

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EL
CAMBIO DE USO DE LA TIERRA DE BOSQUE NATIVO A OTROS USOS EN
EL DEPARTAMENTO DE MALDONADO

por

Irina Soledad PALADINO ARES
Camila Yohana PEREYRA MONTES DE OCA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2022

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. MSc. Forestal Guillermo Moras

Ing. Agr. Dr. Gustavo Daniluk

Ing. Agr. Iván Grela

Fecha: 21 de marzo de 2022

Autoras:

Irina Soledad Paladino Ares

Camila Yohana Pereyra Montes de Oca

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a nuestras familias y amigos por el gran apoyo a lo largo de toda la carrera.

A los Ing. Agr. Guillermo Moras y Gustavo Daniluk, director y co-director de nuestra tesis por el asesoramiento brindado durante toda la realización del presente trabajo.

Y por último a la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República y a todos los docentes por brindarnos herramientas y conocimientos que hicieron posible nuestra formación.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. DEPARTAMENTO DE MALDONADO.....	3
2.2. DEFINICIÓN BOSQUE PRIMARIO.....	3
2.3. CARACTERIZACIÓN Y ASPECTOS RELEVANTES DEL BOSQUE NATIVO.....	4
2.4. BOSQUE NATIVO EN EL DEPARTAMENTO DE MALDONADO.....	4
2.5. USO Y CAMBIO DE USO DE LA TIERRA.....	6
2.6. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	7
2.7. TELEDETECCIÓN.....	8
2.7.1. <u>Satélite de observación de la tierra</u>	8
2.7.2. <u>Tipos de sensores</u>	9
2.7.3. <u>Imágenes multibandas o multiespectrales</u>	9
2.8. SERIE LANDSAT.....	9
2.9. I-TREE CANOPY.....	9
2.10. QGIS.....	10
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	12
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA CON I- TREE.....	12
3.1.1. <u>Primera etapa – año 2021</u>	12
3.1.1.1. Carga del archivo shape.....	13
3.1.1.2. Establecimiento de clases de cobertura de suelo.....	13
3.1.1.3. Generación y clasificación de puntos.....	14
3.1.1.4. Interpretación de los puntos por parte del programa.....	15
3.1.2. <u>Segunda etapa – año 2004</u>	16
3.1.2.1. Apertura de archivo I-Tree 2021.....	16
3.1.2.2. Exportación de puntos en archivos kmz.....	17
3.1.2.3. Fotointerpretación.....	17
3.1.2.4. Interpretación de los puntos por parte del programa.....	18
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA CON QGIS.....	18

3.2.1. <u>Establecimiento de sistema de referencia de coordenadas del proyecto</u>	20
3.2.2. <u>Selección de imágenes satelitales</u>	20
3.2.3. <u>Delimitación del área de interés</u>	21
3.2.4. <u>Utilización de herramientas ráster</u>	21
3.2.5. <u>Combinación de bandas RGB mediante complemento SCP para cada imagen</u>	21
3.2.6. <u>Clasificación supervisada</u>	25
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	26
4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE I-TREE.....	26
4.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE QGIS.....	29
4.3. CUADRO COMPARATIVO ENTRE LAS DISTINTAS HERRAMIENTAS.....	33
5. <u>CONCLUSIONES</u>	34
6. <u>RESUMEN</u>	36
7. <u>SUMMARY</u>	37
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	38

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Valores mínimo y máximo de las bandas RGB para año 2004.....	22
2. Valores mínimo y máximo de las bandas RGB para año 2021.....	23
3. Porcentaje y área de cobertura de los distintos usos de suelos para el año 2004 con la herramienta I-Tree.....	27
4. Porcentaje y área de cobertura de los distintos usos de suelos para el año 2021 con la herramienta I-Tree.....	28
5. Porcentaje y área de cobertura de bosque nativo para el año 2004 con la herramienta QGIS.....	31
6. Porcentaje y área de cobertura de bosque nativo para el año 2021 con la herramienta QGIS.....	32
7. Cuadro comparativo con resultados finales.....	33
Figura No.	
1. Distribución de bosque en Uruguay.....	5
2. Diagrama de proceso I-Tree -2021.....	12
3. Delimitación del área de interés en I-Tree.....	13
4. Establecimiento de clases de cobertura de suelos.....	14
5. Interpretación de los resultados por parte del programa.....	15
6. Diagrama de proceso I-Tree – 2004.....	16
7. Exportación de puntos, en archivo kmz.....	17
8. Diagrama de proceso QGIS.....	19
9. Mapa del departamento de Maldonado en el año 2004.....	22
10. Mapa del departamento de Maldonado en el año 2021 con tonalidades falso color infrarrojo.....	23
11. Acercamiento de imagen con tonalidades falso color infrarrojo.....	24
12. Gráfico de cobertura en porcentaje de bosque nativo al año 2004 y 2021.....	28
13. Mapa de cobertura de suelo con clasificación supervisada año 2004...	29
14. Mapa de cobertura de suelo con clasificación supervisada año 2021...	30
15. Mapa de cobertura de bosque nativo, año 2004.....	31
16. Mapa de cobertura de bosque nativo, año 2021.....	32
17. Gráfico de cobertura en porcentaje de bosque nativo al año 2004 y 2021.....	33

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades productivas agrícolas y forestales generaron pérdida de superficie y biodiversidad de monte nativo, como consecuencia de una mayor presión sobre éste.

A estas actividades se le agrega la tala ilegal, provocando disminución del área ocupada y el desarrollo de especies invasoras. Dichas intervenciones, perjudican los procesos ecológicos y las funciones ecosistémicas, las cuales son vitales para la vida humana y animal.

La aprobación de la segunda ley forestal No. 15.939 en 1987, tiene como uno de sus objetivos la conservación del bosque nativo, posterior a su aprobación se pudo observar por parte de MGAP. DGF un aumento progresivo del área. Sin embargo, el uso de distintas cartografías a lo largo de los años, hace difícil la comparación debido a la utilización de diferentes metodologías, herramientas, intérpretes y resoluciones de imágenes; lo cual se debe considerar errores e incertidumbres. Este incremento de la superficie de bosque nativo es algo inusual en el resto de los países de América Latina. Igualmente, cabe aclarar que los avances de bosques son de pequeña magnitud, en especial si se comparan períodos muy cercanos en el tiempo.

En 1990, se aprueba la planificación estratégica para la gestión del bosque nativo de el MGAP. DGF, la cual estipula permitir el aprovechamiento sostenido, y preservar la diversidad genética entre otros objetivos. Posteriormente en 2007, la Convención Marco de las Naciones Unidas, ratificada por Uruguay, adoptó una serie de decisiones sobre el cambio climático, el cual es afectado en gran medida por la deforestación. Se crearon mecanismos con el fin de reducir la deforestación y por consecuente la emisión de gases de efecto invernadero.

Actualmente existe información y distintas herramientas las cuales permiten poder evaluar la situación anteriormente mencionada en relación al bosque nativo.

En este contexto se plantea como objetivo de este trabajo evaluar, homogeneizando los intérpretes, diferentes metodologías para analizar el cambio de uso de la tierra de bosque nativo a otros usos en el departamento de Maldonado. Las herramientas evaluadas en este proyecto son, QGIS un sistema de información geográfica, y un programa de estimación de cobertura de suelo denominado I-Tree; ambas de uso libre. De esta manera, disponer de una base técnica confiable para poder realizar una evaluación de sustitución de bosque

nativo, tal cual solicitan los distintos sistemas de certificación forestal y permitan afianzar la imagen de departamento natural y comprometido con la conservación de los recursos naturales.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. DEPARTAMENTO DE MALDONADO

El Departamento de Maldonado limita al Norte con Lavalleja, al Este con Rocha, al Sur con el Río de la Plata y el Océano Atlántico, y al Oeste con el departamento de Canelones.

El mismo abarca una superficie de 479.300 hectáreas, con abundancia de recursos, topografía variada, y diversidad genética de flora y fauna (INE, 2019).

Cuenta con suelos aptos para diferentes actividades productivas como agricultura, ganadería y forestación. Asimismo, el turismo tiene gran relevancia económica en el departamento, debido al carácter internacional de ciudades como Punta del Este y Piriápolis. En los últimos años el sector turístico se asoció al ámbito agropecuario, desarrollando complejos agroturísticos. El enoturismo es un ejemplo claro de esto, asociado a la producción vinícola.

El sector forestal ha crecido considerablemente en las últimas décadas, existiendo una superficie efectiva al año 2021 de 27.453 hectáreas (MGAP. DGF, 2021).

En cuanto a la población cuenta con 164.300 habitantes, siendo el 97% población urbana y el 3% población rural (INE, 2019).

2.2. DEFINICIÓN BOSQUE PRIMARIO

El bosque primario se compone de especies indígenas que se regeneran de manera natural, en el cual no se evidencia actividad humana y por lo tanto no se ha alterado de manera significativa los procesos ecológicos (FAO, 2015).

Según FAO (2015), los bosques primarios muestran composición natural de especies arbóreas, la presencia de madera muerta, una estructura natural por edades y procesos naturales de regeneración. Además, la superficie abarcada por los mismos permite la preservación de sus características naturales. Como característica relevante, dichos bosques no presentan intervenciones significativas del hombre, o si ocurrió tuvo lugar mucho tiempo atrás, habiendo permitido el restablecimiento de la composición natural de las especies arbóreas y de los procesos naturales.

2.3. CARACTERIZACIÓN Y ASPECTOS RELEVANTES DEL BOSQUE NATIVO

Escudero (2004) señala que existe una notoria diferencia en la composición florística entre el Norte y Sur del país, y una clara zonificación micro climática (xerófilas, hidrófilas), además de un predominio de bosques secundarios y diversos grados de degradación por invasión de especies exóticas, sobrepastoreo, entre otros.

Las especies nativas suelen ser de lento crecimiento por lo tanto el bosque tarda cientos de años en llegar a su madurez.

