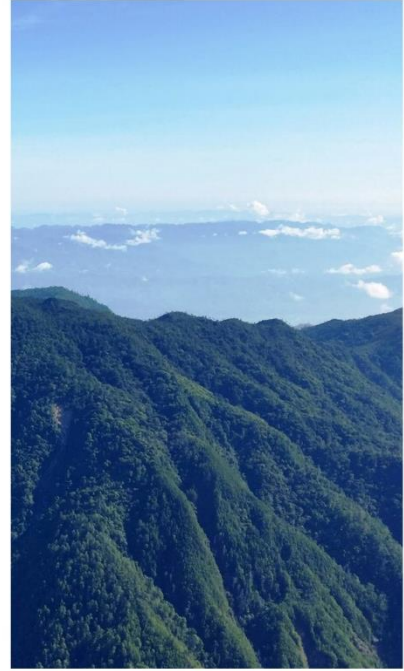




USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



DEFENSORES
DE LA NATURALEZA



INFORME DE MONITOREO BIOLÓGICO: COBERTURA FORESTAL AÑO 2021

RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA DE LAS MINAS

Temporada 2020-2021

CONTENIDO

1.	Ficha de resumen	1
2.	Antecedentes	1
2.1	Clasificación y Analisis de cambios en la cobertura forestal	2
2.2	imágenes de satelite sentinel	2
2.3	Cobertura forestal en la rbsm	3
3.	Objetivos	4
4.	Metodología	4
4.1	Imágenes de Satélite	4
4.2	Procesamiento de Imágenes	5
4.3	Clasificación por Tipo de Bosque	5
	Firmas espectrales	6
	Clasificación supervisada	6
	Revisión de clases y reclasificación	6
5.	Resultados y discusión	6
5.1	Cobertura Forestal por Tipo de Bosque del año 2021	6
	Bosque de coníferas	7
	Bosque mixto	7
	Bosque Nuboso	8
	Bosque latifoliado	8
5.2	Análisis comparativo entre el año 2020 y el año 2021	11
	Impactos de las Tormentas Tropicales Eta e Iota	12
6.	Importancia y sostenibilidad para el manejo de la RBSM	13
7.	Conclusiones y Recomendaciones	14
	Recomendaciones:	14
8.	Referencias	14

I. FICHA DE RESUMEN

Objetivo:	Monitoreo de la cobertura forestal
Indicador:	Cuantificación de hectáreas de bosque por tipo
Ecosistema:	Bosque nuboso, mixto, latifoliado y coníferas
Amenazas a las que responde:	Avance de la frontera agrícola, incendios forestales, tala ilegal y deslizamientos de tierra.
Área de trabajo:	Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas
Subcuencas en las que se realizó el monitoreo:	Clasificación de cobertura forestal en cuatro subcuencas: <ul style="list-style-type: none">• San Jerónimo• Ribacó• El Hato• Mululjá
Línea base (2020):	24 526.93 hectáreas de bosque
Resultados de 2021:	23 580.30 hectáreas de bosque
Responsables del monitoreo en campo e informe de temporada:	José Miguel Girón Galdámez

2. ANTECEDENTES

El primer esfuerzo de mapeo de la cobertura forestal en Guatemala se realizó en 1988 como una iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -FAO-, teniendo las primeras clasificaciones de la cobertura utilizando imágenes de satélite Landsat. Posteriormente a este esfuerzo, se han desarrollado mapeos de la cobertura forestal desde inicios de los años 90s, estos mapeos se fueron volviendo más populares con el acceso libre de imágenes de satélite.

Para el año 1999 el Instituto Nacional de Bosques –INAB-, retoma la idea de clasificar la cobertura forestal y la asociación forestal con cultivos, ese mismo año el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA- realiza un mapa de uso de la tierra. Para el año 2001 se suma a los esfuerzos de mapeo la Universidad del Valle de Guatemala, que anteriormente ya había realizado algunos trabajos de dinámica forestal para algunas municipalidades del país (UVG, INAB, CONAP, 2006).

Como resultado de esos esfuerzos interinstitucionales se ha logrado generar información de la cobertura forestal para los años 1991, 2001, 2006, 2010, 2012 y 2016. La cual ha servido de base para análisis de la cobertura, dinámica forestal y otros estudios que permiten el monitoreo del bosque. De esta forma, generando información para el monitoreo en la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas y sirviendo como base para otros estudios a un contexto más local como se discutirá más a detalle en el informe.

En la actualidad y como resultado de más de 30 años de monitoreo forestal en Guatemala, con mejores resultados y logros en años recientes por el establecimiento de estrategias

REDD+, el monitoreo se convierte en una herramienta sistematizada y más robusta. Aportando mayor información sobre la cobertura forestal del país y una creciente necesidad de estudios más detallados que permiten tener mayor información y a un nivel más detallado como el esfuerzo del año 2012 con el mapa de cobertura forestal por tipo de cobertura.

2.1 CLASIFICACIÓN Y ANALISIS DE CAMBIOS EN LA COBERTURA FORESTAL

Las clasificaciones del uso o cobertura de la tierra pueden tener aplicaciones muy variadas desde el monitoreo de los recursos forestales, cambios en la biodiversidad utilizando índices de vegetación y monitoreo de plagas y enfermedades. La teledetección usa la reflectancia de la tierra para obtener información de los materiales y características de la superficie, gracias a estas características y a la composición de bandas espectrales – multispectrales pueden estudiarse aspectos fenológicos de la cobertura de terrestre, pudiendo cubrir áreas extensas y determinar el tipo de cobertura (Suárez et al., 2017).

