la información recolectada en cada misión de vuelo se considera importante elaborar bases de datos y establecer un seguimiento a las mismas, con lo cual se fortalecen los sistemas de alerta temprana y se crean índices estadísticos de cobertura boscosa y cambios de uso de suelo. Una manera de fortalecer este sistema de monitoreo propuesto sería con la difusión de la información recolectada a los interesados, pobladores, investigadores, actores sociales, políticos y público en general, que en procesos participativos podría continuar con la retroalimentación y mejora continua de la metodología.

3. Requisitos para la implementación del sistema de monitoreo sugerido

Después de analizar el Sistema de Monitoreo de Bosques y el MRV de Ecuador mencionado en el capítulo 2 sección 3 sabe que se han existido experiencias de un monitoreo con drones puntuales, sin embargo, no han sido institucionalizados como parte del SNMB.

Es por esta razón que el presente trabajo de investigación muestra una propuesta metodológica de incorporación de UAVs de ala fija como herramientas adicionales para el fortalecimiento del actual SNMB y que permitan el monitoreo zonas forestales vulnerables que requieran una evaluación más detallada.

Por tal motivo, a continuación, se indica un marco de referencia explicativo para la incorporación de estos sistemas en el SNMB del contexto ecuatoriano.

Parte Operativa	Adquisición de equipos (sistemas aéreos no tripulados de ala fija)
	Capacitación de técnicos y operarios
	Desarrollo de paquetes informáticos (software) sistemas de planificación de misiones
	Elaboración de software para generación del mosaico georreferenciado
	Departamento de recolección y análisis de información
	Interfase web de entrega de resultados.
Parte Normativa	Propuesta de actualización de la Normativa para el manejo de drones en territorio ecuatoriano.
	Fortalecimiento de la Secretaria de Monitoreo Forestal
	Institucionalización de Metodologías de uso de UAVs para el monitoreo forestal
Resultados	Departamento de Analisis de resultados de monitoreo forestal y estadísticas.
	Políticas de Protección Medioambiental que tomen en consideracion el uso de <u>UAVs como herramientas de fortalecimiento al sistema de monitoreo actual.</u>

3.1. Parte Operativa y Técnica

En esta sección se explican y desarrollan los componentes referidos a la adquisición de equipos UAVs, su funcionamiento, aspectos operativos y técnicos para el monitoreo forestal propuesto.

➤ *Adquisición de equipos (sistemas aéreos no tripulados de ala fija)*

Se propone la compra de UAVs de ala fija, equipos de mejores prestaciones que los multirrotores, principalmente por su autonomía de vuelo. Los sistemas de ala fija presentan una autonomía de vuelo de hasta 90 minutos comparados con los multirrotores que tienen una autonomía de alrededor de 15 minutos. De esta forma los UAVs de ala fija pueden abarcar áreas más extensas (Paneque-Gálvez et al., 2014).

En la Ilustración 19 se observa el UAV de ala fija planteado, y el *Drone Scout Multirotor* actualmente utilizado por el MAE.



Ilustración 19. Esquema básico de uso de UAVs ala fija y multirrotores (Scout)

*Fuente: <https://www.vistadrone.es/drones/drone-ala-fija/>

Se sugiere que instituciones del Estado dedicadas a la protección forestal, tales como el Ministerio del Ambiente, de Ganadería o Turismo realicen esta tarea, debido a que el monitoreo propuesto será a nivel nacional y se constituirá como un respaldo a la política forestal del país, incluido REDD+. Los recursos económicos necesarios para la adquisición de 10 drones (alrededor de cien mil dólares) podrían provenir por parte de recursos del estado u otras fuentes de financiamiento que se estimen convenientes. En el caso fondos que el Ecuador es beneficiario como los del Fondo Verde para el Clima (FVC) se sugiere considerar estas adquisiciones mediante modificaciones presupuestarias fundamentadas en estudios como el presente, donde se resalte la importancia del uso de UAVs para monitoreo forestal.

La adquisición de estos equipamientos constituiría una primera inversión, sin embargo, se podría sugerir invertir esos fondos en instituciones de investigación del país para la construcción y desarrollo de estos equipos. Un candidato sugerido podría ser la Escuela Politécnica Nacional, que actualmente desarrolla este tipo de iniciativas. Además, se podría plantear y fomentar el desarrollo de UAVs de ala fija que tengan fuentes de alimentación alternativas, como celdas fotovoltaicas, o emplear combustibles más “amigables” con el medioambiente. En este sentido ya existe la tendencia de trabajar con materiales más

livianos para el fuselaje y nuevos combustibles que permitan un consumo energético más eficiente, y con ello reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que se liberan a la atmósfera.

➤ *Capacitación de técnicos y operarios*

Como siguiente paso a la adquisición de los sofisticados equipos de monitoreo forestal sugeridos, es esencial que se invierta en entrenar al personal en el manejo adecuado de los equipos para llevar a cabo las misiones de vigilancia.

Los UAVs adquiridos deben contar con operarios capacitados teórica y operativamente en el uso de los equipos. Las horas de vuelo son esenciales para contar con certificaciones y licencias de vuelo que avalen este conocimiento. Los operarios serán funcionarios del Ministerio del Ambiente, aunque se sugiere entrenar a los mismos pobladores de las zonas forestales a monitorear en el uso de UAVs. Esta actividad generará un mayor compromiso por parte de los habitantes en la protección de sus bosques.

➤ *Desarrollo de software para la planificación de misiones*

Para el uso de UAVs como herramientas de monitoreo forestal, es necesario contar con un sistema de planificación de misiones. Para ellos se podría optar por un software libre como por ejemplo el *APM Planner*⁵. Sin embargo, se sugiere desarrollar uno de manera local por parte de instituciones de investigación a nivel nacional.

A partir del mencionado software, y con la ayuda de un mapa satelital obtenido de una plataforma libre como Google, se establece la misión a seguir de los UAVs. Como se mencionó anteriormente, personal entrenado en el manejo de estos equipos de monitoreo debe realizar esta operación.

Es importante mencionar que además de programar los despegues y aterrizajes del UAV por medio del mencionado software, también se puede establecer la velocidad de desplazamiento y altitud. De acuerdo con estos parámetros la captura de imágenes tendrá una resolución determinada (Koh & Wich, 2012).

➤ *Elaboración de software para generación del mosaico georreferenciado*

⁵ Sistema de Software libre para planificación de misiones de monitoreo que cuenta con auto pilotaje

Después de completada la misión de monitoreo, se procede a descargar la información obtenida, y con la ayuda de un software libre se pueden conseguir mosaicos georreferenciados. Como ejemplo de paquete informático se cita el Autopano giga; kolor.com, el mismo que procesa las imágenes aéreas, y con el cual se tendrían mapas de cobertura / uso de la tierra en tiempo casi real.

En la Ilustración 20 se observa un un esquema básico de uso de UAVs en monitoreo forestal.



Ilustración 20. Esquema básico de uso de UAVs en monitoreo forestal

*Fuente: <http://www.droneflow.com/>

De acuerdo con la gráfica anterior tenemos las siguientes acciones:

- **Plan de vuelo:** selección del área de estudio, se planifica y se simula la misión.
- **Vuelo:** despegue, captura y geotiqueta de imágenes de alta resolución.
- **Procesamiento:** procesamiento de imágenes mediante software y obtención de orto mosaicos.
- **Entrega de resultados:** resultados en formatos CAD, GIS, etc.

De igual manera, se sugiere invertir en su elaboración a nivel local, con lo cual no sólo se obtendría el programa, sino también se crearían las capacidades de desarrollo de programación necesarias en institutos de investigación y universidades en el país (Koh & Wich, 2012).