El mismo alberga una alta cantidad de especies, siendo una gran fuente de diversidad biológica. También ofrece servicios ecosistémicos como, productos y servicios de valor económico, recreación y turismo. Debido a esto el país se ha comprometido a asegurar su conservación, siendo la ley forestal No. 15.939 la que regulariza las acciones sobre este. La misma prohíbe la corta y cualquier operación que atente contra el bosque nativo, con la excepción de la limpieza de alambrados perimetrales o cuando el propietario del bosque presente un plan de manejo ante la Dirección General Forestal, para su estudio y aprobación. Para ello existen instructivos (de registro y de planes de manejo de bosque nativo) en los cuales se detalla la información que el técnico debe proporcionar a esta dirección (MGAP, 2018).

En base al procesamiento digital e interpretación de imágenes satelitales que realizó la Dirección General Forestal en el año 2016 se estima que el bosque nativo representa aproximadamente un 5,2 % de la superficie agropecuaria del país, siendo casi 850.000 hectáreas (MGAP. DGF, 2018).

2.4. BOSQUE NATIVO EN EL DEPARTAMENTO DE MALDONADO

En la figura No. 1, se observa al bosque serrano como predominante en el departamento de Maldonado, el cual se representa en color rojo oscuro.

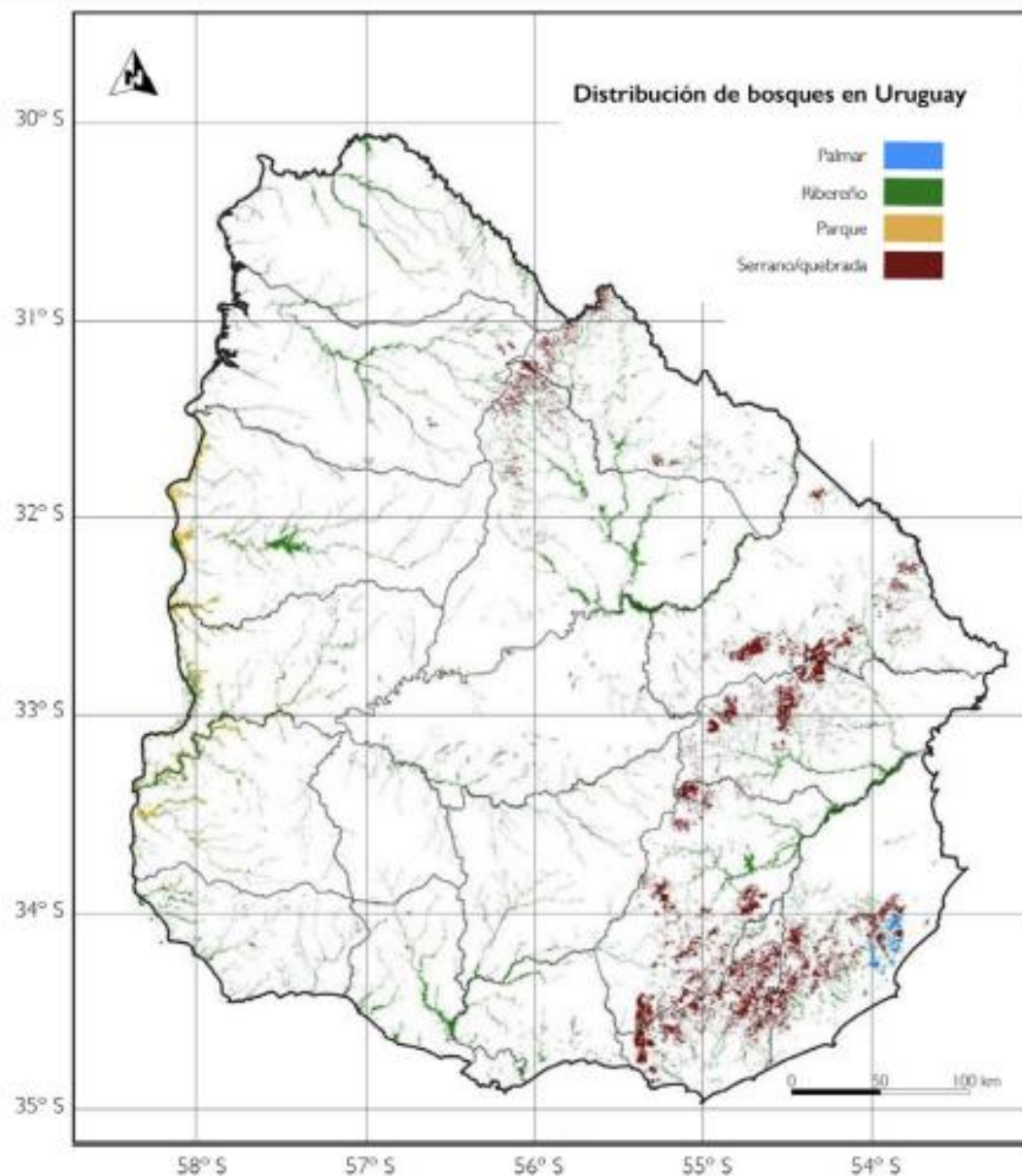


Figura No. 1. Distribución de bosques en Uruguay

Fuente: tomado de Brazeiro (2020).

El bosque serrano se desarrolla principalmente en los departamentos de Maldonado, Lavalleya, Cerro Largo, Treinta y Tres, Tacuarembó y Rivera. Se compone de especies xerófilas, que se adaptan a condiciones de déficit hídrico, a pesar de la existencia de mayor desarrollo de leñosas en zonas de acumulación de humedad y materia orgánica (Del Puerto, 1987).

“En las cimas de las sierras los bosques adquieren hábitos muy achaparrados y existe mayor abundancia de arbustos. Muchas especies presentan espinas u otras características que demuestran su carácter xeromorfo como hojas pequeñas y brillantes, o ausencia de ellas, tallos tortuosos, etc.” (Grela y Romero, 1996).

Los mismos se ubican en suelos superficiales y en condiciones de pendientes altas, cumpliendo un papel importante en la protección de suelos. A su vez disminuyen el riesgo de erosión, contribuyendo a evitar problemas de sedimentación en las cuencas bajas (Brazeiro, 2014).

2.5. USO Y CAMBIO DE USO DE LA TIERRA

El cambio climático constituye la mayor amenaza medioambiental a la que se enfrenta la humanidad. Los impactos del mismo ya son perceptibles, comprometiéndose la capacidad de alcanzar la seguridad alimentaria mundial, la posibilidad de erradicar la pobreza y lograr el desarrollo sostenible. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de la actividad humana y ganadera constituyen un importante factor causante de este fenómeno, reteniendo calor en la atmósfera terrestre y desencadenando el calentamiento global. Las decisiones de gestión tomadas, pueden repercutir en los bosques y generar un efecto a largo plazo en los flujos de carbono durante décadas y hasta ciento de años después (FMAM, 2012).

Hasta 1910, el lugar de mayor flujo de carbono era Estados Unidos y posteriormente China hasta 1960. Actualmente, América Central y América del Sur, Asia meridional y Sur oriental, junto a las regiones tropicales de África, se han convertido en los lugares de mayor flujo de carbono hacia la atmósfera. El flujo actual se atribuye principalmente al consumo de combustibles fósiles para la producción de energía y a emisiones provenientes de la deforestación y otras actividades de cambio del uso de la tierra en los trópicos (FMAM, 2012).

Si bien es una realidad que ya tiene implicaciones inevitables, aún se puede minimizar las consecuencias más severas. A nivel internacional, se ha buscado contribuir con la mitigación del cambio climático, promoviendo la conservación y el aumento de las reservas de carbono mediante la gestión sostenible del uso de la tierra, el cambio del uso de la tierra y la silvicultura, actividades comúnmente denominadas UTCUTS. Las actividades asociadas al sector del UTCUTS pueden influir en el ciclo mundial del carbono contribuyendo con la adición o extracción de GEI de la atmósfera (FMAM, 2012).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) adoptó, a partir del 2007, una serie de decisiones para la creación de mecanismos con el fin de estimular la acción en cuanto a la reducción de la deforestación y la degradación de los bosques y las emisiones de gases de efecto invernadero. Surge así, en 2013, el Marco de Varsovia para Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación forestal (REDD +, MGAP, 2020).

En Uruguay los Ministerios de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) y de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) han formalizado un acuerdo de ejecución conjunta y articulada del proyecto REDD +. El mismo es de carácter voluntario para los países en desarrollo, que estén interesados en contribuir a la mitigación a través de actividades forestales y abarca diversas actividades relativas a la silvicultura (MGAP, 2020).

El programa posee diferentes objetivos, de los cuales se destacan conservar y aumentar las reservas forestales de carbono; realizar una gestión sostenible de los bosques, sobre todo una correcta gestión de las áreas boscosas nativas vinculadas a usos productivos, buscando el equilibrio entre los objetivos económicos, sociales y ecológicos. A su vez manteniendo o mejorando los reservorios de carbono; y reduciendo las emisiones procedentes de la deforestación y de la degradación forestal (MGAP, 2020).

Todos los años, los países en desarrollo comunican a través de sus inventarios nacionales, las emisiones de GEI y las absorciones de CO₂, en el año en que ocurren (MGAP, 2020).

2.6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Los sistemas de información geográfica permiten analizar, buscar y mapear datos con ubicación geográfica precisa. Utilizan capas de información para lograr mejor entendimiento de la zona de estudio y facilitan la toma de decisiones. Para la ubicación de diferentes puntos de interés se utiliza la tecnología Sistema de Posicionamiento Global (GPS) lo cual complementa los datos obtenidos a campo (INIA, 2002).

La herramienta SIG otorga la oportunidad de realizar análisis comparativos de los recursos naturales entre diferentes épocas y espacios, mapear las áreas de estudio, y poder determinar los cambios sufridos en dichas áreas (INIA, 2002).

2.7. TELEDETECCIÓN

La teledetección, es una técnica la cual permite adquirir información acerca de objetos presentes sobre la superficie terrestre, a través de la captura de imágenes mediante sensores instalados a bordo de plataformas satelitales para su posterior procesamiento e interpretación (Arbelo et al., 2012).