A partir de la clasificación de imágenes para la cobertura forestal de un territorio se puede determinar los cambios utilizando imágenes con distintas fechas de captura de la escena. La detección de cambios a partir de una secuencia multitemporal (distintos periodos de tiempo) de imágenes de satélite es unas de las aplicaciones más importantes en percepción remota y en sistemas de información geográficas. El análisis de esta secuencia permite el seguimiento de procesos dinámicos en la tierra; ya que las imágenes son obtenidas de sensores desde una órbita estable permitiendo acceso a imágenes repetitivas del mismo territorio. Los cambios pueden deberse a diversos factores, desde deforestación o avance de la frontera agrícola, desastres naturales o eventos climáticos extremos incluso hasta políticas públicas o económicas. Identificar estos cambios es un proceso que requiere de una adecuada manipulación de las imágenes y manejo de los algoritmos de procesamiento de imágenes y de clasificaciones (Coppin et. al, 2014).

2.2 IMÁGENES DE SATELITE SENTINEL

Los satélites de Sentinel-2 son unos satélites gemelos que facilitan imágenes ópticas de alta resolución para los servicios terrestres de 10 metros de resolución espacial por pixel. Proporciona imágenes de la vegetación, el suelo y la cobertura de agua, las vías de acuáticas de navegación interior y las zonas costeras, por ejemplo. El Sentinel-2 también facilita información para los servicios de emergencia. Los satélites gemelos Sentinel-2A y Sentinel-2B se lanzaron el 22 de junio de 2015 y el 7 de marzo de 2017, respectivamente.

Estos satélites de la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés), siendo el proyecto Copernicus el que integra estas misiones del Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea. Proporcionando información continua con escenas de alta resolución de la superficie terrestre.

<i>Bandas del Sentinel</i> -2	<i>Indicador</i>	<i>Longitud de onda (μm)</i>	<i>Resolución espacial</i>
<i>Banda 1</i>	Aerosoles	0.443	60
<i>Banda 2</i>	Azul	0.49	10
<i>Banda 3</i>	Verde	0.56	10
<i>Banda 4</i>	Rojo	0.665	10
<i>Banda 5</i>	Ultra rojo	0.705	20
<i>Banda 6</i>	Rojo lejano	0.74	20
<i>Banda 7</i>	Infrarrojo cercano	0.783	20
<i>Banda 8</i>	NIR - Infrarrojo cercano	0.842	10
<i>Banda 8A</i>	Infrarrojo cercano 2	0.865	20
<i>Banda 9</i>	Vapor de agua	0.945	10
<i>Banda 10</i>	SWIR – Cirrus	1.375	60
<i>Banda 11</i>	SWIR	1.61	20
<i>Banda 12</i>	SWIR	2.19	20

Tabla 1 Características de las 12 bandas de las imágenes Sentinel 2

2.3 COBERTURA FORESTAL EN LA RBSM

La mayoría de la información histórica de cobertura forestal para la Sierra de las Minas se ha obtenido de los análisis históricos a nivel nacional de la cobertura forestal del Instituto Nacional de Bosques -INAB- y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-. Teniendo así información cada 4 años y a una escala de análisis a nivel nacional que no permite tener información más detallada para la RBSM, que requiere de un análisis más detallado. Los monitoreos de la cobertura forestal utilizando sensores remotos, ayudan a comprender las interacciones del medio con el territorio y con las medidas implementadas que colaboren con la conservación del recurso forestal.

Teniendo información de la cobertura forestal de forma consistente, estructurada y en un mediano o largo plazo, permitirá evaluar los alcances y éxitos en la conservación de los recursos forestales de la RBSM. El desarrollo de información más detallada como tipos de bosque también colabora en la delimitación de áreas de distribución de especies de especial conservación. Así como, identificar las amenazas vinculadas a una estructura forestal por especies maderables.

La información utilizada para clasificar tipos de bosque para la RBSM ha tenido como base los estudios realizados por el Mapa Forestal por Tipo y Subtipo de Bosque del año 2012. Este constituye el esfuerzo más detallado a nivel nacional que aportó información importante también para la RBSM, definiendo algunos tipos de cobertura forestal como bosque latifoliado, bosque de coníferas, bosque mixto y asociaciones de árboles dispersos.

Como parte del Proyecto Biodiversidad de Guatemala para el apoyo a la RBSM, se buscó la clasificación de tipos de bosque de 4 subcuencas dentro de la RBSM; Río San Jerónimo, Río Hato, Río Ribacó y Río Mululhá, estas cuencas se ubican al oeste de la Reserva. Estas representan el 13% del total de la superficie de la RBSM, presentando tipos de bosque muy variados como bosque nuboso, latifoliado, mixto y coníferas.

3. OBJETIVOS

General

Determinar la superficie de cobertura forestal por tipo de bosque para las subcuencas del Proyecto Biodiversidad de Guatemala.

Específicos

- Generar un mapa y datos de cobertura forestal por tipo de bosque para las subcuencas priorizadas para el año 2021.
- Realizar un análisis de cambios de cobertura del año 2020 y el año 2021.

4. METODOLOGÍA

La generación de los mapas de cobertura forestal anual para este informe se generó a partir de la utilización de imágenes de satélite de alta resolución utilizando una clasificación supervisada, utilizando firmas espectrales y una revisión de clases al finalizar el proceso automatizado. Utilizando una serie de insumos y procedimientos para lograr el objetivo.