➤ *Departamento de recolección y análisis de información*

Se sugiere crear o fortalecer un departamento de recolección y análisis de información recolectada para los sistemas de monitoreo UAVs, en el seno del MAE para así crear las capacidades necesarias para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en los monitoreos forestales. Con las imágenes obtenidas durante la misión, se podría evaluar el estado de la locación analizada, es decir, determinar el cambio en el uso de suelo,

identificar zonas deforestadas, evidenciar el avance de la frontera agrícola con distintas plantaciones, también asentamientos humanos, detección temprana de tala ilegal, o de introducción de especies vegetales invasivas. Esta información obtenida podría usarse como sustento para la toma de decisiones de diversas medidas o reglamentos por parte de los Ministerios encargados del monitoreo forestal, MAE, así como el establecimiento de políticas públicas a favor del medio ambiente. En el caso del programa REDD+ podría emplearse para monitorear la deforestación y el estado de los bosques, entre otros.

La incorporación de UAVs al monitoreo forestal, más allá de otorgar imágenes con mejores resoluciones respecto a las satelitales, beneficiaría en el hecho de entregar información en tiempo real, es decir, se podría evidenciar de manera más precisa el cambio de uso de suelo, para a partir de ella poner en marcha sistemas de alerta temprana (Koh & Wich, 2012; Tang & Shao, 2015).

➤ *Interfase web de entrega de resultados.*

Se propone la creación de una plataforma web en la cual se carguen los resultados obtenidos de los monitoreos forestales, para que sean de acceso libre para el público en general lo cual sirve para transparentar este proceso y garantizar los resultados obtenidos de la aplicación de programas de protección forestal como REDD+.

En cuanto a su operatividad, a continuación, se resumen los aspectos principales de su funcionamiento:

✓ **Antes del Monitoreo**

Para misiones de monitoreo se tomarán en cuenta las siguientes acciones que serán documentadas en archivos electrónicos:

- Establecer un calendario de evaluaciones forestales (semanales/mensuales/trimestrales/etc.) a nivel país.
- Determinar el área o Región a evaluar: Costa, Sierra, Amazonia, Insular.
- Indicar el Tipo de Monitoreo o la acción a evaluar: Monitoreo Forestal, Incendio Forestal, Análisis De Vegetación, tala ilegal u otro.
- Establecer parámetros y condiciones de operación: Número de UAVs a utilizar (depende del área), número de operadores, velocidad de operación, altitud, tipo de cámara, donde las condiciones varían de acuerdo con la altura, presión, humedad, temperatura.
- Crear el plan de vuelo, que será el resultado de la información ingresada.

A continuación, se detalla el esquema sugerido previo al Monitoreo, Ilustración 21:

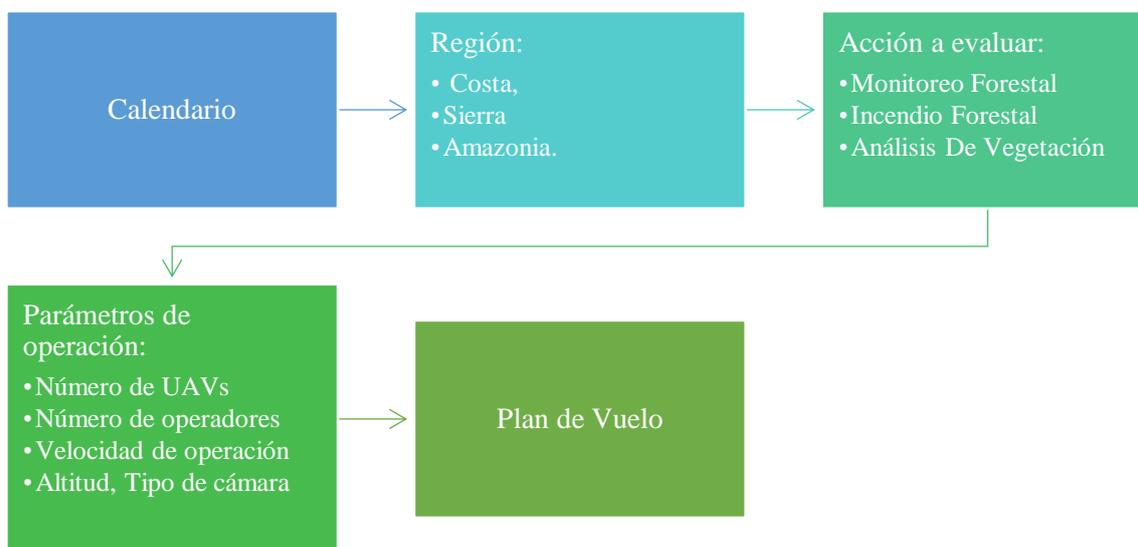


Ilustración 21. Esquema previo al Monitoreo

La información será recolectada y almacenada en documentos digitales que serán subidos a plataformas de información de libre acceso. Se deberá escoger las opciones de acuerdo con el monitoreo a realizar. En la Tabla 6 se muestra como ejemplo todas las opciones desplegadas.

Tabla 6. Información previa al monitoreo

Información Previa al Monitoreo										
Evaluación forestal	Región	Tipo de Monitoreo	Parámetros de operación							Plan de vuelo
			# UAVs	# de operador	Vel Operación	Altitud	Presion	Humedad	Temperatura	
Semanal	Costa	Monitoreo Forestal								
Mensual	Sierra	Incendio Forestal								
Trimestral	Amazonia	Análisis De Vegetación.								
	Insular	Tala Ilegal								
		Otro								

✓ **Monitoreo**

Para llevar a cabo el monitoreo con UAVs de ala fija en zonas forestales se sugiere el siguiente esquema, Ilustración 22.

En primer lugar, se toma en consideración el sistema de posicionamiento en tierra, es decir, la estación central, la misma que contempla una estación de puntos de control para manejo de UAVs, es decir, puntos que sirven para la recolección de información en la etapa de campo.

La etapa de vuelo y de vigilancia o monitoreo de los UAVs es controlada por el plan de vuelo previamente establecido, el responsable del manejo del dron de ala fija, y/o el autopiloto. Muchas veces, si el proceso exploratorio lo requiere, se puede incorporar a estos sistemas de monitoreo sensores de alta tecnología, además, de las cámaras digitales de captura de imágenes GPS.

Finalmente, con las imágenes recolectadas se procesan los resultados los cuales pueden ser representado en un Mosaico u Ortofotos, de acuerdo con los requerimientos establecidos.

Para el caso en el que la misión establecida analice cambios en el uso del suelo en un área determinada, se debe tomar en consideración la Ecuación 1 de variación de áreas para calcular la deforestación anual neta promedio.

$$R = \frac{A_1 - A_2}{t_1 - t_2}$$

Ecuación 1

Donde:

R: Deforestación anual neta promedio

*A*₁: Bosque inicial

*A*₂: Bosque final

*t*₁: año inicial

*t*₂: año final

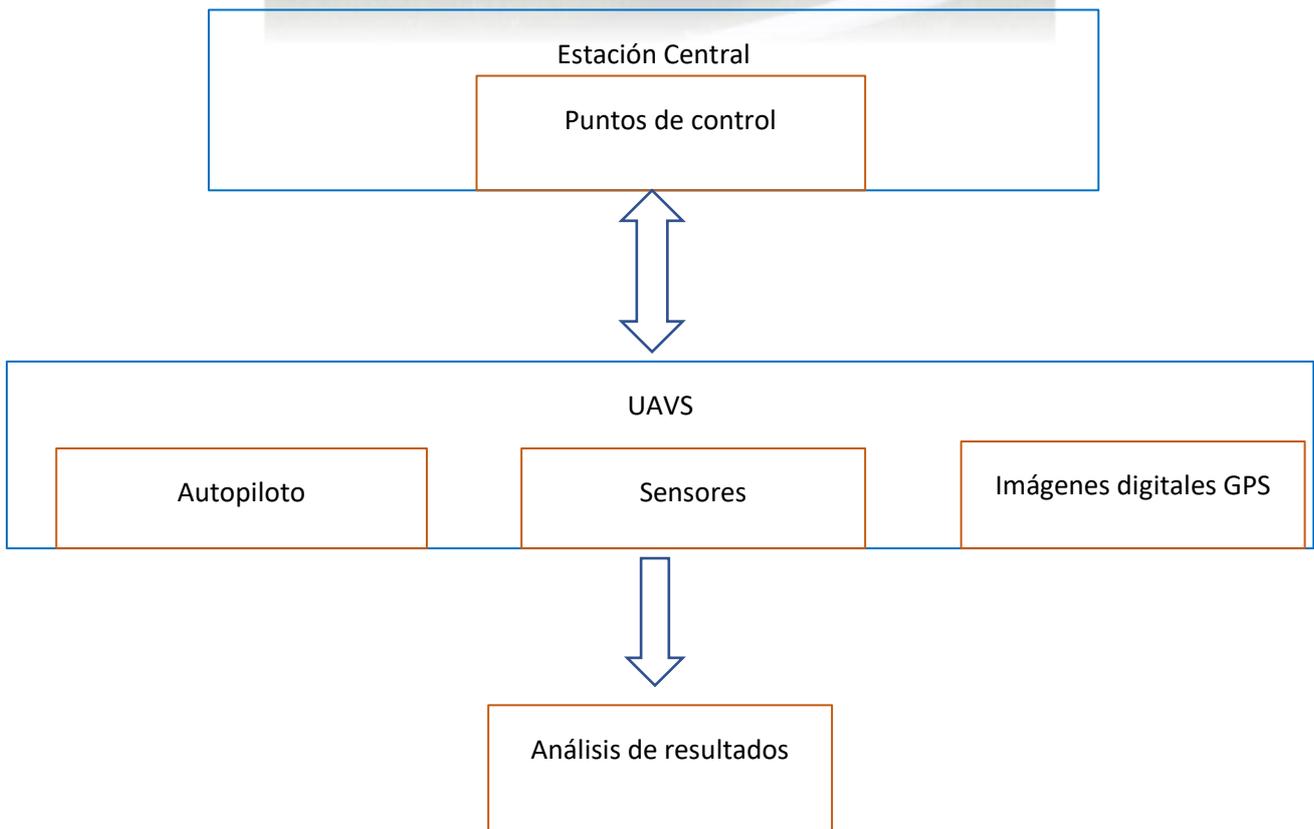


Ilustración 22. Esquema de Monitoreo

En el desarrollo de las misiones de vuelo es importante considerar la extensión del área a explorar. Por ejemplo, si se analiza el bosque Deciduo de la Región Costa, con una extensión de aproximadamente 25. 673 km² el proceso de monitoreo tomaría varios días, además de varios drones para el monitoreo los mismos que deberán ser capaces de comunicarse durante la misión para complementar la información captada que será transmitida a las estaciones de Control. También se debe considerar que para este tipo de análisis se deben establecer puntos de recarga de los UAVs, así como estaciones de mantenimiento o de reparación en caso de ser necesario (Casbeer et al., 2005; Merino, Caballero, Martínez-De-Dios, Maza, & Ollero, 2012; PUCE, 2020).

De igual manera, y como fue señalado con antelación los operadores de estos sistemas, deben contar con la capacidad técnica y operacional para el manejo, control de los UAVs y descarga de los datos obtenidos. De acuerdo con la misión de monitoreo los operadores podrían ser técnicos capacitados del MAE, de las Fuerzas Armadas del Ecuador, personal contratado de otras instituciones de investigación para este propósito.

Tomando en consideración el programa REDD+, se podría proponer la donación de algunos de estos equipos a comunidades que habiten estas zonas protegidas. Con la participación de miembros de las comunidades y el entramiento específico a los habitantes en manejo de los UAVs se lograría incluir a los propios habitantes en el monitoreo forestal. Esto podría brindar beneficios como el involucramiento y empoderamiento de ellos en la defensa de sus territorios. Asimismo, la construcción de capacidades se podría abordar con enfoque de género, priorizando la capacitación a las mujeres para así reconocerles un rol activo en la protección de sus bosques, aprovechando sus conocimientos de las locaciones y creando, en su caso, nuevas oportunidades laborales que promuevan su independencia financiera. Con todo esto se podrán obtener como resultado la adquisición descentralización de datos forestales y mejora de la gestión forestal a nivel local, que constituye una de las salvaguardas fundamentales de REDD+ (Paneque-Gálvez et al., 2014).

3.2. Parte Normativa

Esta sección hace referencia a una propuesta de normativa del uso de UAVs en monitoreo forestal, la cual se base en la normativa ecuatoriana existente y deberá trabajarse a la par con la parte operativa. En el contexto de desarrollo de esta propuesta de normativa se sugiere la siguiente hoja de ruta:

- *Propuesta de Actualización de la Normativa para el manejo de drones en territorio ecuatoriano.*

Respecto de la parte Normativa y Marco Legal para el manejo de UAVs en Ecuador, en 2015 la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) emitió el reglamento para la Operación de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia, más conocido como drones o Sistemas de Aeronaves no tripuladas con la Resolución No. 251/2015, que toma en consideración aspectos como:

- La operación de UAVs se mantendrá durante todo el vuelo a una distancia mayor o igual de 9 km de las proximidades de cualquier aeródromo o base militar.
- La altura de vuelo de cualquier UAVs no deberá exceder en ningún momento la altura de 400 pies (122 m) sobre el terreno.
- Las horas de operación permitidas están comprendidas entre los periodos de salida y puesta del sol, y las condiciones ambientales deberán ser lo más favorables posibles, es decir, libre de nubosidad, neblina, precipitaciones, o cualquiera que obstruya el contacto visual permanente con el dron.
- El responsable del UAV será el operario que establezca las rutas y monitoreo con Drones.
- El operario de un UAV no deberá estar fatigado, ni bajo los efectos de ninguna bebida alcohólica u otra sustancia que pueda alterar sus facultades para el manejo de los dispositivos.
- El propietario de UAVs estará en la obligación de responder por daños causados a terceros en el caso de que sus actividades de vuelo produjeran algún percance con lo cual están obligados a contratar un seguro contra incidentes de USD 3 000 o USD 5 000 dependiendo de la masa máxima de despegue (Aviación Civil, 2015).

A pesar de estas consideraciones, no se establecen lineamientos respecto al uso de los UAVs en actividades como monitoreo forestal, agricultura de precisión y otros relacionados con actividades de protección y manejo ambiental (El_Comercio, 2015).

Sin embargo, algunos países han determinado algunas normativas que pueden servir de guía para desarrollar una propuesta del manejo de UAVs en áreas forestales tanto en Ecuador como en otros lugares del mundo.

En este sentido, se cuenta con la normativa vigente de Uso De Vehículos No Tripulados Recreativos de los Estados Unidos en tierras de los sistemas forestales nacionales. En esta normativa se menciona que los UAVs deben volar por debajo de los 400 pies (122 metros) y mantenerse alejado de los obstáculos circundantes, no se les permite volar en áreas que tienen "Restricciones de vuelo temporales". Adicionalmente, no debe volar ninguna aeronave que pese más de 55 libras (peso total, incluida la carga útil y la fuente de combustible).

Respecto a la protección del medio ambiente se recomienda no volar sobre o cerca de la vida silvestre, ya que esto puede crear estrés en el entorno faunístico causándoles un daño significativo e incluso la muerte. La alteración intencional de los animales durante la cría,

anidación, u otras funciones críticas en el ciclo de vida del entorno animal no está permitida a menos que se apruebe como investigación. De igual manera, no está permitido acercarse a animales o pájaros verticalmente con el UAV. Asimismo, la Asociación Federal de Aviación (FAA) tiene autoridad sobre todo el espacio aéreo en Estados Unidos y determina que no debe sobrevolarse cerca de áreas pobladas y sensibles al ruido, como los campamentos, los senderos y los centros de visitantes (Horcher & Visser, 2004; USDA, 2015).