En la formación de una imagen los elementos que intervienen, en caso de que se utilice un sensor pasivo son, una fuente de iluminación (sol), un sensor el cual registra la energía del sol reflejada por la superficie de la tierra, una antena en la tierra para recepción de la información capturada por los sensores, un software para el procesamiento y análisis de la información, y finalmente los usuarios (Copernicus, 2018).

La radiación, en su recorrido hacia la tierra, atraviesa e interacciona con la atmósfera para finalmente alcanzar la superficie terrestre. Según sus características físicas y químicas, los objetos pueden reflejar, absorber o transmitir esta radiación de forma distintas. Estas diferencias permiten distinguir un objeto de otro (Sarría, 2006). Los datos se transforman en imágenes digitales en una estación de recepción y procesamiento, los cuales son transmitidos por un sensor que recoge y almacena esa radiación reflejada por los objetos presentes en la superficie terrestre (Martínez, 2020). El producto generado finalmente por los sensores, es una imagen digital tipo ráster donde cada píxel tiene asignado uno o varios valores numéricos, los cuales se denominan valores digitales, haciendo referencia a la energía media recibida dentro de una determinada banda espectral (Martínez, 2020).

2.7.1. Satélites de observación de la tierra

Los satélites varían en función del tipo de órbita y sensores, resolución espacial y bandas espectrales (Copernicus, 2018).

En este caso el satélite utilizado en el proyecto se encuentra en la órbita heliosíncrona. *“El satélite avanza en su órbita, la Tierra gira sobre su eje. Cada vez que el satélite completa una vuelta se escanea una nueva franja de la superficie de la Tierra y, pasado un cierto número de vueltas, se habrá obtenido toda la superficie de la Tierra. Algunos satélites escanean una franja ancha y pueden de este modo cubrir la totalidad de la superficie de la Tierra en unas pocas vueltas. Por el contrario, los satélites de alta resolución que escanean sólo tiras finas tardan varios días en completar la cobertura de la Tierra.”* (Copernicus, 2018).

2.7.2. Tipos de sensores

Según la forma en que los sensores registran la radiación electromagnética se pueden clasificar en activos o pasivos. Los primeros son los que emiten la radiación electromagnética que se refleja en los objetos y a su vez miden la energía que se devuelve reflejada al sensor. Y en cuanto a los pasivos, estos no emiten ningún tipo de radiación. La información proviene de la radiación solar que refleja la Tierra o que emiten los propios objetos terrestres. Además, los sensores pasivos se clasifican según el número de bandas o canales espectrales de las imágenes adquiridas, utilizándose en este caso la serie Landsat el cual tiene sensores multiespectrales. Los mismos capturan información en varias bandas, la cual cada una pertenece a un espectro electromagnético (Copernicus, 2018).

2.7.3. Imágenes multibanda o multiespectrales

“Las imágenes multiespectrales disponen de varias bandas donde se almacena información de diversas regiones del espectro electromagnético. Los monitores y tarjetas de video disponen de 3 canales RGB: rojo, verde y azul. Por tanto, puede utilizarse cada canal del monitor para representar una banda y obtener así una composición de color. Por tanto, los datos multiespectrales se pueden representar por medio de composiciones de color o combinaciones de tres bandas.” (Copernicus, 2018).

El color natural y falso color infrarrojo son las combinaciones más utilizadas. El Color natural consiste en combinar las bandas rojo, verde y azul del sensor, proyectándose por los canales RGB del monitor respectivamente. Y en cuanto a la composición de falso color infrarrojo, la vegetación se visualiza en tonalidades de rojo y se utiliza para discriminar con mayor facilidad distintos tipos de vegetación, ya que en la banda 5 la vegetación posee alta reflectividad (Copernicus, 2018).

2.8. SERIES LANDSAT

El Servicio Geológico de EE.UU. en conjunto con la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) administran el programa Landsat, el cual consiste en una serie de satélites de observación de la tierra (USGS, s.f.).

“Todos con órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, y con una inclinación de 98, 2° respecto del Ecuador. La órbita de los satélites está diseñada de tal modo que cada vez que éstos cruzan el Ecuador lo hacen de Norte a Sur sobre las diez de la mañana hora local. Los Landsat están equipados con sensores específicos para la teledetección multiespectral en el rango óptico del espectro electromagnético” (Copernicus, 2018).

En el año 1972 fue lanzado el primer satélite de la serie, luego en el año 1975, 1978, 1982, 1985, 1993, 1999 y 2013, fueron lanzados el Landsat 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 respectivamente, siendo el número 6 un lanzamiento fallido. En cuanto al Landsat 7 y 8, ambos siguen en funcionamiento, adquiriendo imágenes con un tamaño de pixel de 30 metros y un periodo de revisita de 16 días cada satélite y desfasados 8 días entre ellos (Copernicus, 2018).

La información adquirida por estos satélites ha creado un archivo de imágenes con gran valor en todo el mundo en cuanto a antigüedad, continuidad, cobertura y detalle (Copernicus, 2018).

La NASA tiene una política de distribución gratuita de imágenes. Las mismas se pueden descargar a partir de la web con acceso libre (Copernicus, 2018).

“Los satélites Landsat tienen la resolución óptima del suelo y las bandas espectrales para rastrear de manera eficiente el uso del suelo y documentar el cambio del suelo debido al cambio climático, la urbanización, la sequía, los incendios forestales, los cambios en la biomasa (evaluaciones de carbono) y una serie de otros cambios naturales y causados por el hombre” (USGS, s.f.).

2.9. I- TREE CANOPY

I TREE CANOPY, es una herramienta cuyo objetivo es la estimación estadística de la cobertura arbórea y otros tipos de cobertura de suelo, a partir de una imagen satelital que ofrece Google Earth (I-Tree, 2020).

El programa es gratuito, intuitivo y fácil de usar; pudiendo realizar una evaluación de las coberturas de suelo de forma rápida y a la vez estimar beneficios brindados por la masa forestal; dióxido de carbono (CO₂), contaminación del aire, y factores hidrológicos (I-Tree, 2020).

La estimación de la cobertura de suelo se realiza a partir de la clasificación de la superficie de una serie de puntos aleatorios que genera el programa. Esta clasificación se genera según las clases de interés creadas en el mismo. La superficie de cobertura de suelo se obtiene extrapolando las

proporciones de cada una de las clases de puntos a la superficie de la zona de interés.

2.10. QGIS

QGIS es un sistema de información geográfica de código abierto. El proyecto se inicia en mayo de 2002 y se establece como un proyecto en SourceForge en junio del mismo año (QGIS, 2020).

El objetivo de este software es facilitar la utilización de un sistema de información geográfica, proporcionando funciones y características comunes.

Actualmente QGIS se está utilizando para las necesidades diarias de visualización de datos SIG, para la captura de datos, para el análisis SIG avanzado y para presentaciones en forma de mapas, atlas e informes sofisticados. Además, el mismo admite una gran cantidad de formatos de datos vectoriales y ráster, con un nuevo soporte de formato que se agrega fácilmente mediante la arquitectura del complemento (QGIS, 2020).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA CON I-TREE

Dicha herramienta es una aplicación web desarrollada por el Servicio Forestal del USDA y colaboradores (I-Tree, 2020), por lo que se accedió a I-Tree Canopy en la web con el objetivo de estimar la cobertura del bosque nativo.

El uso de esta metodología se divide en dos etapas, debido a que uno de los objetivos del proyecto es realizar una comparación de la cobertura del bosque nativo en el departamento de Maldonado en dos instancias temporales diferentes. La primera etapa se estima la cobertura en el año 2021, utilizándose imágenes de Google, las cuales son aportadas por la NASA a partir del satélite Landsat 8. En la segunda etapa se recurre a imágenes satelitales del año 2004 obtenidas a partir de Google Maps Earth.

3.1.1. Primera etapa - año 2021

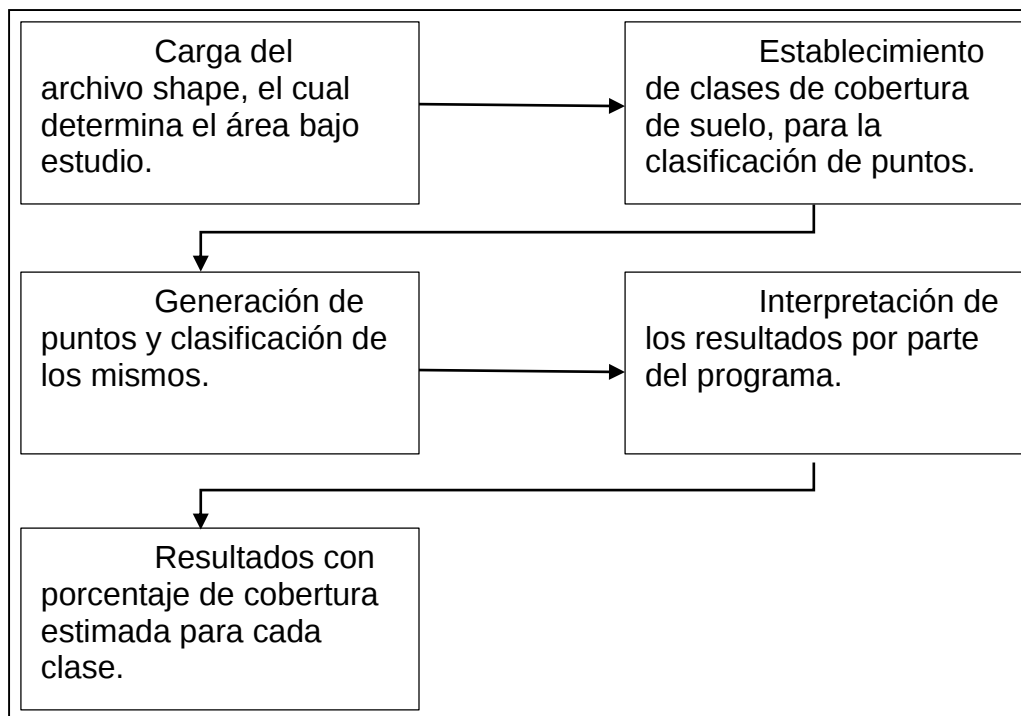


Figura No. 2. Diagrama de proceso I-Tree - 2021

3.1.1.1. Carga del archivo shape

A partir de una capa shape que contiene los límites departamentales del Uruguay elaborada por el Servicio Geográfico Militar, se genera otra capa vectorial contemplando únicamente el departamento de Maldonado. La misma se utiliza en la aplicación web, quedando delimitada el área de interés.