4.1 IMÁGENES DE SATÉLITE

Para este trabajo de clasificación de la cobertura forestal por tipo de bosque para el año 2021, se utilizaron imágenes Sentinel-2A de la Agencia Espacial Europea (European Space Agency –ESA-). Estas imágenes son parte del Programa de observación de la tierra, consta de 6 misiones que son denominadas Sentinel, para este trabajo en el que fueron utilizadas imágenes Sentinel-2, generalmente son utilizadas para monitoreo de la tierra, tienen 13 bandas, tienen una resolución espacial de 10, 20 y 30 metros y la resolución temporal es de una periodicidad de 5 días (Donezar, 2018).

La imagen utilizada fue del 25 de marzo de 2021 y se descargó del sitio web del programa The Copernicus Open Access Hub, el cual contiene acceso gratuito de las misiones Sentinel.

Esta imagen contaba con un porcentaje de nubosidad de menos del 10% en el área de las subcuencas, por lo tanto, se utilizó otra imagen para hacer las máscaras y obtener una imagen sin nubosidad. La segunda imagen utilizada fue del 5 de marzo de 2021. Las imágenes descargadas ya se encontraban desde su sitio original con las mejoras atmosféricas para contar con imágenes con mayor claridad y coloración, sin contar con opacidad de una imagen sin tratamiento.

4.2 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

La combinación de bandas utilizadas fue infrarrojo para tener una buena sensibilidad a la vegetación verde (en la combinación de bandas serán distintos tonos de rojo), esto debido a la alta reflectancia en el infrarrojo y la baja en los visible será representado por caminos, masas de agua, suelo desnudo y zonas urbanas (Alonso, 2019). La combinación para Sentinel-2 fue de las bandas: 8, 4 y 3 para obtener la combinación de infrarrojo para la clasificación, para lograr esta imagen con estas tres bandas, se realizó una combinación de bandas utilizando un programa de sistemas de información geográfica.

Con esta combinación de bandas se logran unas tonalidades de los distintos tipos de cobertura que se describen a continuación:

- Rojo: indica una vegetación sana y bien desarrollada, como cultivos anuales y permanentes, si presentan una textura de distintos tonos de rojo puede ser vegetación arbórea.
- Rosa: zonas con vegetación menos densa o menos desarrollada. Regularmente indican zonas de pastos o agricultura. La coloración puede cambiar dependiendo de la época del año, brindando tonos más claros y brillantes en época lluviosa, sin embargo, para pastos bajo riego o zonas agrícolas el contraste con otras zonas en época seca es aún más evidente.
- Blanco: suelos desnudos generalmente, en estas escenas de imágenes los derrumbes también podían verse en color blanco. También la nubosidad puede verse en un color blanco.
- Azul oscuro: cuerpo de agua, algunas secciones de un río o represas.
- Marrón: vegetación arbustiva, si tiene una tonalidad grisácea generalmente es bosque seco.
- Tonos negros o grises muy oscuros: son zonas de sombra de nubes, sombras por topografía accidentada o áreas quemadas.

4.3 CLASIFICACIÓN POR TIPO DE BOSQUE

El método para obtener la categorización fue Clasificación Supervisada utilizando firmas espectrales. El uso de firmas espectrales permite indicar por interpretación del usuario a que clases o tipo de cobertura pertenece cada área de la imagen. Es llamada clasificación

supervisada ya que usa firmas espectrales estas dan la “muestra” de las clases que deben de ser clasificadas en la imagen de satélite, este tipo de clasificación no es totalmente automatizada, si no que requiere de la interpretación de un técnico especializado para su clasificación (Pucha, 2012).

Firmas espectrales

Tomando en cuenta la fotointerpretación que se da la imagen como en la sección anterior, se procedió a crear un archivo de puntos de no menos de 40 puntos para cada clase, asignando un valor a la tabla de atributos como el tipo de cobertura a la que pertenecía. Esta capa fue utilizada para generar la firma espectral que sería utilizada para la clasificación supervisada.

Clasificación supervisada

Como resultado de esta clasificación y los puntos de entrenamiento de las firmas espectrales. Se obtuvo una clasificación de pixeles en 5 clases: Bosque latifoliado, bosque mixto, bosque de coníferas, bosque nuboso y no bosque. La clasificación es pixel a pixel, es decir, que el resultado es el pixel interpretado como cada categoría por las firmas espectrales. En este proceso se encuentran algunos pixeles que no fueron clasificados en la categoría correcta, como una confusión de clases.

Revisión de clases y reclasificación

Como resultado se obtuvo un raster clasificado en 5 tipos de cobertura con los valores asignados a cada uno de los tipos de cobertura, en la mayoría de los casos por la exposición a la luz o ubicación algunos pixeles no fueron clasificados de forma correcta. Para la etapa de revisión y reclasificación se convirtió el raster en un archivo shapefile para poder realizar las correcciones y limpieza de pixeles.