Basadas en la experiencia ecuatoriana y en otras de distintos países es posible apoyar el desarrollo de una propuesta de normativa legal que apunte la integración de tecnologías UAVs en el monitoreo forestal. A continuación, en la Ilustración 23 se señala algunas alternativas a ser integradas en una propuesta de actualización de normativa en el manejo de UAVs para la vigilancia y monitoreo forestal:

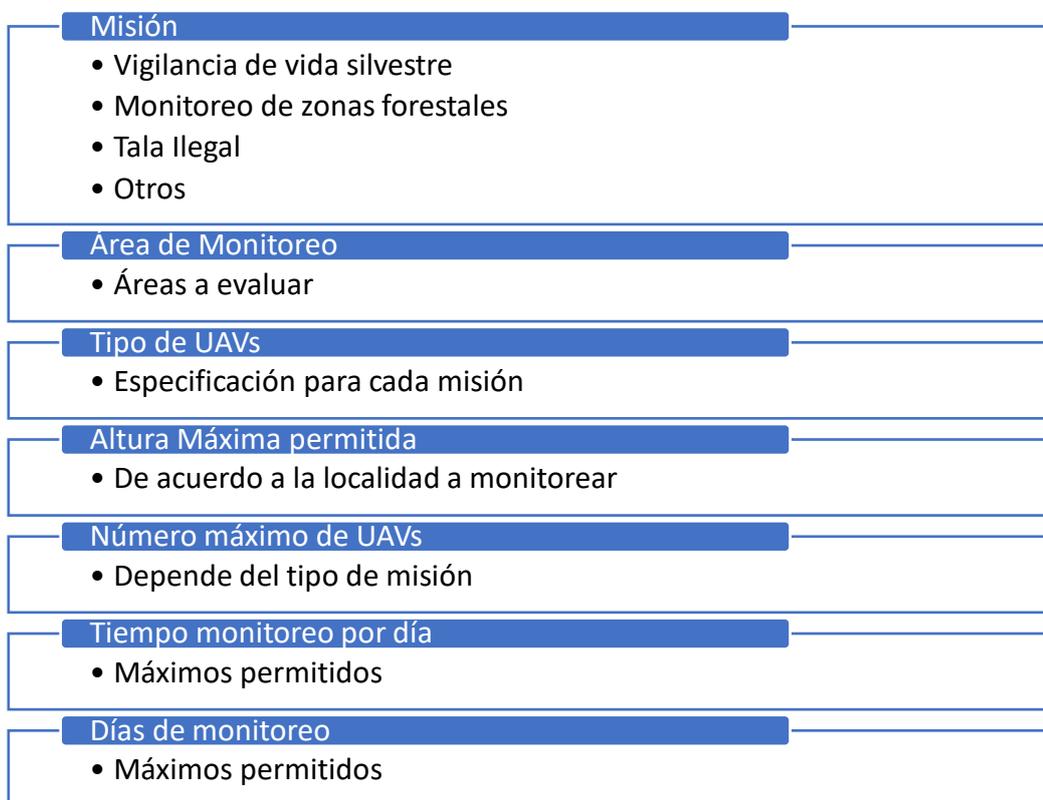


Ilustración 23. Ejemplo de Normativa actualizada

Al analizar esta propuesta de normativa para el Ecuador se deberá considerar varios aspectos. Por ejemplo, de acuerdo con el tipo de misión a llevar a cabo y el área a cubrir, se sugerirá el tipo de UAVs a emplear. La altura máxima de vuelo tomara en consideración

aspectos de ubicación geográfica, la cercanía con especies susceptibles al ruido o a comunidades no contactadas. De igual manera, considerando el tipo de misión se sugerirá el número mínimo y se establecerá el máximo de unidades de UAVs a emplear. Respecto al tiempo de monitoreo por día y la cantidad de días de monitoreo, dependerán de la misión a llevar a cabo, y se establecerán tiempos máximos, los mismos que podrían ser ampliados basados en una justificación fundamentada que deberá ser avalada previamente por la autoridad competente. Esta propuesta de normativa contemplará que los operarios cuenten con las respectivas horas y licencia de vuelo actualizadas. Además de lo mencionado será esencial actualizar continuamente la normativa en el sentido de los distintos tipos de drones disponibles en el mercado ya que cada vez son más modernos y tecnificados para permitir el monitoreo en las diversas regiones del país. (Aviación Civil, 2015).

➤ *Fortalecimiento de la Secretaría de Monitoreo Forestal*

Con la puesta en marcha del programa de monitoreo forestal con UAVs, como herramientas que complementen las de monitoreo actuales, se pretende fortalecer el Sistema de Monitoreo Forestal del país. Las acciones para llevar a cabo este objetivo requerirán del apoyo de varias instituciones investigativas, tales como universidades públicas y privadas, escuelas politécnicas e institutos de investigación. Como se mencionó en la sección “*Desarrollo de paquetes informáticos (software) sistemas de planificación de misiones*” de la parte operativa, se sugiere desarrollar diferentes sistemas informáticos a nivel local. De igual manera, se requerirá capacitar al equipo de la secretaría del ambiente del Ecuador y complementarlo con nuevos investigadores que puedan seguir actualizando las tecnologías empleadas.

➤ *Institucionalización de una Propuesta de Metodología de uso de UAVs para el monitoreo forestal*

Finalmente, se sugiere incorporar la Propuesta de Metodologías de uso de UAVs para el monitoreo forestal, especialmente los de ala fija, considerando su utilidad y posibles beneficios para el fortalecimiento de las diferentes metodologías de monitoreo establecidas actualmente por el MAE. Representantes del ministerio en distintas entrevistas en el 2018 comentaron que se empleaban cuadricópteros para misiones de monitoreo de tala ilegal y que no se tenía pensado a futuro cambiar de dispositivos o fomentar el empleo de UAVs para otro tipo de monitoreo como el de cumplimiento de objetivos de protección forestal de REDD+. Esto debido principalmente por falta de recursos económicos del estado o de

presupuesto planificado en otros proyectos. Sin embargo, se mencionó el interés de la propuesta de monitoreo forestal con UAVs de ala fija, pues además del monitoreo actualmente realizado se podía llevar a cabo otro de tipo de misiones de exploración o vigilancia por más tiempo y en mayor cantidad de áreas. Con lo cual se realzó la importancia de este tipo de propuestas que podrían servir de base para una solicitud de financiamiento en distintos proyectos de protección de bosques.

La integración de la propuesta de Metodología de uso de UAVs de ala fija para el monitoreo forestal lograría el fortalecimiento de las actividades de monitoreo y control de bosques por parte del MAE, volviéndola de carácter institucional, con un equipo de trabajo especializado para este propósito. Se espera que los hallazgos del monitoreo se encuentren disponible en las diversas plataformas investigativas con acceso libre. Esta acción pondría al Ecuador como un referente mundial en el monitoreo con drones (MAE, 2017b).

3.3. Resultados

Tomando en consideración las propuestas planteadas en la Parte Operativa y Normativa de este estudio, ambas complementarias y de desarrollo paralelo, en el marco de monitoreo forestal del SNMB en Ecuador con UAVs de ala fija, como herramientas de apoyo a las actualmente empleadas, se espera establecer:

- *Departamento de Análisis de resultados de monitoreo forestal y estadísticas.*

La información recolectada en la etapa operativa debe ser analizada y almacenada con el fin de crear indicadores de cobertura forestal, de cambio de uso de suelo, de emisiones de GEI, de flora, fauna u otros de interés. Esta base de datos deberá contar con la validación de expertos en el tema y servirá de referencia para los distintos reportes de verificación del sistema MRV.

Es importante indicar que la información generada deberá ser de acceso público y contará con la retroalimentación de los distintos actores involucrados en las temáticas de monitoreo forestal y protección ambiental, públicos y privados.

- *Políticas de Protección Medioambiental que tomen en consideración el uso de UAVs como herramientas de fortalecimiento al sistema de monitoreo actual.*

Uno de los objetivos fundamentales del monitoreo efectivo de zonas forestales con UAVs es el fortalecimiento de Políticas Públicas de Protección Medioambiental y Forestal que fomenten la gestión forestal sostenible de los bosques ecuatorianos. A partir de la información obtenida en tiempo real, se optimizan los sistemas de alerta temprana de tala ilegal, incendio forestal u otra actividad que altere el cuidado permanente de los bosques, especialmente en el programa REDD + con mejores herramientas de monitoreo de altas prestaciones.