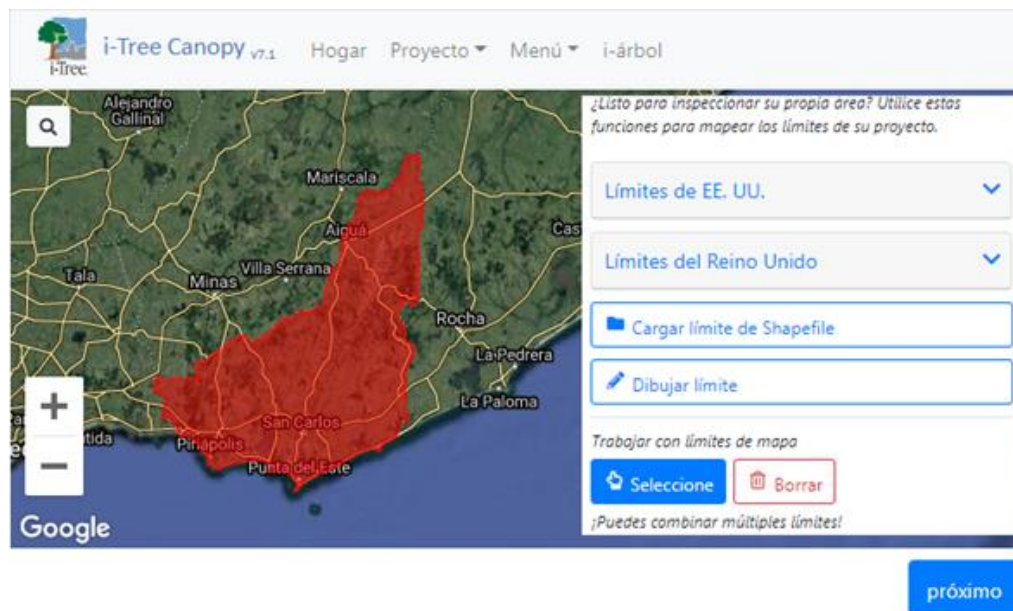


Figura No. 3. Delimitación del área de interés en I-Tree

3.1.1.2. Establecimiento de clases de cobertura de suelo

Teniendo en cuenta que el programa crea puntos al azar distribuyéndolos de manera aleatoria, se define distintas clases de cobertura para lograr categorizarlos en las mismas a través de la fotointerpretación. Siendo bosque nativo, bosque plantado, superficie impermeable, curso de agua, y otros usos de suelo, las categorías utilizadas. A cada una de ellas se le asigna un nombre, junto con una descripción asociada, abreviatura y color. También se determina si existe cobertura arbórea en esa clase. La primera categoría mencionada considera al ecosistema arbóreo nativo, caracterizado por la presencia de diferentes estratos y especies. La segunda incluye bosques de especies exóticas, los cuales se identifican debido a su marco de plantación, altura y homogeneidad en la forma de sus copas. En cuanto a superficie impermeable, se incluyó carreteras,

caminos, zona urbana, y otras infraestructuras impermeables existentes. En cursos de agua, se agrupan los arroyos, ríos, tajamares, y lagunas. Por último, se encuentra la categoría de otros usos de suelo, que incluye actividades agropecuarias, campo natural, superficie rocosa, entre otras. Si bien esta categoría reúne usos muy distintos, no son de interés separarlos teniendo en cuenta el objetivo de esta tesis.



The screenshot shows the i-Tree Canopy v7.1 web interface. At the top, there is a navigation bar with the i-Tree logo, the text 'i-Tree Canopy v7.1', and links for 'Hogar', 'Proyecto', 'Menú', and 'i-árbol'. Below the navigation bar, there are four buttons: 'Ahorrar', 'Carga', 'Árbol / No árbol', and 'Cobertura terrestre básica'. The main content area is titled 'Clases de portada' and contains a table with five columns: 'Clase de portada', 'Descripción', 'Abreviatura', '¿Cubierta de árbol?', and 'Color'. The table lists five categories: 'Bosque Nativo' (BN, si, #1BCA00CC), 'Monte plantado' (MP, si, #1A750DCC), 'Superficie impermeable' (SI, No, #000000CC), 'Otro uso del suelo' (O, No, #8A8A8ACC), and 'Curso de agua' (W, No, #0000FFCC). The 'Curso de agua' row is highlighted in blue. At the bottom of the table, there are icons for adding, editing, and deleting rows.

Clase de portada	Descripción	Abreviatura	¿Cubierta de árbol?	Color
Bosque Nativo		BN	si	#1BCA00CC
Monte plantado		MP	si	#1A750DCC
Superficie impermeable		SI	No	#000000CC
Otro uso del suelo		O	No	#8A8A8ACC
Curso de agua		W	No	#0000FFCC

Figura No. 4. Establecimiento de clases de cobertura de suelos

3.1.1.3. Generación y clasificación de puntos

Los puntos que desarrolla el programa tiene una distribución aleatoria. A medida que se genera un punto se clasifica según las clases previamente creadas. La clasificación se detuvo al momento en que al generar nuevos puntos el porcentaje de cada clase permanecía constante.

Se recurre al programa Google Maps Earth y en determinadas ocasiones a Google Street View para los puntos en que no era clara la clase. Para el uso de Google Maps Earth se ingresan las coordenadas que I-Tree provee, las mismas generan el punto exacto; generando el beneficio de obtener imágenes con mayor resolución y acercamiento. Y en cuanto a Google Street View el mismo proporciona imágenes panorámicas a nivel de caminos, calles y rutas; facilitando la interpretación del área en cuestionamiento.

3.1.1.4. Interpretación de los resultados por parte del programa

A partir del proceso de clasificación de puntos se genera un indicador del error estadístico de la estimación de cada clase. El mismo se reduce aumentando los puntos de control, habiendo un mínimo para que el error estándar sea lo suficientemente bajo y la estimación sea confiable, teniendo en cuenta un intervalo de confianza de 95%. Debido a esto, y teniendo en cuenta la superficie bajo análisis, se determina clasificar de quinientos a mil puntos.



Figura No. 5. Interpretación de los resultados por parte del programa

Por último, la aplicación de I-Tree determina las hectáreas correspondientes a cada categoría, extrapolando las proporciones de las mismas según la superficie que abarca el área de interés.

A continuación, se presentan las fórmulas utilizadas para calcular el porcentaje de cobertura de cada clase y su área correspondiente.

Proporción de cobertura = número de puntos en cada clase de cobertura / total de puntos evaluados

Área de cada clase de cobertura = porcentaje de cobertura * área total

3.1.2. Segunda etapa - año 2004

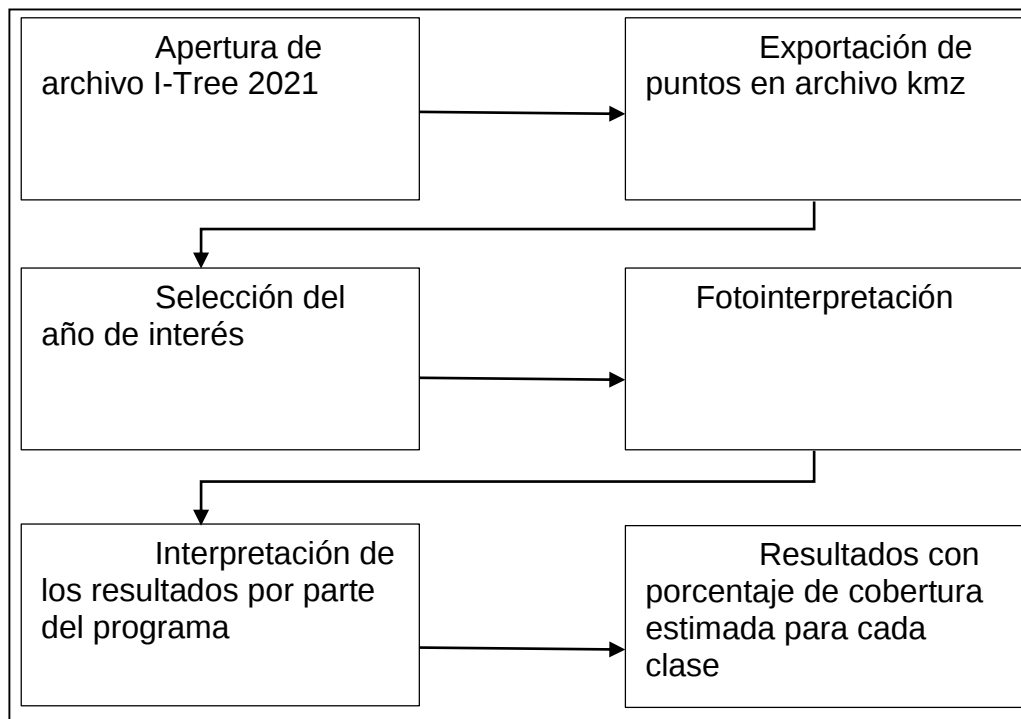


Figura No. 6. Diagrama de proceso I-Tree – 2004

3.1.2.1. Apertura de archivo I-Tree 2021

En primer lugar, se procede con la apertura del archivo 2021 de I-Tree realizado anteriormente, con el fin de poder extraer los puntos con sus respectivas coordenadas.