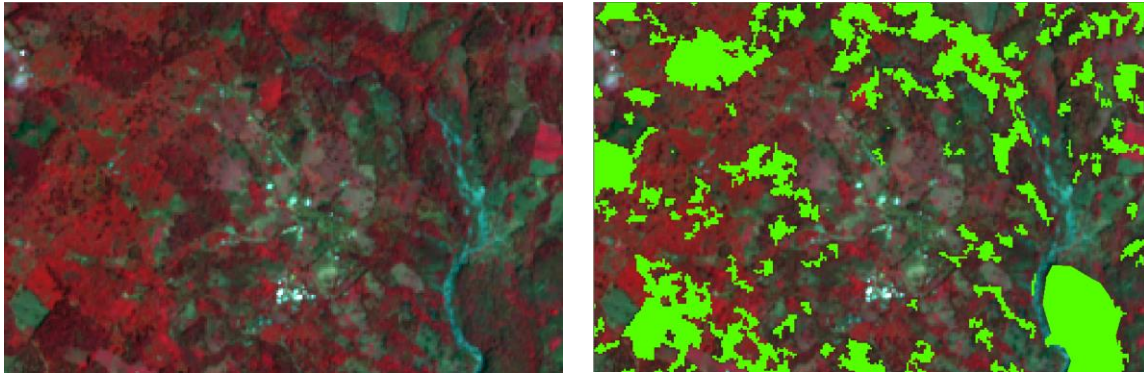
Está revisión permitió clasificar en los 5 tipos de cobertura descritos anteriormente. También fue realizada una “eliminación” de polígonos menos a 0.20 hectáreas, esto para mejorar el aspecto en la clasificación y mostrar áreas más homogéneas. Estos pixeles aislados mediante este proceso se clasifican dentro de la categoría circundante más abundante en el área que se encuentre dentro de la matriz de pixeles.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 COBERTURA FORESTAL POR TIPO DE BOSQUE DEL AÑO 2021

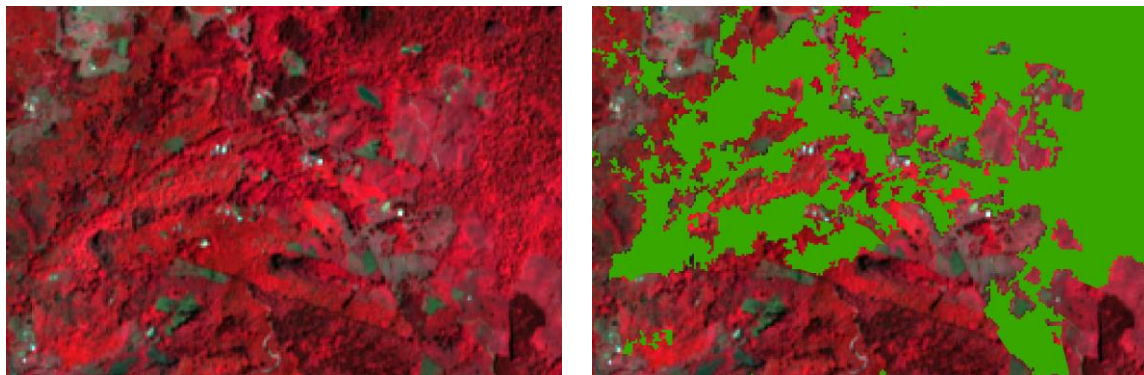
Como resultado se obtuvo una clasificación por tipo de bosques para las siguientes categorías: bosque latifoliado, bosque mixto, bosque de coníferas, bosque nuboso y no bosque. Algunos datos relevantes por tipo de cobertura se describen a continuación:

Bosque de coníferas



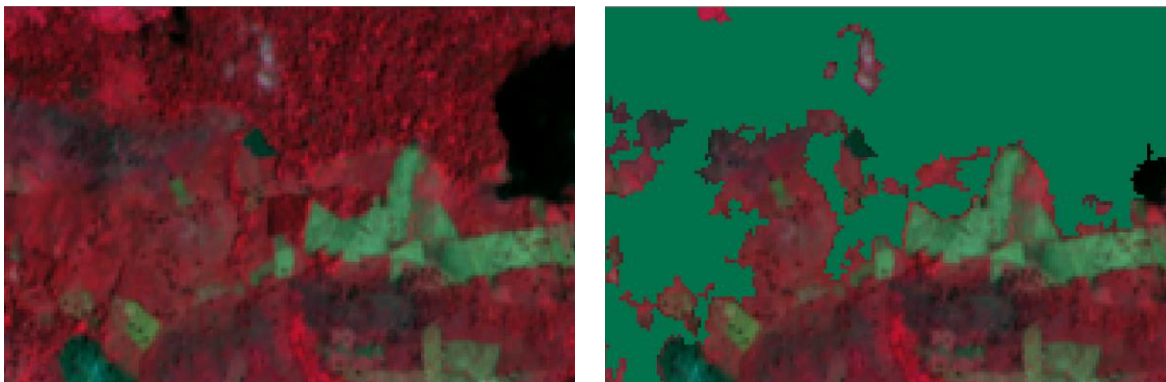
Este tipo de cobertura forestal tiene una composición arbórea dominado por coníferas, del genero *Pinus*, por más de un 70% de presencia de la especie sobre otras con las que pueden conformar las masas forestales. Es la segunda cobertura forestal más abundante de las subcuencas con más de un 10% del territorio.

Bosque mixto



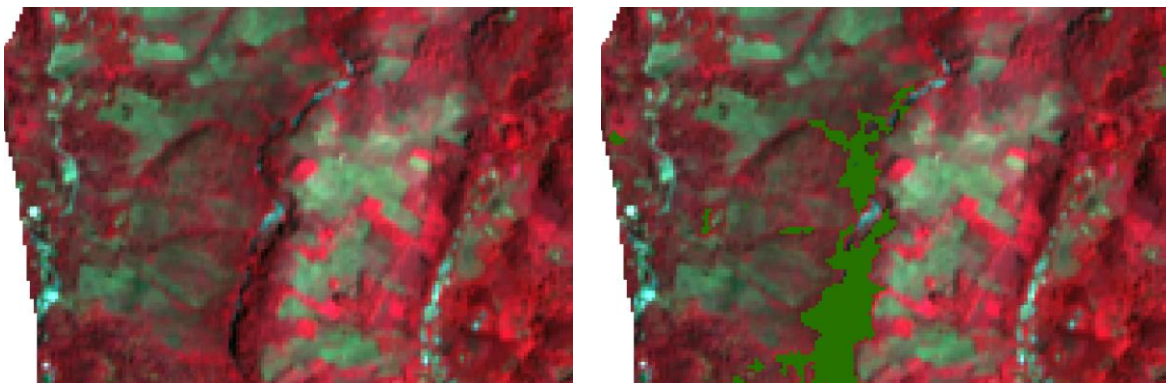
Esta asociación está conformada por varias especies de *Pinus oocarpa* o *Pinus maximinoi*. Y otras latifoliadas que son dominantes en el paisaje. Entre las especies de latifoliadas pueden tener presencia *Quercus* o *Liquidambar styraciflua*. El bosque mixto cubre un 8% de la cobertura total de las subcuencas.