En este sentido se podrán desarrollar o mejorar las Políticas Públicas de Protección Medioambiental y Forestal con enfoque en problemáticas como la deforestación y cambios de uso de suelo.

Conclusiones

- El trabajo investigativo desarrollado de una propuesta metodológica de incorporación de UAVs de ala fija en el monitoreo forestal de Ecuador, y empleando como caso piloto la reserva natural “La Chiquita” se considera una herramienta muy beneficiosa debido a las ventajas de obtener información con mejor resolución de imágenes capturadas (del orden de centímetros) y en tiempo real por parte del UAVs con sensores y cámaras multiespectrales.
- El empleo de UAVs de Ala Fija, respecto al SCOUT empleado por MAE, presenta un desempeño mejor, sobre todo por su autonomía de vuelo, con lo cual sería factible el monitoreo de áreas más extensas que se pudieran encontrar amenazadas por actividades de cambio de uso de suelo.
- Para este el caso escogido como ejemplo en Ecuador, de la reserva forestal “la Chiquita” en la provincia de Esmeraldas, donde existe amenazas de cambio de uso de suelo por factores antropogénicos se destaca el desempeño de estos equipos innovativos de monitoreo de ala fija como un apoyo fundamental a las imágenes satelitales normalmente empleadas y, por lo tanto, permitirían obtener estimaciones más acertadas de deforestación.
- La introducción de sistemas de monitoreo más sofisticados como los UAVs en programas de protección forestal como REDD+ son considerados una tecnología alternativa y de apoyo a los procesos de teledetección satelital, pues su empleo presenta precios competitivos, así como buena resolución de imágenes capturadas y mapeo de cobertura terrestre detallada.
- La ventaja de emplear UAVs respecto al monitoreo satelital es que el costo es mucho menor respecto a sistemas satelitales de gran resolución, además permiten identificar con mayor precisión cultivos invasivos en zonas protegidas como ya se indicó con la problemática en la reserva “la Chiquita”.
- De acuerdo con el tipo de UAV es posible llevar a cabo un monitoreo de entre 2000 y 4000 hectáreas de bosque en una sola misión y en varios días, siempre y cuando las condiciones medioambientales sean favorables.

- La nubosidad es un gran problema que se tiene respecto al monitoreo satelital, principalmente en trópicos húmedos, problema que puede verse solucionado con los UAVs que pueden volar bajo esa capa de nubes, esta condición medioambiental es muy común en los bosques húmedos tropicales, y por ende de gran relevancia para el entorno ecuatoriano. Además, en algunas ocasiones el monitoreo con satélites entrega imágenes que pueden necesitar una verificación in situ o el análisis de mucho tiempo, lo que puede evitarse con imágenes de alta resolución obtenidas de los UAVs.
- Debido a la mejor resolución de imágenes captadas con UAVs en zonas de posible tala ilegal o amenazadas por el avance de la frontera agrícola, los drones se constituyen una herramienta de apoyo a los sistemas de teledetección, pues estos podrían pasar por alto cambios en el uso de suelo al confundir cultivos agrícolas con aquellos de bosque nativo.
- Además de convertirse en una herramienta de apoyo a las empleadas en el SNMB del Ecuador, los UAVs podrían ser empleados para la detección temprana de incendios forestales, y otro tipo de amenazas a los bosques al proporcionar imágenes georreferenciadas con ubicación exacta de estas actividades. Asimismo, gracias a la información entregada, pueden ayudar en la toma de decisiones para el establecimiento de diversas políticas. La incorporación de UAVs fomentaría el Fortalecimiento del SNMB así como de los sistemas de alerta temprana SATA.
- El empleo de esta tecnología en el cuidado de reservas naturales podría permitir la participación de comunidades indígenas que habiten estos territorios que pueden monitorear y vigilar sus tierras y que, a la vez sean involucrados en programas de conservación forestal concernientes a sus territorios. De esta forma, se reforzaría el aspecto social relacionados con el respeto a las salvaguardias de REDD+.
- Una propuesta de monitoreo integrado con información satelital complementada con UAVs, y también con monitoreo in situ por parte de las comunidades podría constituirse como un SNMB robusto y fortalecido que puede ser tomado como ejemplo para otros países.

- Los resultados obtenidos de una posible incorporación de UAVs al SNMB podrían ser usados como base para la toma de decisiones respecto a la conservación de ecosistemas y manejo forestal, especialmente en ecosistemas frágiles como por ejemplo las Islas Galápagos. Por lo tanto, se podrán fomentar el mejoramiento y fortalecimiento de Políticas Públicas de Gobernanza, Protección Medioambiental y Forestal.
- Mas allá de los grandes beneficios del empleo de UAVs en temas de detección temprana de tala ilegal o avance de la frontera agrícola, estos sistemas podrían ser utilizados en el análisis de biodiversidad, biomasa, medición de carbono, evaluación de ecosistemas y otras actividades de investigación, tal como ya se hace en varios países y ha sido documentado en varios estudios.
- Es importante establecer y actualizar una normativa para el empleo de UAVs en protección forestal, puesto que estos se convertirían en los lineamientos básicos indispensables para un monitoreo de bosques que servirán de guía para las misiones de vigilancia y control forestal.

Recomendaciones

- Los UAVs presentan cada vez mejores características, tanto en diseño, optimización de energía, mejores resoluciones en la cámara, y la posibilidad de incorporar cámaras más sofisticadas. Por este motivo, en un futuro quizá estos se puedan emplear para otro tipo de estudios afines en Ecuador, tales como Análisis y evaluación de ecosistemas, detección temprana de contaminación debido a minería u otras actividades extractivistas ilegales, localización de animales en condiciones de vulnerabilidad mediante el uso de drones con Cámaras de infrarrojo y RGB, etc.
- Se recomienda capacitar a personal tanto de las instituciones interesadas, MAE, Ministerio de Agricultura, o instituciones de investigación en el manejo de UAVs, con lo cual se crearía las capacidades a nivel local.
- Es importante no sólo contar con UAVs para monitoreo y si no también con los sistemas de procesamiento, análisis y generación de mapas y ortomosaicos, georreferenciados puesto que su carencia debilita el potencial del uso de estos equipos.
- Debido a que algunos software y paquetes informáticos tanto para el plan de vuelo como para la generación de mosaicos georreferenciados son costosos, se recomienda involucrar y motivar a las Universidades y otras instituciones de investigación a desarrollar este tipo de programas y paquetes informáticos en el país.
- Con el objeto de involucrar a las comunidades, respetar sus derechos y reforzar su rol como guardianes del bosque, se recomienda capacitarlos en su manejo y funcionamiento para que de esta manera participen activamente en la protección de sus bosques; y eventualmente donarles los equipos.
- Los UAVs pueden ser herramientas completamente desconocidas para las comunidades lo cual significa que su función, propósito y tiempos de vuelo probables deben explicarse completamente a todas las autoridades de las

comunidades locales para evitar que se genere un estado de incomodidad y alarma. Las comunidades deben conservar los derechos sobre los datos para reducir la tensión sobre el intercambio de datos, lo cual les permitirá empoderarse de la información obtenida en sus territorios y fortalecer su compromiso por el cuidado de sus tierras.

- Se sugiere que las condiciones para el uso de UAVs deben estar acordadas entre las partes, por ejemplo, miembros de la comunidad, organismos públicos y facilitadores externos con los objetivos de monitoreo establecidos.
- Se recomienda fortalecer la normativa de uso de estos sistemas para los fines de monitoreo forestal ya que sin un control podría traer un mal uso de estas herramientas. Por ejemplo, aquellas relacionados con la privacidad y la ética. La legislación sobre vuelos con UAVs o estudios aéreos sobre áreas forestales y locaciones de comunidades indígenas puede no estar clara volviéndose una intromisión en su forma de vida.