3.1.2.2. Exportación de puntos en archivos kmz

Teniendo en cuenta que el programa I-Tree provee únicamente imágenes satelitales actuales, se recurre a la exportación de puntos del proyecto en formato kmz. Los mismos fueron abiertos en el programa Google Maps Earth sobre imágenes satelitales del año 2004. Dicho año se elige con la opción de cronología que proporciona el programa.

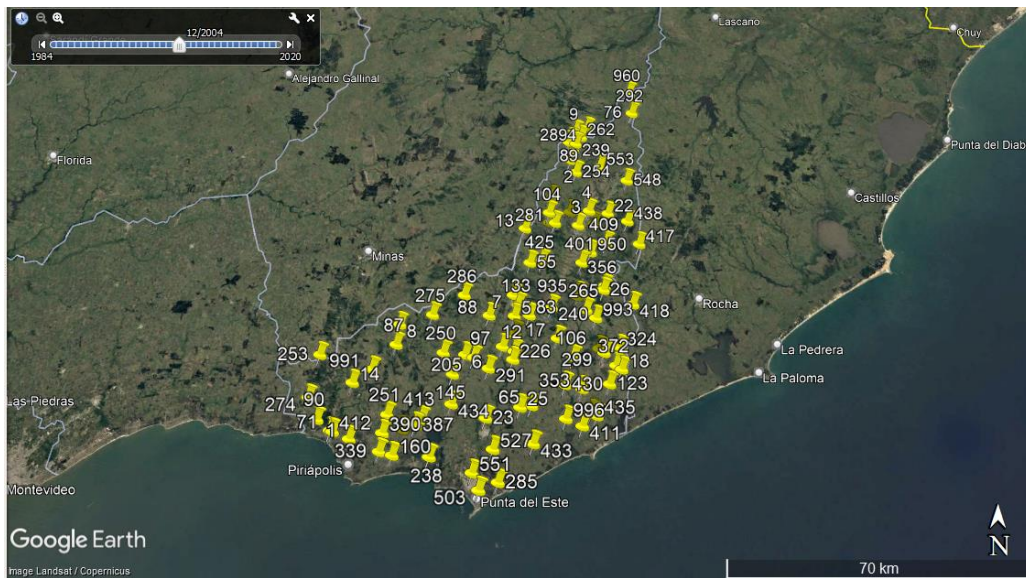


Figura No. 7. Exportación de puntos, en archivo kmz

3.1.2.3. Fotointerpretación

Si bien la fotointerpretación se realiza en base a lo que permite observar Google Maps Earth en el año 2004, la categorización del punto se determina en I-Tree. Dicha categorización se realiza con las mismas clases utilizadas en la primera etapa. Se recurre al programa I-Tree para realizar la clasificación, debido a que el mismo es quien determina el porcentaje correspondiente de cada clase de cobertura de suelo.

3.1.2.4. Interpretación de los puntos por parte del programa

En este punto, al igual que en la primera etapa, I-tree determina las hectáreas correspondientes a cada categoría, extrapolar las proporciones de las mismas según la superficie que abarca el área de interés.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA CON QGIS

Para estimar la superficie correspondiente de bosque nativo en los años 2004 y 2021 se utiliza la versión de QGIS 3.14.16. Con el fin de realizar una comparación entre las distintas metodologías, se utilizan los mismos años relevados en I-Tree. A diferencia de la metodología aplicada en I-Tree, en este caso los pasos a seguir son los mismos en cada año.

Los pasos seguidos fueron los siguientes:

1. Establecimiento de sistema de referencia de coordenadas del proyecto
2. Selección de imágenes satelitales
3. Delimitación del área de interés
4. Utilización de herramientas ráster
5. Combinación de bandas RGB mediante complemento SCP para cada imagen
6. Clasificación supervisada
7. Resultados finales

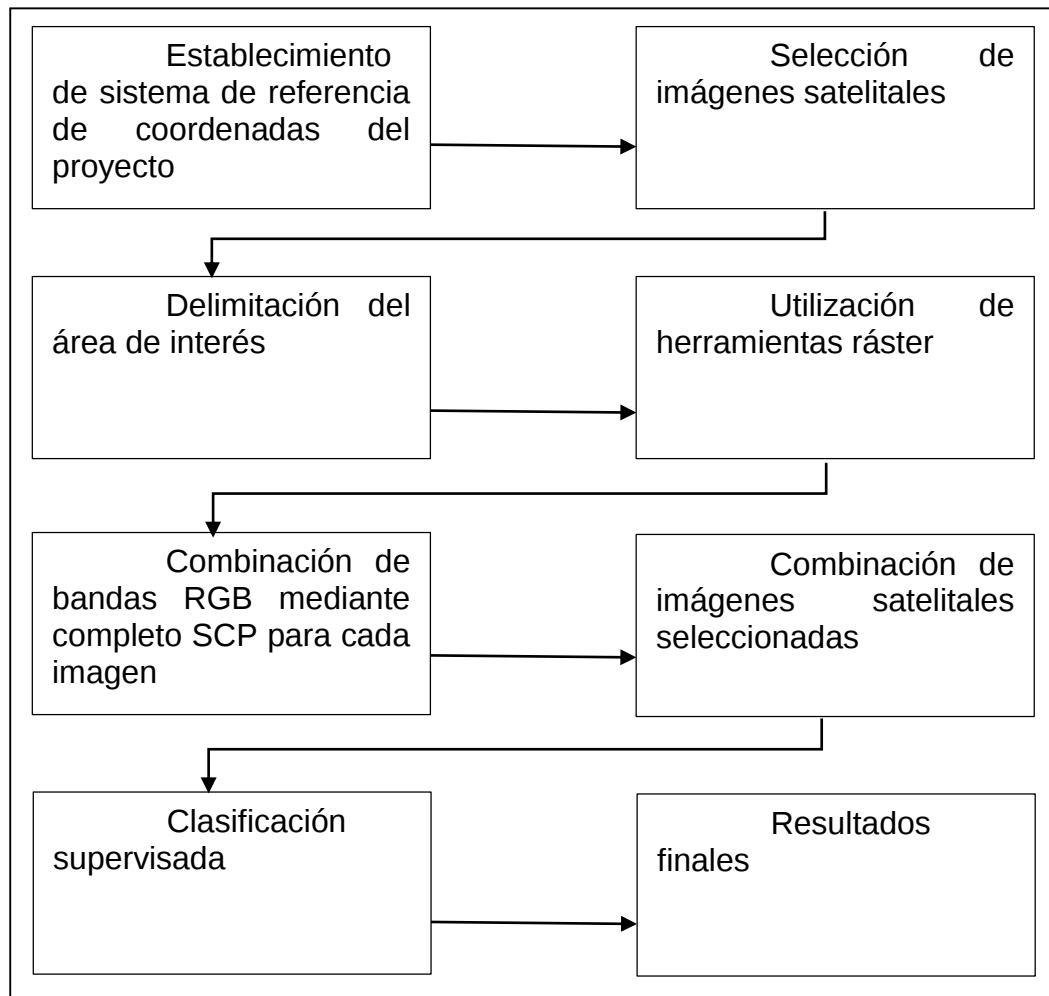


Figura No. 8. Diagrama de proceso QGIS

3.2.1. Establecimiento de sistema de referencia de coordenadas del proyecto

Al abrir el programa se establecen las coordenadas correspondientes del proyecto, en este caso se eligió la coordenada WGS 84/UTM zone 21S EPSG:32721.

3.2.2. Selección de imágenes satelitales

Para la selección de imágenes se recurre a la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). En la elección se tuvieron en cuenta diferentes criterios, entre ellos, el porcentaje de nubosidad, rango de fecha, tipo de satélite, y ubicación.

En cuanto al año 2004 el satélite utilizado fue el Landsat 5; y para el año 2021 fue el Landsat 8. En los dos casos fueron dos fotos las que contemplaron el área de interés.

La idea inicial era la selección de imágenes en primavera-verano para que el periodo de senescencia foliar no afectará la interpretación de las mismas. En tres de las imágenes seleccionadas fue posible cumplir con este criterio, sin embargo, una de ellas no, ya que el porcentaje de nubosidad aumentaba en gran medida en los meses de octubre - marzo. Dicho esto, se prioriza la selección de la misma con menor a 10% de nubosidad al igual que las restantes imágenes utilizadas.

Al utilizar imágenes provenientes del Servicio USGS, no fueron necesarias correcciones adicionales ya que dichas imágenes cumplen con los requisitos de calidad geométrica y radiométrica (Bernardi et al., 2019).

A su vez, al contener la reflectancia al tope de la atmósfera, tampoco se requirió una corrección atmosférica (Bernardi et al., 2019). La misma se suele aplicar con el propósito de eliminar el efecto de los aerosoles y la radiancia intrínseca que se introduce en el sensor y se ve reflejado en la imagen, como producto de la interacción del sensor con la atmósfera, logrando así una mejora en la calidad visual de la imagen (Aguilar et al., 2014).

3.2.3. Delimitación del área de interés

Para la delimitación se utiliza un archivo shape proporcionado por el Servicio Militar Geográfico del Uruguay, el cual se adapta solamente al departamento de Maldonado.

3.2.4. Utilización de herramientas ráster

Gracias al uso de las herramientas ráster incluidas en el programa QGIS, se logra combinar, recortar y adaptar las imágenes descargadas de USGS, para finalmente poder realizar la clasificación de las mismas.

3.2.5. Combinación de bandas RGB mediante complemento SCP para cada imagen

Teniendo en cuenta que se descarga un paquete conteniendo distintas bandas de las imágenes satelitales, se procede a la descarga del complemento en el programa llamado Semi-Automatic Classification (SCP), con el fin de combinar las distintas bandas y que refleje el falso color infrarrojo de la imagen.

La combinación de estas bandas difiere según el satélite y la composición de color deseada. Dicha combinación para que se genere falso color infrarrojo para el satélite Landsat 5, es 4, 3, 2; siendo para Landsat 8 5, 4, 3 (MappingGIS, s.f.).