Bosque Nuboso



Bosques mixtos o latifoliados que, por sus características de humedad relativa, precipitación, temperatura y elevación por encima de los 1500 ms.n.m. se caracterizan por su alta densidad de niebla superficial y conformar la mayor extensión forestal en la cima de la Sierra de las Minas. Es el tipo de cobertura forestal más abundante de las subcuencas con más del 50% de la ocupación en el territorio.

Bosque latifoliado



Asociación forestal dominada por especies latifoliadas o de hoja ancha siempre verdes. Característico de climas tropicales y con una alta densidad y diversidad de especies. Es la cobertura forestal menos abundante, ubicado principalmente en bosques de ribera y altitudes bajas de las cuencas.

Según el Tabla 2 la cuenca con la mayor cobertura forestal es la Subcuenca del San Jerónimo, esta subcuenca se caracteriza por sus actividades de manejo forestal para producción de madera con un 80% de bosque en su superficie, la cuenca con una menor cobertura forestal es la del Río Hato con un 65%, en esta cuenca también se encuentran asociaciones de coníferas de baja densidad.

Tipo de Cobertura	Hato		Ribacó		San Jerónimo		Mululhá	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Bosque latifoliado	10	0%	148	1%	3	0%	82	2%
Bosque mixto	757	9%	1,326	9%	256	8%	397	8%
Bosque de coníferas	2,545	29%	543	4%	85	3%	162	3%
Bosque nuboso	2,333	27%	9,676	65%	2,343	70%	2,900	55%
No Bosque	3,104	35%	3,131	21%	659	20%	1,723	33%

Tabla 2 Superficie en hectáreas por subcuenca y tipo de cobertura. Fuente: FDN, 2021

Respecto a la conservación de bosques dentro de la zona núcleo (Figura 1) la cobertura forestal se mantiene por arriba de un 97% para tres de las subcuencas: Hato, Ribacó y San Jerónimo. Únicamente Mululhá cuenta con un 86% de cobertura forestal en su zona núcleo. La mayoría de estas zonas desprovistas de bosque se deben que las condiciones topográficas y edáficas hacen del territorio una zona propensa a deslaves, como puede verse en la Figura 2.

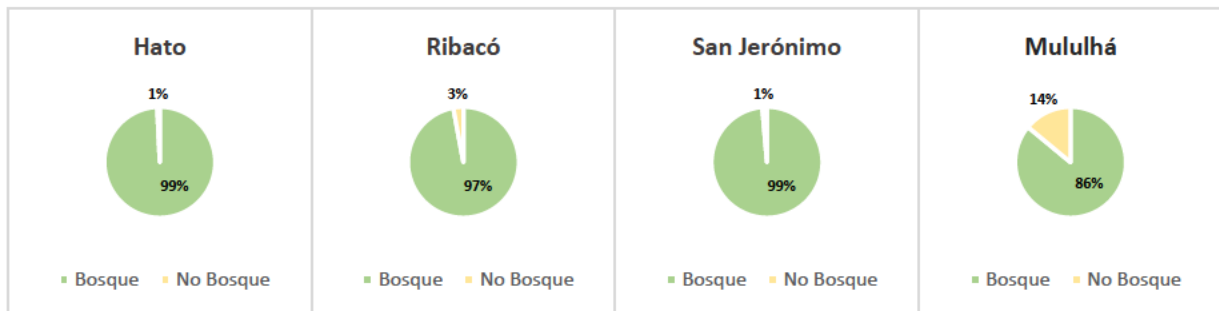


Figura 1 Porcentaje de bosque en la categoría de protección de zona núcleo por subcuenca. Fuente: FDN, 2021