Bibliografía

- Aguilar, D. (2016). Palma africana: una amenaza para la Amazonía de Ecuador | Kaos en la red. Retrieved November 1, 2018, from <http://kaosenlared.net/palma-africana-una-amenaza-para-la-amazonia-de-ecuador/>
- Aljazeera. (2016). Panama Tribes Use GPS and Drones to Save Forests | Al Jazeera America. Retrieved June 6, 2020, from <http://america.aljazeera.com/articles/2016/2/25/new-weapons-for-panamanian-tribes-in-old-fight-to-save-forests.html>
- Ambiente_Panamá. (2020). Panamá Oeste capacita colaboradores en el uso de drones. Retrieved November 2, 2020, from <https://www.miambiente.gob.pa/panama-oeste-capacita-colaboradores-en-el-uso-de-drones/?print=pdf>
- Añazco, M., Morales, M., Palacios, W., Vega, E., & Cuesta, A. L. (2010). *Sector Forestal Ecuatoriano: Propuestas para una gestión forestal sostenible. Serie de investigación y sistematización* (Vol. 8). Retrieved from <http://www.asocam.org/biblioteca/files/original/ad89d476b18b4eac490845d550ca0b10.pdf>
- Andrade, E. (2018). Los drones ecológicos aportan datos valiosos para la conservación de los ecosistemas- Dialoguemos. Retrieved April 10, 2020, from <https://dialoguemos.ec/2018/05/los-drones-ecologicos-aportan-datos-valiosos-para-la-conservacion-de-los-ecosistemas/>
- Argotty, F., Fung, E., Imbach, P., Medellín, C., Carrillo, O., Larios, E., ... Muñoz Maldonado, M. (2019). *Estado del monitoreo forestal en Latinoamérica y el Caribe Tipos de iniciativas y uso de tecnologías* División de Cambio Climático. Retrieved from <http://www.iadb.org>
- Aviación Civil, E. (2015). Regulación de uso de DRONES. Retrieved from <http://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/09/Resol.-251-2015-Normas-Operacion-Drones.pdf>
- Ballari, D., Orellana, D., Acosta, E., Espinoza, A., & Morocho, V. (2016). Uav monitoring for environmental management in galapagos islands. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 2016-Janua*(June), 1105–1111. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B1-1105-2016>

- Brasil, A. (2020). REDD+ and Brazil's NDC. Retrieved April 7, 2020, from <http://redd.mma.gov.br/en/redd-and-brazil-s-ndc>
- Brasil, M. A. (2016). Estrategia Nacional para REDD+ (ENAREDD+). Brasil. *Documento Para Consulta.*, (abril), 96. Retrieved from http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/5559Elementos para el diseño de la Estrategia Nacional para REDD_.pdf
- Bucaramanga. (2019). Usan drones para controlar incendio forestal en Santander - Otras Ciudades - Colombia - ELTIEMPO.COM. Retrieved April 10, 2020, from <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/usan-drones-para-controlar-incendio-forestal-en-santander-409406>
- Buendía, M. P. (2007). El impacto social del Cambio Climático. Retrieved from <http://ceppia.com.co/Documentos-tematicos/CAMBIO-CLIMATICO/Impacto-SOCIAL-CC-pardo-2007.pdf>
- Burneo, S. (1997). Ecuador País Megadiverso.
- Bustamante, W. O., Flores, J., Ronald, V., & Ontiveros Capurata, E. (2016). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Coordinación de Riego y Drenaje Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico. Retrieved from www.gob.mx/imta
- Cabello, J., Alcaraz-Segura, D., Reyes, A., Lourenço, P., Requena, J. M., Bonache, J., ... Serrada, J. (2016). System for monitoring ecosystem functioning of network of national parks of Spain with remote sensing. *Revista de Teledeteccion*, 2016(46), 119–131. <https://doi.org/10.4995/raet.2015.5731>
- Casbeer, D. W., Beard, R. W., McLain, T. W., Li, S.-M., & Mehra, R. K. (2005). Forest fire monitoring with multiple small UAVs. *Proceedings of the 2005, American Control Conference, 2005.*, 3530–3535. <https://doi.org/10.1109/ACC.2005.1470520>
- Celentano, D., Rousseau, G. X., Muniz, F. H., Varga, I. van D., Martinez, C., Carneiro, M. S., ... Martins, M. B. (2017). Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. *Land Use Policy*, 68(July), 692–698. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.041>
- Cirone, M., & Galarza, J. (2016). Avances De Redd +.
- CLAES. (2017). La deforestación sigue golpeando a América del Sur | Ambiente en América Latina - Claes. Retrieved November 1, 2018, from <http://ambiental.net/2017/03/la-deforestacion-sigue-golpeando-a-america-del-sur/>

- CONAF. (2018). CONAF incrementa flota de drones para reforzar labores de fiscalización. Retrieved November 1, 2018, from <http://www.conaf.cl/conaf-en-regiones/>
- Connell, L. (2019). APPLICATIONS OF FOREST MONITORING TOOLS FOR DEVELOPMENT PROJECTS Table of Contents, (202).
- Constitución, E. (2008). CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR. Retrieved from <http://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>
- Day, S. J., Forster, T., Himmelsbach, J., Korte, L., Mucke, P., Radtke, K., ... Weller, D. (2019). *World Risk Report 2019 Focus: Water Supply*. Retrieved from https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/WorldRiskReport-2019_Online_english.pdf
- DiPaola, M. ; et al. (2012). Vulnerabilidad Climática y Mecanismo REDD+ Gran Chaco.
- DroneApps. (2016). Price wars: counting the cost of drones, planes and satellites • DroneApps DroneApps. Retrieved October 30, 2017, from <https://droneapps.co/price-wars-the-cost-of-drones-planes-and-satellites/>
- Duguma, L., Atela, J., Minang, P., Ayana, A., Gizachew, B., Nzyoka, J., & Bernard, F. (2019). Deforestation and Forest Degradation as an Environmental Behavior: Unpacking Realities Shaping Community Actions. *Land*, 8(2), 26. <https://doi.org/10.3390/land8020026>
- Ealidad, U. N. A. R., Al, F., & Limático, C. A. C. (2010). ÁREAS PROTEGIDAS Y DEFORESTACIÓN, 151–165.
- EcoDecisión. (2012). Un resumen de el redd countries database.
- El_Comercio. (2015). El uso de drones en Ecuador ya tiene su reglamento | El Comercio. Retrieved April 20, 2020, from <https://www.elcomercio.com/actualidad/drones-ecuador-reglamento-resolucion-dac.html>
- Eva, H. D., Achard, F., Beuchle, R., de Miranda, E., Carboni, S., Seliger, R., ... Gallego, J. (2012). Forest cover changes in tropical south and Central America from 1990 to 2005 and related carbon emissions and removals. *Remote Sensing*, 4(5), 1369–1391. <https://doi.org/10.3390/rs4051369>
- Evans. (2015). Drones: una opción de bajo costo para el monitoreo forestal - CIFOR Forests News. Retrieved April 9, 2020, from <https://forestsnews.cifor.org/32154/drones-una-opcion-de-bajo-costo-para-el-monitoreo-forestal?fnl=es>
- FAO. (2010). Ganadería y deforestación. *Revista Políticas Pecuarias*, 3, 1–8. Retrieved

from www.lead.virtualcentre.org

FAO. (2018a). *El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*.

FAO. (2018b). *Fortalecimiento de los sistemas nacionales de monitoreo de los bosques para REDD+*.

FAO. (2018c). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: El Ministerio del Ambiente del Ecuador implementará plataformas tecnológicas desarrolladas por FAO para monitoreo forestal | FAO en Ecuador | Organización de las Naciones Unidas pa. Retrieved October 19, 2020, from <http://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/1144981/>

FONAFIFO. (2017a). Estrategia REDD+. Retrieved July 3, 2017, from <http://www.fonafifo.go.cr/proyectos/redd.html>

FONAFIFO. (2017b). Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques | REDD+ Costa Rica. Retrieved July 3, 2017, from <http://reddcr.go.cr/es/sistema-nacional-de-monitoreo-de-bosques>

Freire, P., Engenharia, D., & Galileo, P. (2019). Low-cost drones fly to the rescue of the world ' s forests, (February), 2019–2020.