Los diferentes tonos del falso color infrarrojo permiten identificar los distintos usos de suelo; correspondiendo vegetación a los tonos comprendidos entre rojos muy oscuros al rosado pálido, siendo los rojos más oscuros vegetación arbórea densa. El celeste a suelo desnudo o áreas rocosas; azul-celeste a zonas urbanas; azul oscuro a negro cursos de agua, pudiendo aparecer tonalidades azul-verdosas correspondientes a partículas en suspensión. Por último, los colores verdes a verde azulado pertenecen a suelos arados o descubiertos con mayor o menor contenido de humedad (Bense, 2007).

Cuadro No. 1. Valores mínimo y máximo de las bandas RGB para año 2004

Landsat 5	Mínimo	Máximo
Foto satelital 1 y 2		
Banda 4	12	90
Banda 3	15	40
Banda 2	12	40

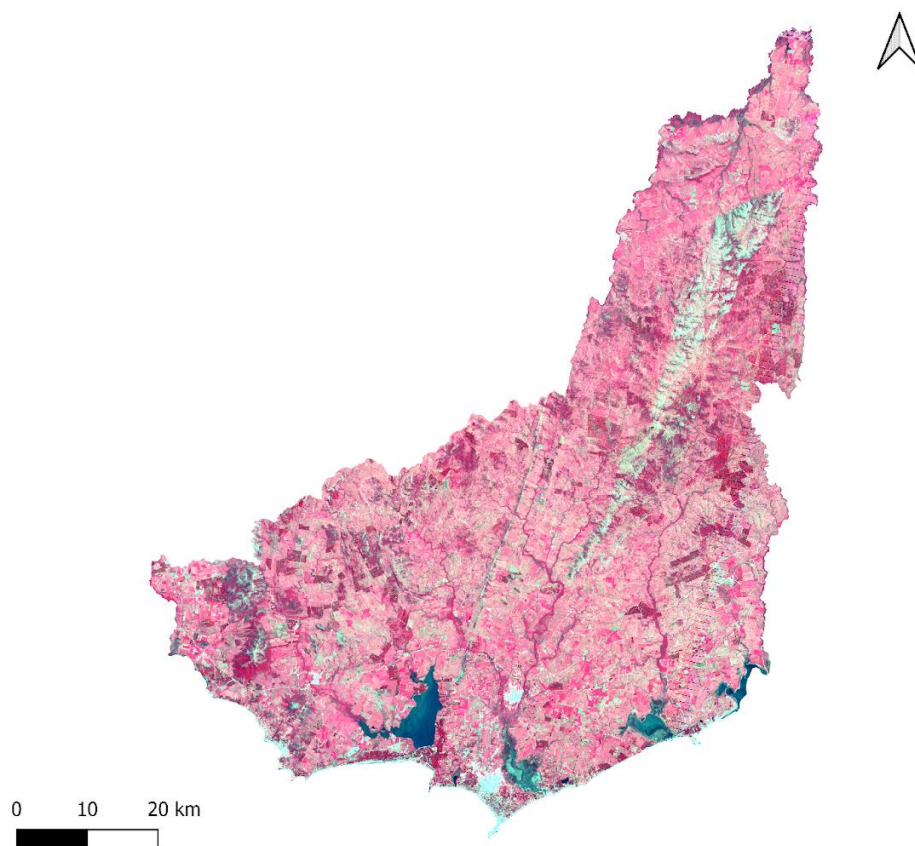


Figura No. 9. Mapa del departamento de Maldonado en el año 2004 con tonalidades falso color infrarrojo

Cuadro No. 2. Valores mínimo y máximo de las bandas RGB para año 2021

Landsat 8	Mínimo	Máximo
Foto satelital 1		
Banda 5	7500	22000
Banda 4	7000	9600
Banda 3	7500	9800
Foto satelital 2		
Banda 5	7589,99	9182,97
Banda 4	7762	9563
Banda 3	8227,01	10723

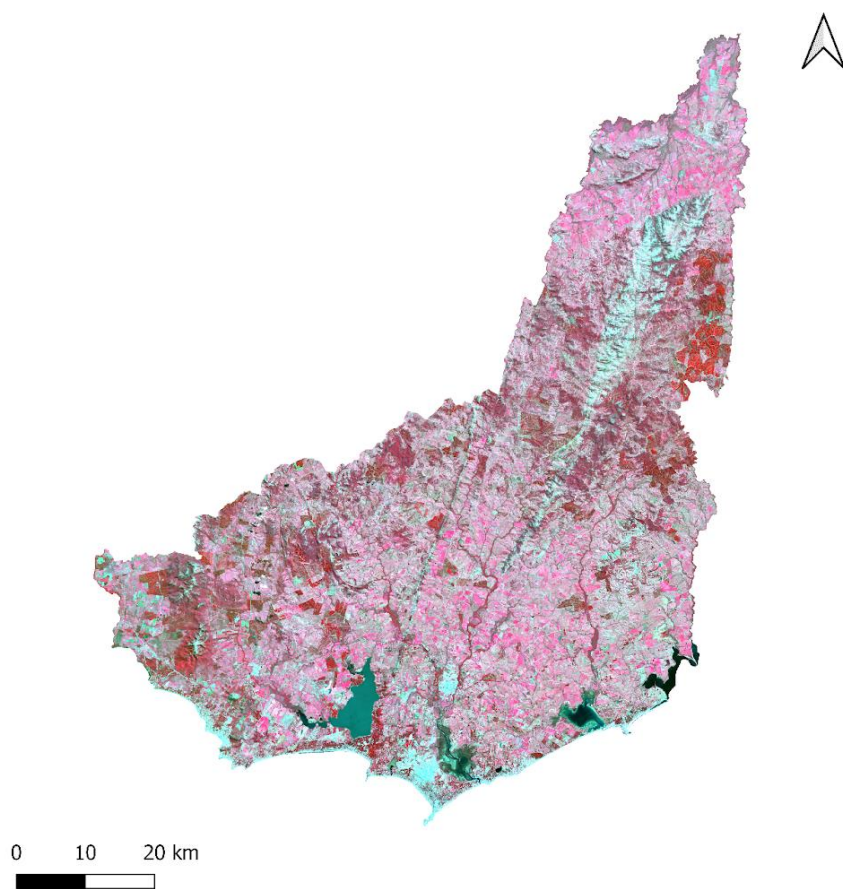
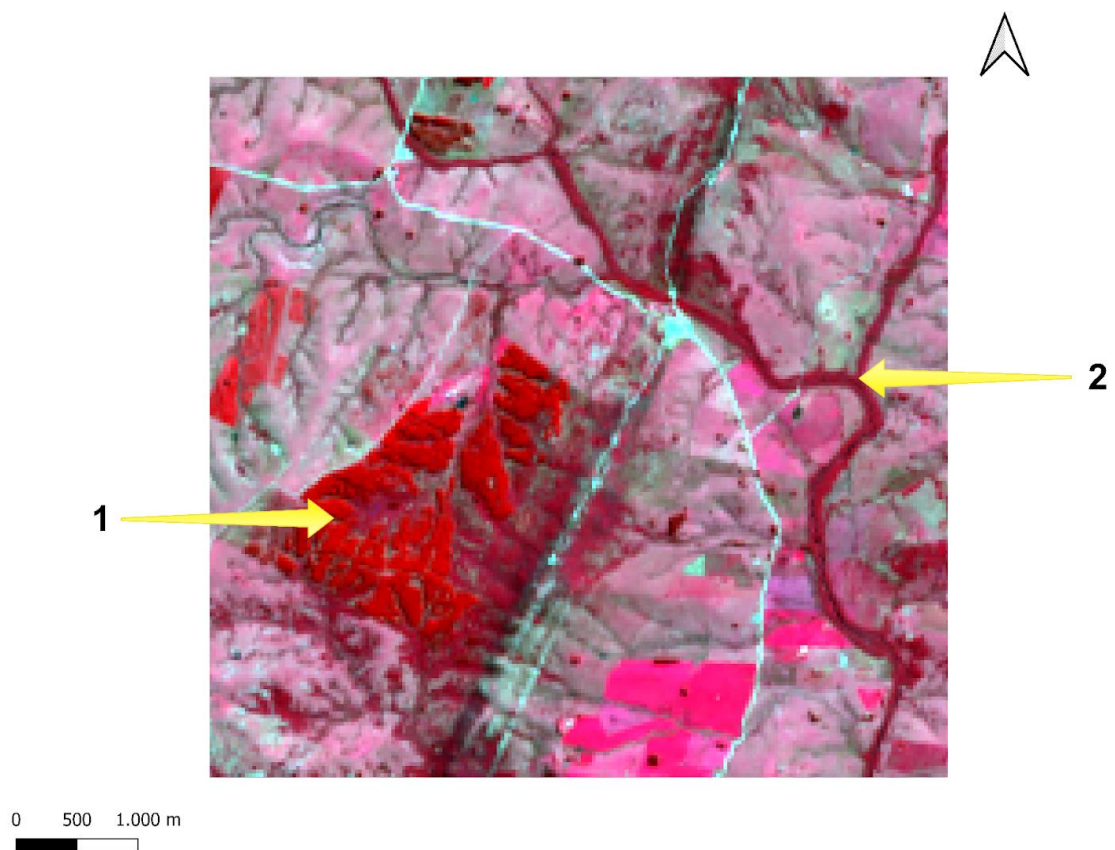


Figura No. 10. Mapa del departamento de Maldonado en el año 2021 con tonalidades falso color infrarrojo



*Número 1 indica bosque plantado, número 2 bosque nativo.

Figura No. 11. Acercamiento de imagen con tonalidades falso color infrarrojo

En la imagen anterior, se puede observar una porción de la trayectoria realizada por el Arroyo de los Caracoles, apareciendo en sus márgenes área correspondiente a monte nativo, representada por color rojo oscuro (número 2). En cambio, la flecha número 1, indica la existencia de masa boscosa plantada con una tonalidad rojo intenso. El color celeste, expone la presencia de caminos, pertenecientes a la clase superficie impermeable. Por último, las tonalidades de rosado claro se corresponden con la clase otros usos de suelo.