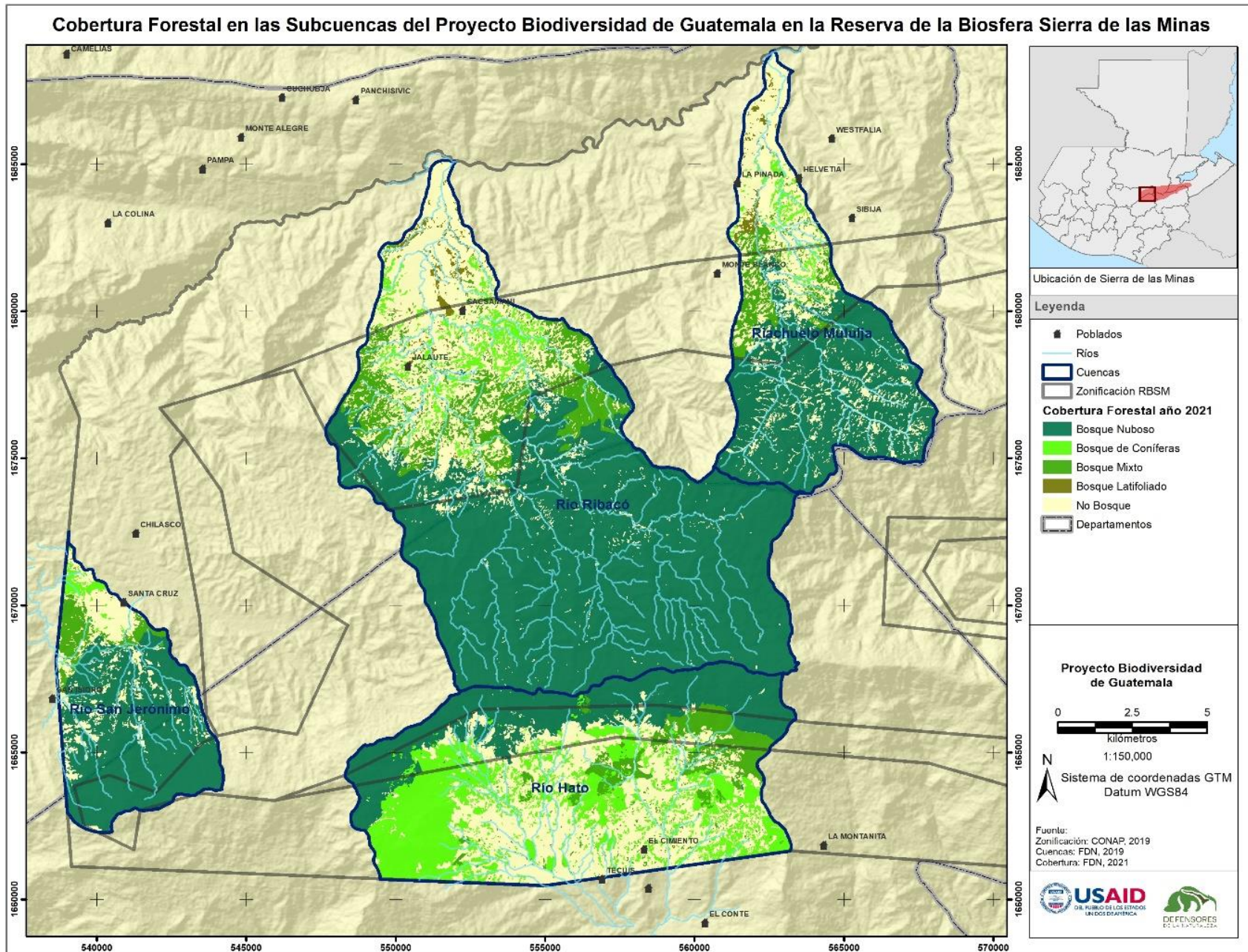


Figura 2 Mapa de cobertura forestal por tipo de bosque del año 2021. Fuente FDN, 2021

5.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL AÑO 2020 Y EL AÑO 2021

Los análisis de cobertura forestal anual para el Proyecto Biodiversidad de Guatemala se han realizado desde el año 2019. Sin embargo, y con el afán de mejorar la información proporcionada en el 2019, en el año 2020 se cambió la metodología e insumos utilizados, utilizando mejor calidad de imágenes de satélite con Sentinel.

Por ello, para este informe se consideran el año 2020 y 2021 para este análisis comparativo. Teniendo diferencias en el cambio de cobertura forestal (Tabla 3) por debajo del 5% como pérdida de bosque para las subcuencas del Ribacó y Mululhá, un aumento en la cobertura del 5% en San Jerónimo y una diferencia de -9% respecto a 2020 para la subcuenca del Hato.

Subcuenca	2,020		2,021		Diferencia 2020-2021
	Bosque	No Bosque	Bosque	No Bosque	
Hato	74%	26%	65%	35%	-9%
Ribacó	80%	20%	79%	21%	-1%
San Jerónimo	75%	25%	80%	20%	5%
Mululhá	71%	29%	67%	33%	-4%

Tabla 3 Comparación porcentual de la cobertura forestal del año 2020 y del año 2021. Fuente: FDN, 2021

Subcuenca del Hato:

Considerando que la mayor pérdida de cobertura forestal se dio en bosques mixtos con 582 ha de las 793 que cambiaron a no bosque en esta subcuenca. Queda hacer la aclaración que las imágenes colectadas para el análisis de 2020 son del mes de enero y las del análisis 2021 son de finales del mes de marzo (no fue posible obtener una imagen de principios del año con una baja nubosidad), en este caso la fenología de la masa forestal puede variar y presentar esos cambios entre las clasificaciones. Siendo el bosque mixto con árboles caducifolios lo que pudieron clasificarse como no bosque, también las condiciones climáticas en la ladera del río Motagua muestran estaciones secas más marcadas por condiciones de humedad.

Subcuenca Ribacó:

Se presentó una reducción de la cobertura forestal del 1% esta reducción se dio en las coberturas forestales de bosque mixto y bosque latifoliado.

Subcuenca San Jerónimo

Esta subcuenca mostró un aumento en la cobertura forestal del 5%. El aumento de cobertura forestal no puede considerarse como una ganancia porque es apenas un año entre un año y el otro y nuevamente la diferencia entre fechas de toma de las imágenes podría considerarse como discrepancias en la clasificación.

Subcuenca Mululhá:

El cambio de cobertura forestal a no bosque fue de 4%. Con las mayores diferencias en bosque latifoliados y bosque mixto.