GCF. (2020). FP110: Ecuador REDD-plus RBP for results period 2014 | Green Climate Fund. Retrieved July 6, 2020, from <https://www.greenclimate.fund/project/fp110#impact>

GIZ, C. R. (2009). ANÁLISIS DE CAMBIOS DE LA COBERTURA FORESTAL Y USO DE LA TIERRA MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL: SITIO PILOTO CANTÓN DE PURISCAL. Retrieved from http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc_355965452.pdf

Greenpeace. (2018). ¿Qué relación tienen los bosques y el cambio climático? | Greenpeace México. Retrieved November 1, 2018, from <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Campanas/Bosques/Que-relacion-tienen-los-bosques-y-el-cambio-climatico/>

GreenPeace. (2018). A Pathway to Zero Deforestation in the Brazilian Amazon, (January).

Grenzdörffer, G. J., Engel, A., & Teichert, B. (2008). The Photogrammetric Potential of Low-Cost UAVs in Forestry and Agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII*,

- 31(B3), 1207–2014. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.41.4.287>
- Guerrero, M. (2019). Una explicación simple de cómo funciona el financiamiento para REDD+ - CIFOR Forests News. Retrieved February 11, 2020, from <https://forestsnews.cifor.org/56761/una-explicacion-simple-de-como-funciona-el-financiamiento-para-redd?fnl=es>
- Hein, J., Guarin, A., Frommé, E., & Pauw, P. (2018). Deforestation and the Paris climate agreement: An assessment of REDD + in the national climate action plans. *Forest Policy and Economics*, 90(January), 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.005>
- Hervouet, A., Dunford, R., Piégay, H., Belletti, B., & Trémélo, M.-L. (2011). Analysis of Post-flood Recruitment Patterns in Braided-Channel Rivers at Multiple Scales Based on an Image Series Collected by Unmanned Aerial Vehicles, Ultra-light Aerial Vehicles, and Satellites. *GIScience & Remote Sensing*, 48(1), 50–73. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.48.1.50>
- Horcher, A., & Visser, R. J. M. (2004). Unmanned Aerial Vehicles : Applications for Natural Resource Management and Monitoring. *Machines and People, The Interface*, 5.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERIA. (2017). Tercera comunicación Nacional de cambio climático, 546.
- INDC. (2015). Contribución Tentativa Nacionalmente Determinada de Ecuador (INDC). *Convención Marco de Naciones Unidas Sobre Cambio Climático*, 1–14.
- INPE. (2018). INPE / Notícias - PRODES estima 7.989 km² de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2016. Retrieved November 1, 2018, from http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4344
- IPCC, Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., ... Malley, J. (2020). *El cambio climático y la tierra Resumen para responsables de políticas*. Retrieved from www.ipcc.ch
- JICA-PNGFA. (2019). Drone Applications in Sustainable Forest Management and Monitoring in PNGFA, (10).
- Jorge Mario Rodríguez. (2014). Estado de la Estrategia REDD+, ruta, logros y retos. Retrieved from http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/sectorprivado_lunes23junio.pdf
- José Pablo Rojas. (2016). Desafíos y oportunidades para avanzar las Contribuciones Nacionales en el sector agropecuario y bosques en América Latina: El caso de Costa

- Rica. *Plataforma Climática Latinoamericana (PCL)* . Retrieved from <http://www.aedcr.com/Documentos/Ambiental/Informe Final - JPR.pdf>
- Koh, L. P., & Wich, S. A. (2012). Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science*, 5(2), 121–132. <https://doi.org/WOS:000310846600002>
- Ladines, R. (2019). Drones y robots recopilan información sobre la flora y fauna de Galápagos | El Comercio. Retrieved June 6, 2020, from <https://www.elcomercio.com/tendencias/drones-robots-informacion-especies-galapagos.html>
- Lee, B., Park, P., Kim, K., & Kwon, S. (2014). The flight test and power simulations of an UAV powered by solar cells, a fuel cell and batteries. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(1), 399–405. <https://doi.org/10.1007/s12206-013-0936-7>
- Lencinas, J. D. (2011). *Tecnología Geomática para la Evaluación de Bosques Nativos en Patagonia en Patagonia*.
- López Carlos, M. D. (2015). Aplicaciones a la prospección y explotación de recursos minerales. *Los Drones y Sus Aplicaciones a La Ingeniería Civil*, 77–94.
- MAAP. (2016). MAAP # 90 : Uso de Drones para monitoreo de Deforestación y Tala Ilegal.
- MAE. (2012). ENCC.
- MAE. (2015a). Plan Nacional del Cambio Climático 2015-2018, 55. <https://doi.org/10.3738/1982-227872>
- MAE. (2015b). Subsecretaría de Cambio Climático. Retrieved from <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/907429/972259/01+Andrés+Hubenthal+-+Gestión+de+Cambio+Climático+en+el+País+--+SSC+++MAE.pdf/79f93fe9-a0a4-404e-ac93-05f280cfbf5>
- MAE. (2016a). Análisis de la deforestación en el Ecuador Continental 1990 - 2014, (593 2), 170516.
- MAE. (2016b). Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador. Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/natc/ecubur1.pdf>
- MAE. (2017a). Refugio de Vida Silvestre La Chiquita | Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador. Retrieved July 24, 2017, from <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/refugio-de-vida-silvestre-la-chiquita>

- MAE. (2018a). 16 Funcionarios del MAE operan drones de última tecnología en el Parque Nacional Yasuní | Ministerio del Ambiente. Retrieved March 6, 2020, from <https://www.ambiente.gob.ec/16-funcionarios-del-mae-operan-drones-de-ultima-tecnologia-en-el-parque-nacional-yasuni/>
- MAE. (2018b). Ecuador es pionero ante el Fondo Verde Climático en solicitar financiamiento por reducir la deforestación | Ministerio del Ambiente. Retrieved October 7, 2019, from <http://www.ambiente.gob.ec/ecuador-es-pionero-ante-el-fondo-verde-climatico-en-solicitar-financiamiento-por-reducir-la-deforestacion/>
- MAE. (2019a). *Informe sobre la Reducción de Emisiones por Deforestación en el Ecuador para pagos basados en resultados de REDD 2017 2018*. Quito. Retrieved from <http://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/wp-content/uploads/2019/12/Anexo-2.-Informe-de-Reduccion-de-Emisiones-por-Deforestación-para-pagos-basados-en-resultados-de-REDD-periodo-2017-2018-Habilitante-pago-REM-2019.pdf>
- MAE. (2019b). SEGUNDO RESUMEN DE INFORMACIÓN DEL ABORDAJNE Y RESPETO DE SALVAGUARDAS PARA REDD + EN. Retrieved from https://redd.unfccc.int/uploads/3252_1_segundo_resumen_informacion_de_salvaguardas.pdf
- MAE. (2020). *Nivel de Referencia de Emisiones Forestales por Deforestación del Ecuador 2001-2014*. Retrieved from https://redd.unfccc.int/files/06.01.2020_nivel_de_referencia_de_emisiones_forestales_de_ecuador_2001-2014.pdf
- MAE, & Ecuador, M. del A. (2016). *MAE_2016_1PA REDD+*.
- MAE, S. (2017b). Programa REDD+ - SUIA. Retrieved May 23, 2017, from <http://suia.ambiente.gob.ec/web/suia/redd>
- Matese, A., Toscano, P., Di Gennaro, S. F., Genesio, L., Vaccari, F. P., Primicerio, J., ... Gioli, B. (2015). Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. *Remote Sensing*, 7(3), 2971–2990. <https://doi.org/10.3390/rs70302971>
- Mecánica, I. (2018). Desarrollo y Construcción de un Vehículo Aéreo No Tripulado de Despegue y Aterrizaje Vertical José Alejandro Barzallo Egüez José Alejandro Barzallo Egüez.
- Merino, L., Caballero, F., Martínez-De-Dios, J. R., Maza, I., & Ollero, A. (2012). An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement.

- Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, 65(1–4), 533–548. <https://doi.org/10.1007/s10846-011-9560-x>
- MINAE. (2015). Programa de reducción de emisiones ante el Fondo de Carbono del FCPF. Retrieved from <http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/erpd.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, I. (2017). Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de Los Bosques en Colombia. *Gobierno de Colombia*, 174. Retrieved from <http://www.bosquesterritoriosdevida.com/sites/default/files/Estrategia Integral de control a la Deforestacion y Gestion de los Bosques.pdf>
- Miranda, A., Lara, A., Altamirano, A., Zamorano-Elgueta, C., Jaime Hernández, H., González, M. E., ... Promis, Á. (2018). Monitoring Chilean native forest area: A pending challenge. *Bosque*, 39(2), 265–275. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002018000200265>
- Naciones Unidas. (2018). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Olagunju, T. E. (2015). Impacts of Human-induced deforestation, forest degradation and fragmentation on food security. *New York Science Journal*, 8(1), 4–16. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Oña, J. (2020). How drones are improving marine science research in Ecuador. Retrieved June 6, 2020, from <http://latinamericanscience.org/drones-ecuador-marine-science>
- Panamá-FAO. (2019). Participación de los interesados | REDD+ Reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Retrieved April 9, 2020, from <http://www.fao.org/redd/areas-of-work/stakeholder-engagement/es/>
- Paneque-Gálvez, J., McCall, M. K., Napoletano, B. M., Wich, S. A., & Koh, L. P. (2014). Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas. *Forests*, 5(6), 1481–1507. <https://doi.org/10.3390/f5061481>
- Petkova, E. E., Larson, A., & Pacheco, P. (2011). Gobernanza forestal y REDD+ Desafíos para las políticas y mercados en América Latina. Retrieved from http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BPetkova1101.pdf

- PNUD_Ecuador. (2018). Pagos por Resultados: Apoyo a la Implementación del Plan de Acción REDD+ | El PNUD en Ecuador. Retrieved June 23, 2020, from <https://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/library/medio-ambiente-y-energia-/pagos-por-resultados--apoyo-a-la-implementacion-del-plan-de-acci.html>
- PNUD. (2019). Ecuador recibe US\$ 18.5 millones por haber reducido su deforestación | PNUD en América Latina y el Caribe. Retrieved February 18, 2020, from <https://www.latinamerica.undp.org/content/rblac/es/home/presscenter/pressreleases/2019/ecuador-receives-us--18-5-million-for-having-reduced-its-defores.html>
- PUCE. (2020). Regiones naturales Ecuador. Retrieved September 15, 2020, from <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/RegionesNaturales>
- Rautner, M., Leggett, M., & Davis, F. (2013). Pequeño Libro de las Grandes Causas de la Deforestación. *Programa Global Canopy*.
- REDD+ ; Grupo Peru. (2020). Preparación - Grupo REDD+ Perú. Retrieved April 7, 2020, from <http://www.gruporeddperu.com/preparacion/>
- REDD+, F. (2017). El trabajo de FAO en ONU-REDD y Las contribuciones de los SNMB y niveles de referencias para informar los logros de las metas Aichi. Retrieved from <https://www.cbd.int/doc/meetings/ecr/ecrws-2016-01/other/ecrws-2016-01-presentation-day-2-sesion-62-en.pdf>
- REDD+, M. (2020). Resumen de Información de Salvaguardas – REDD+. Retrieved July 7, 2020, from <http://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/resumen-de-informacion-de-salvaguardas/>
- Redd, E. N., Redd, S., Elena, M., & Ugalde, H. (2019). Sistema Nacional de Monitoreo Forestal de Costa Rica : Diseño de Monitoreo para la Estrategia Nacional REDD +.
- Redondo Martín, I. (2016). Diseño y construcción de un vehículo aéreo no tripulado para teledetección agroforestal. 2016. <https://doi.org/10.2307/40605354>
- Rodriguez. (2018). With drones and lasers, Costa Rica seeks to track its forests. Retrieved April 9, 2020, from <https://news.trust.org/item/20181002111413-7pd07>
- Rodríguez García, L., Curetti, G., Garegnani, G., Grilli, G., Pastorella, F., & Paletto, A. (2016). La valoración de los servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales: un caso de estudio en Los Alpes Italianos. *Bosque (Valdivia)*, 37(1), 41–52. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000100005>
- Saari, H., Pellikka, I., Pesonen, L., Tuominen, S., Heikkilä, J., Holmlund, C., ... Antila, T.

- (2011). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) operated spectral camera system for forest and agriculture applications, 8174, 81740H. <https://doi.org/10.1117/12.897585>
- Sanchez, R., & Llive, F. (2016). Panorama Agroeconómico Ecuador 2016.
- Sanhueza, J. E., & Antonissen, M. (2014). REDD+ EN AMÉRICA LATINA Estado actual de las estrategias de reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal. Retrieved from http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36810/S2014280_es.pdf
- senseFly. (2016). El dron de cartografía profesional 4 razones para elegir el eBee. Retrieved from https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/sensefly/documents/brochures/eBee_es.pdf
- Sony. (2017). Sony DSLR-A350 vs SLT A55 - Nuestro análisis. Retrieved July 24, 2017, from http://snapsort.com/es/comparar/Sony_Alpha_DSLR-A350-vs-Sony_SLT-A55/detallado
- SUIA_MAE. (2020). Sistema Nacional de Monitoreo - Documentos - SUIA. Retrieved October 20, 2020, from http://qasuia.ambiente.gob.ec/documentos;jsessionid=spqi75qCcyZeCeV02MhQ9T9R?_20_folderId=1149768&_20_displayStyle=list&_20_viewEntries=1&_20_viewFolders=1&_20_entryEnd=20&_20_entryStart=0&_20_folderEnd=20&_20_folderStart=0&p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&_20_s
- Tang, L., & Shao, G. (2015). Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, 26(4), 791–797. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0088-y>
- Telegráfo. (2015). El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo - 7 drones ayudan en el resguardo ambiental del manglar y los cerros en Ecuador. Retrieved April 10, 2020, from <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/7-drones-ayudan-en-el-resguardo-ambiental-del-manglar-y-los-cerros-en-ecuador>
- UN-REDD. (2019). Ecuador National Programme Overview - the UN-REDD. Retrieved October 4, 2019, from <https://www.unredd.net/regions-and-countries/latin-america-and-the-caribbean/ecuador.html>
- USDA. (2015). Tips for Responsible Recreational Use of Unmanned Aircraft Systems (UAS) on National Forest Systems Lands | US Forest Service. Retrieved April 20, 2020, from <https://www.fs.usda.gov/managing-land/fire/aviation/uas/responsible-use>

- Valencia, E. A., Palma, K. A., Changoluisa, I. D., Hidalgo, V. H., Cruz, P. J., Cevallos, C. E., ... Jara, N. G. (2020). Wetland monitoring through the deployment of an autonomous aerial platform. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 432(1), 0–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/432/1/012002>
- Vallejo, A. (2001). Ecuador Terra Incognita - En busca de la Esmeraldas perdida. Retrieved October 30, 2017, from http://www.terraecuador.net/revista_12/12_esmeraldas_perdida.htm
- Vanguardia. (2015). Drones que cuidan miles de hectáreas de bosques | Vanguardia.com. Retrieved April 10, 2020, from <https://www.vanguardia.com/mundo/ola-verde/drones-que-cuidan-miles-de-hectareas-de-bosques-CYVL315564>
- Velez, A. (2019). Perú: drones y satélites combaten la minería y tala ilegales en Madre de Dios | FOTOS. Retrieved November 2, 2020, from <https://es.mongabay.com/2019/08/peru-drones-y-satelites-combaten-la-mineria-y-tala-ilegales-en-madre-de-dios-fotos/>
- Wich, S. (2015). Drones and conservation. *Drones and Aerial Observation: New Technologies for Property Rights, Human Rights, and Global Development. A Primer*. *New America*, (July), 63–71. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-299-2015>