3.2.6. Clasificación supervisada

Para determinar el total de hectáreas correspondientes al bosque nativo, se requiere la utilización de la clasificación supervisada, una herramienta la cual consiste en la clasificación de cobertura del suelo, en base a un entrenamiento previo.

En primer lugar, se debe definir las clases de interés a identificar en las imágenes satelitales. En los dos casos, año 2004 y año 2021, las clases utilizadas fueron: curso de agua, superficie impermeable, otros usos de suelo, bosque plantado y bosque nativo, siendo este último el de mayor interés en la realización de este proyecto. Para cada una de ellas se generaron muestras de entrenamiento, mediante la creación de polígonos. Dichos polígonos se crearon en la totalidad de la imagen de falso color infrarrojo, no solo centrándose en una parte de la misma, tratando de que fueran lo más grandes posible y que a su vez incluyan áreas espectralmente homogéneas, para generar una clasificación en base a la firma espectral definida en el conjunto de entrenamiento (NASA, 2017).

En el año 2004, al igual que en 2021, inicialmente se generan 30 polígonos por clase.

Con el fin de realizar una correcta clasificación supervisada, y antes de proceder definitivamente con la misma, se genera una vista previa de los resultados de clasificación sobre una porción del área bajo estudio. Aquí se pudo constatar que determinadas áreas, se habían clasificado erróneamente, quedando incluidas en clases incorrectas.

A partir de esto, se realizan correcciones en base a la interpretación visual en zonas donde se detectaron dichos errores de clasificación, los mismos se subsana creando nuevos polígonos para que integren la categoría adecuada. Por lo tanto, categorías como bosque nativo o bosque plantado, que fueron las clases en donde se generó mayor confusión, quedaron representadas por una mayor cantidad de polígonos.

Finalizada la corrección, se realiza la clasificación final, utilizando el algoritmo mapeo del ángulo espectral.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detallan los resultados y discusiones de la utilización de cada herramienta por separado.

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE I-TREE

En primera instancia la idea era utilizar imágenes del año 1994, teniendo en cuenta que la certificación forestal surge en la década del 90', y que uno de sus objetivos es evitar la conversión de montes nativos a otros usos de suelo a través de principios y criterios (FSC, s.f.).

La misma es un proceso voluntario donde se garantiza a través de un documento escrito que la gestión de un bosque es realizada bajo estándares sociales, ambientales y económicos previamente establecidos (WWF, 2012).

Si bien el año 1994 era la ideal para realizar la comparación se tuvo que proceder al año 2004, debido a que fue la primera imagen disponible en Google Maps Earth que presentaba una resolución aceptable para realizar la etapa 2 del proyecto.

Tanto para el año 2004 como para el 2021, se determinó 1000 puntos en total, al no variar el porcentaje de cobertura de cada clase a medida que se aumentaba la cantidad de puntos.

Si bien el programa arroja datos del total de las coberturas de suelo, para este proyecto la clase relevante es bosque nativo, por lo que los resultados se centrarán en dicha clase de interés.

Según los resultados de I-Tree el departamento de Maldonado tiene una superficie de 480.784 hectáreas. Mediante los siguientes cálculos se determina la proporción de cobertura de la clase bosque nativo y su respectiva área para el año 2004.

Proporción de cobertura= $(93 / 1000) = 0,093$

Área de cada clase de cobertura= $0,093 * 480784 = 44.713$ has

Dicha clase se compone de 91 puntos del total de 1000, por lo que representa un 9,3% del total de la superficie departamental. La misma abarca con un 95% de confianza con un error estándar de 4.416 hectáreas, 44.713 hectáreas.

Cuadro No. 3. Porcentaje y área de cobertura de los distintos usos de suelos para el año 2004 con la herramienta I-Tree

Clases de cobertura de suelo	Puntos	% Cobertura	±SE (%)	Área (hás)	±SE (hás)
Bosque nativo	93	9,30	0,92	44.713	4.416
Bosque plantado	59	5,90	0,75	28.366	3.582
Otros usos de suelo	790	79,00	1,29	379.819	6193
Superficie impermeable	35	3,50	0,58	16.827	2.794
Cursos de agua	23	2,30	0,47	11.059	2.279
Total	1000	100		480.784	

Para el año 2021 los valores obtenidos fueron:

proporción de cobertura= $(151 / 1000) = 0,151$

área de cada clase de cobertura= $0,151 * 480784 = 72.598$ has

En este caso la clase bosque nativo le corresponden 151 del total de 1000 puntos. Correspondiendo un 15,10% de la superficie del departamento de Maldonado, siendo de un total de 72.598 hectáreas, con un 95% de confianza y su un error estándar de 5444 hectáreas.

Cuadro No. 4. Porcentaje y área de cobertura de los distintos usos de suelos para el año 2021 con la herramienta I-Tree

Clases de cobertura de suelo	Puntos	% Cobertura	±SE (%)	Área (hás)	±SE (hás)
Bosque nativo	151	15,10	1,13	72.598	5.444
Bosque plantado	65	6,50	0,78	31.251	3.748
Otros usos de suelo	718	71,80	1,42	345.203	6.841
Superficie impermeable	41	4,10	0,63	19.712	3.015
Cursos de agua	25	2,50	0,49	12.020	2.374
Total	1000	100		480784	

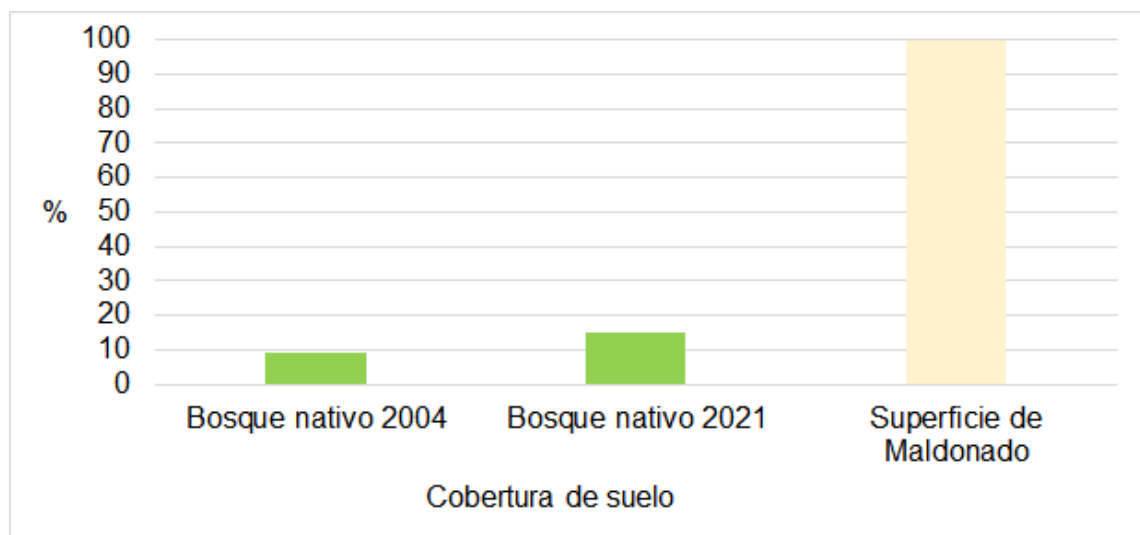


Figura No. 12. Gráfico de cobertura en porcentaje de bosque nativo al año 2004 y 2021

Teniendo en cuenta los resultados en el año 2004 y 2021, se nota un claro aumento de la clase de bosque nativo, siendo el mismo de 27.885 hectáreas en un periodo de 17 años.

4.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE QGIS

Para la utilización de este programa, al igual que en I-Tree, la clasificación se basó en imágenes correspondientes al año 2004 y 2021. Dicha clasificación arrojó el siguiente mapa de uso de suelo.