Impactos de las Tormentas Tropicales Eta e Iota

El paso de las tormentas tropicales en el mes de noviembre del año 2020 generó impactos en las zonas bajas de los departamentos de Alta Verapaz e Izabal. Los daños causados por eventos de carácter hidrometeorológico a pesar de ser cuantiosos pueden pasar desapercibidos por la mayoría de la sociedad. Los fuertes vientos y prolongadas lluvias pueden alterar el estado de los activos ambientales, entendidos estos como la cobertura forestal (Bello y Peralta, 2021).

Sin embargo, estos daños menos visibles también se dieron en la cobertura forestal en la Sierra de las Minas, en donde, la topografía y suelos susceptibles presentan un riesgo para la ocurrencia de deslizamientos, como puede observarse en los círculos amarillos en la Figura 3 en la parte media y alta de la subcuenca del Mululhá.

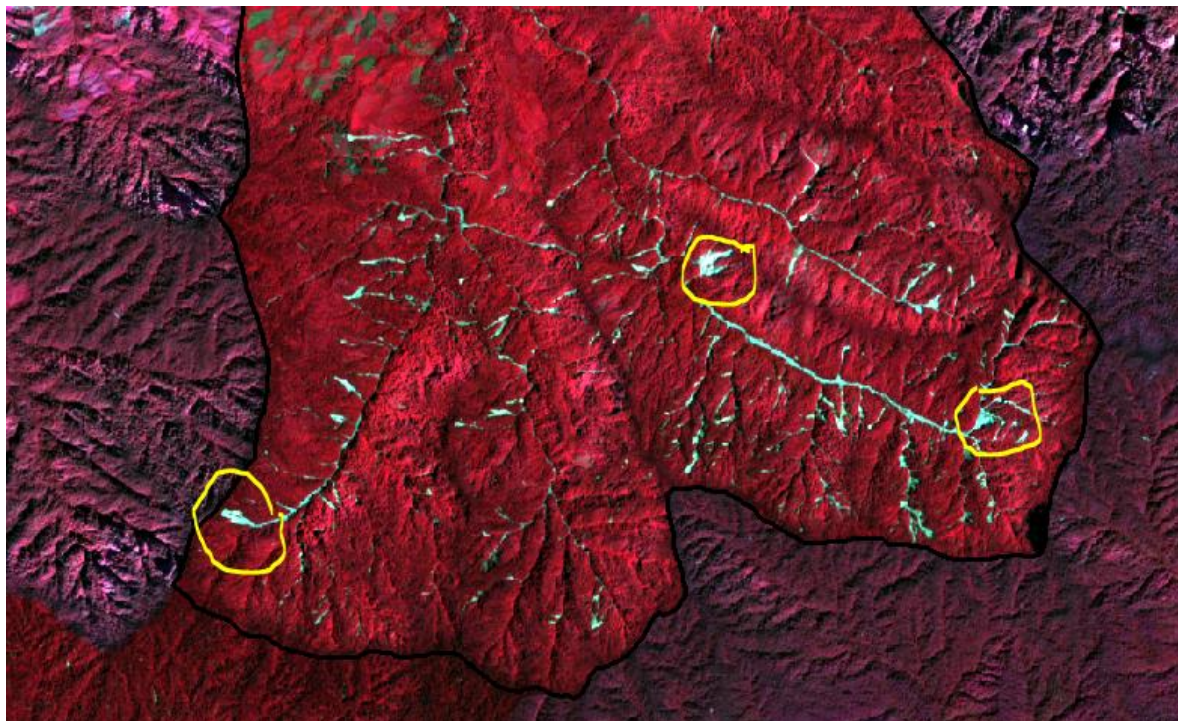


Figura 3 Deslaves en la subcuenca del Mululhá, imagen en infrarrojo (suelo desnudo en color blanco). Fuente: Sentinel, 2021

6. IMPORTANCIA Y SOSTENIBILIDAD PARA EL MANEJO DE LA RBSM

El principal desafío en el manejo de las áreas protegidas es mantener la integridad de los ecosistemas que se están conservando, incluyendo entre estos indicadores la conservación de la cobertura forestal, la conservación de recursos naturales como suelo y agua y el hábitat y poblaciones de especies vulnerables y de importancia ecológica.

Considerando el criterio de conservar la cobertura forestal como un indicador de un buen manejo integral de un área protegida, hace del monitoreo forestal una herramienta fundamental para los administradores de áreas protegidas como en este caso para la Fundación Defensores de la Naturaleza. La RBSM como área protectora de varios tipos de bosque, dentro de este, el bosque nuboso continuo más extenso de Guatemala y una gran extensión territorial tiene como prioridad la implementación de técnicas de monitoreo forestal como en este caso con el uso de sensores remotos como las imágenes de satélite.

A partir de estos fundamentos, se considera crucial este tipo de informes para tener un alcance a un nivel de detalle que permita a los tomadores de decisiones evaluar el nivel de conservación del recurso forestal como en este caso en particular. Como parte de estos monitoreos se tomó la decisión de ampliar estos análisis de la cobertura forestal para toda la RBSM, teniendo como resultado en el año 2021, el Mapa de Cobertura Forestal de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas para el año 2020.

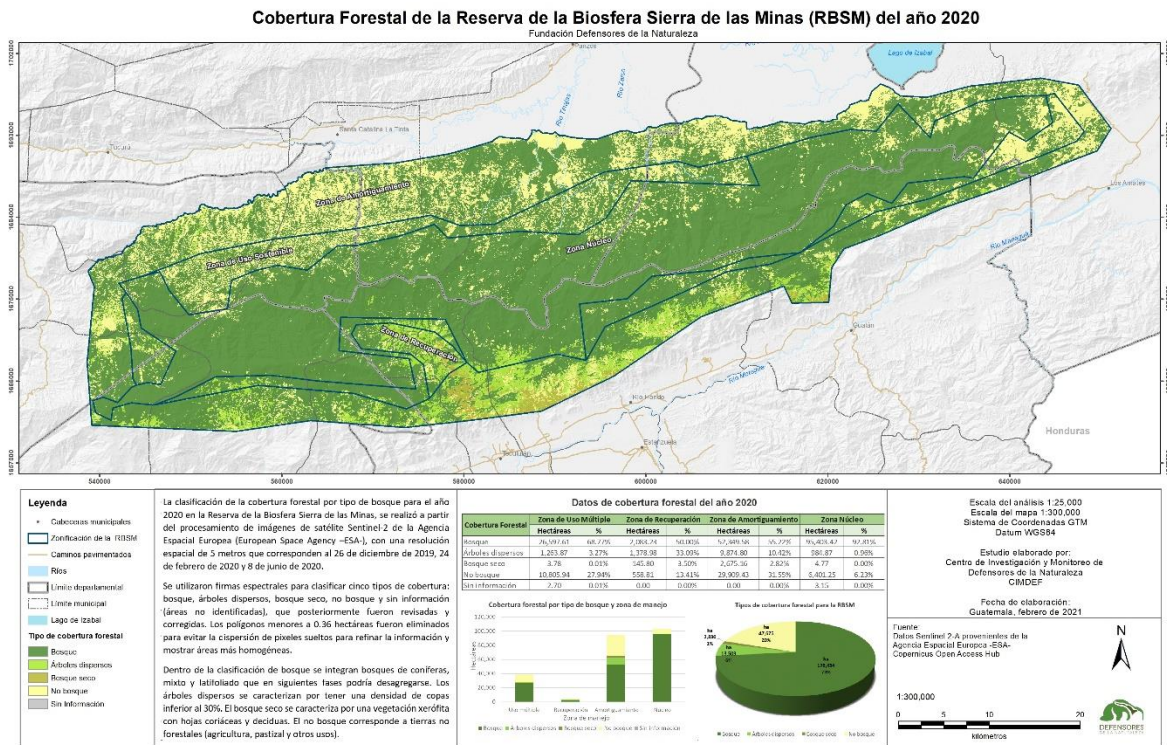


Figura 4 Cobertura Forestal de la RBSM del año 2020. Fuente: FDN, 2021

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La cobertura forestal en las subcuencas se mantienen por encima del 65% de la cobertura forestal. Teniendo el valor más bajo la subcuenca del Hato con el 65% y la subcuenca San Jerónimo con el 80% de cobertura forestal.
- El bosque presente en la zona núcleo de las 4 microcuencas se encuentra por arriba del 86%. Presentando el valor más bajo (86%) la subcuenca Mululhá. Es destacable recalcar que las otras subcuencas se encuentran por encima del 97% de cobertura forestal en la zona núcleo.
- Las variaciones en el análisis de cobertura forestal del año 2020 respecto al 2021 hace no fueron superiores al 4% para las subcuencas de Ribacó y Mululhá. La diferencia en la cobertura forestal en la subcuenca del Hato puede deberse a cambios fenológicos en la vegetación por la diferencia de fechas en las imágenes obtenidas en el periodo.

Recomendaciones:

Se recomienda mantener el monitoreo de la cobertura forestal, siguiendo la metodología y el uso de imágenes de alta resolución Sentinel por la escala de trabajo en las subcuencas. También es importante considerar de seleccionar en lo posible fechas de las imágenes de satélite lo más próximas posibles.

8. REFERENCIAS

- UVG-INAB-CONAP. 2006. Dinámica de la Cobertura Forestal de Guatemala: Durante los Años 1991, 1996 y 2001 y Mapa de Cobertura Forestal 2001. Guatemala. Informe Técnico. 98 pp
- Suárez, A; Jiménez, A; Castro-Franco, M; Cruz-Roa, A. 2017. Clasificación y mapeo automático de coberturas del suelo en imágenes satelitales utilizando Redes Neuronales Convolucionales. Orinoquia. Universidad de los Llanos. Colombia
- P. COPPIN*, I. JONCKHEERE, K. NACKAERTS, B. MUYS, E. LAMBIN. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring. VOL. 25, NO. 9, 1565–1596. ISSN 0143-1161 print/ISSN 1366-5901 online # 2004 Taylor & Francis Ltd <http://www.tandf.co.uk/journals>.
- Donezar, U., Larrañaga, A., Tamés, A., Sánchez, C., Albizua, L., Ciriza, R., Barrio, F. (2018). Aplicación de imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2 en la detección y delineación

de información de crisis de desastres naturales. Congreso GeoEuskadi. Euskadi. España.

- Alonso, D. (2019). Combinación de Bandas en Imágenes de Satelite Landsat y Sentinel. MappingGis. <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>.
- Pucha, F. (2012). Clasificación Supervisada y No Supervisada en ArcGis. ArcGeek. [https://acolita.com/clasificacion-supervisada-no-supervisada-en-arcgis/#:~:text=La%20clasificaci%C3%B3n%20supervisada%20y%20no,\(firmas\)%2C%20finalmente%20reclasifica%20de.](https://acolita.com/clasificacion-supervisada-no-supervisada-en-arcgis/#:~:text=La%20clasificaci%C3%B3n%20supervisada%20y%20no,(firmas)%2C%20finalmente%20reclasifica%20de.)
- O. Bello y L. Peralta (coords.), Evaluación de los efectos e impactos de las depresiones tropicales Eta y Iota en Guatemala (LC/TS.2021/21), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021. ■