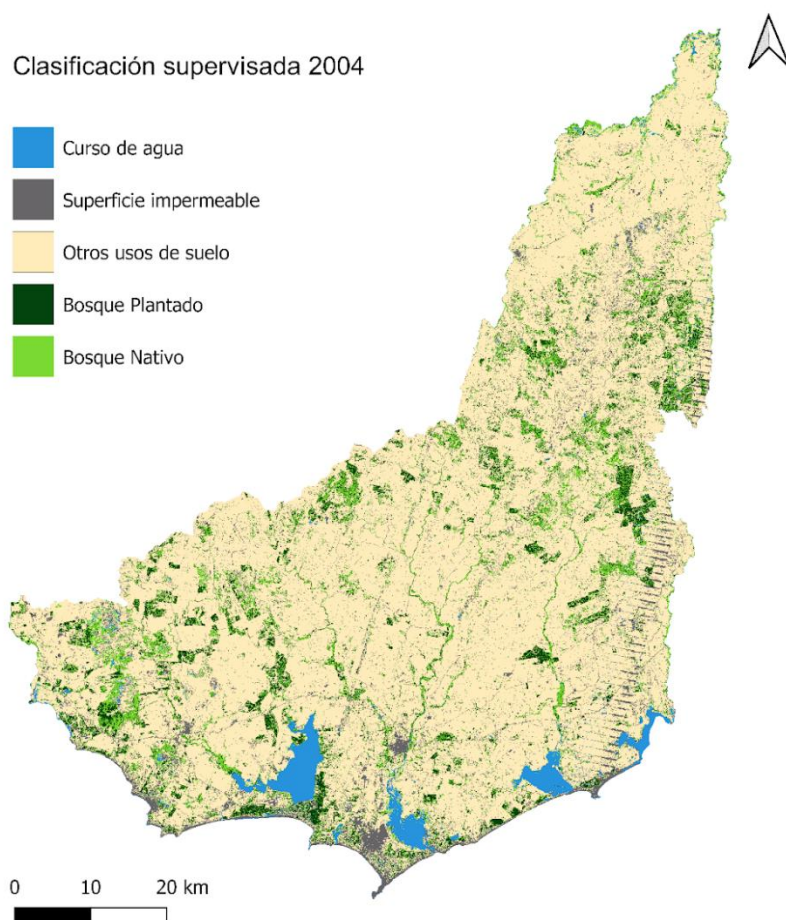


Figura No. 13. Mapa de cobertura de suelo con clasificación supervisada año 2004

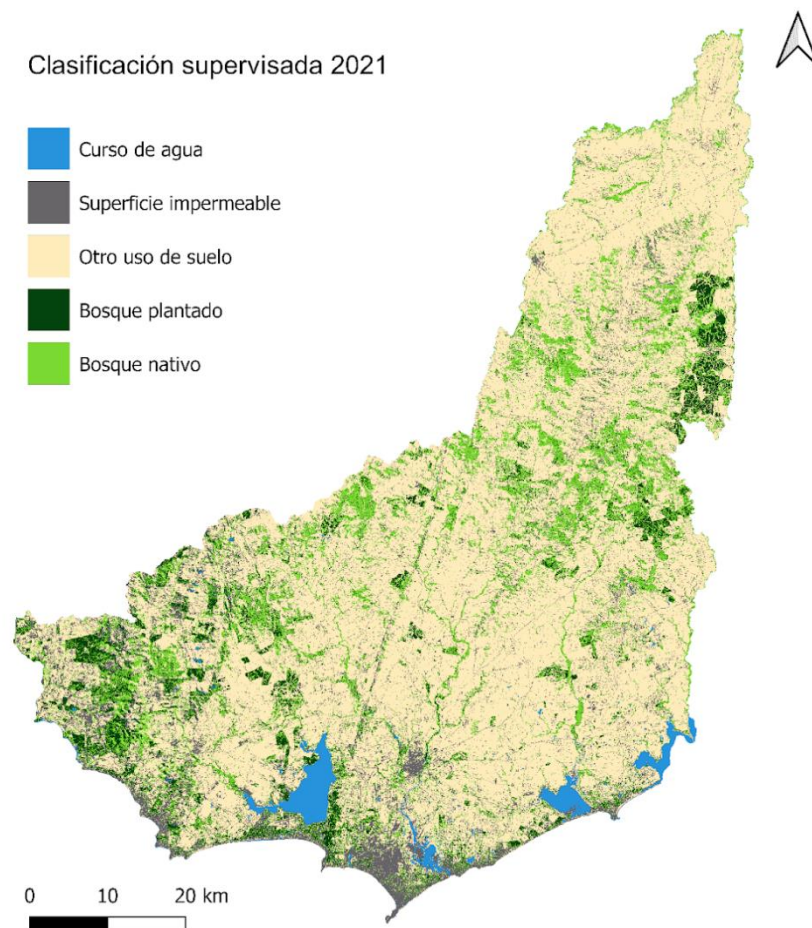


Figura No. 14. Mapa de cobertura de suelo con clasificación supervisada año 2021

Las figuras No. 13 y No. 14 representan los resultados finales de la clasificación supervisada para el año 2004 y 2021. En las mismas se puede apreciar las cinco clases, correspondiéndole a cada una, un color diferente.



Figura No. 15. Mapa de cobertura de bosque nativo, año 2004

Cuadro No. 5. Porcentaje y área de cobertura de bosque nativo para el año 2004 con la herramienta QGIS

Cobertura de suelo	% Cobertura	Área (hectáreas)
Bosque nativo	8,05	38.622,42
Total	100	479.705,67

Como se aprecia en la figura No. 15 el bosque nativo se encuentra representado por una tonalidad de verde claro, abarcando 38.622,42 hectáreas, las cuales representan un 8,05 % del total de la superficie del departamento de Maldonado.

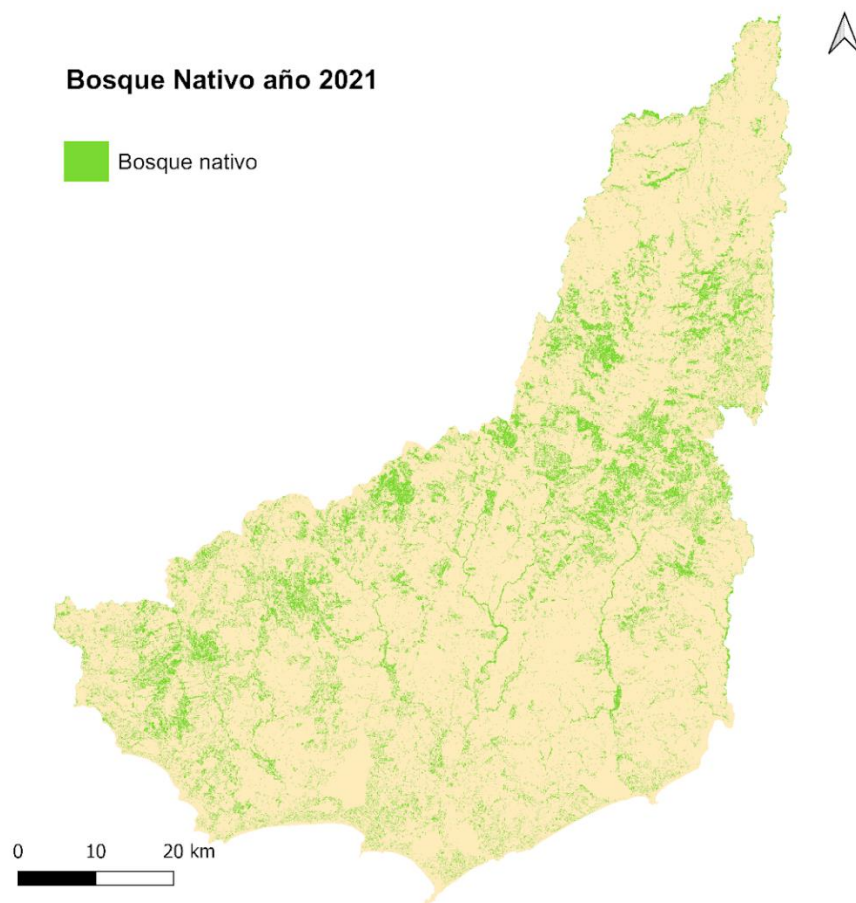


Figura No. 16. Mapa de cobertura de bosque nativo, año 2021

Cuadro No. 6. Porcentaje y área de cobertura de bosque nativo para el año 2021 con la herramienta QGIS

Cobertura de suelo	% Cobertura	Área (hectáreas)
Bosque nativo	14,98	71.845,74
Total	100	479.669,37

En la figura No. 16 al igual que en la No. 15, el verde claro representa el bosque nativo del departamento en el año 2021, ocupando una superficie de 71.845,74 hectáreas, alcanzando un 14.98 % del total.

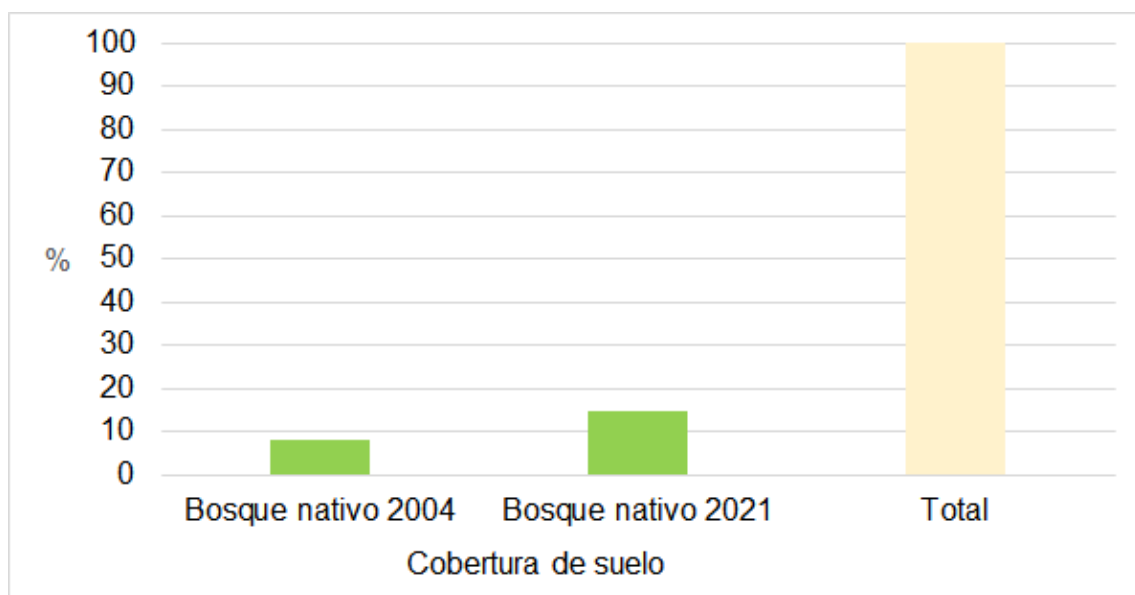


Figura No. 17. Gráfico de cobertura en porcentaje de bosque nativo al año 2004 y 2021

Considerando los resultados de ambas fechas, existe un crecimiento en la proporción ocupada por bosque nativo en el departamento de Maldonado. En 17 años el aumento fue de 33.223,32 hectáreas.

4.3. CUADRO COMPARATIVO ENTRE LAS DISTINTAS HERRAMIENTAS

Cuadro No. 7. Cuadro comparativo de resultados finales

Herramienta	Año	Superficie de bosque nativo (has)	Porcentaje de cobertura (%)
I-Tree	2004	44713	9,3
	2021	72598	15,1
QGIS	2004	38622,42	8,05
	2021	71845,74	14,98

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los objetivos y las condiciones en las que se realiza el presente trabajo, se detallan las siguientes conclusiones.

El programa I-Tree tiene como ventajas ser gratuito, no requerir mayor capacitación ni gran experiencia previa. La utilización del mismo ofrece una evaluación rápida de la cobertura arbórea de interés, obteniendo la proporción del área total ocupada por la misma. La precisión del estudio se puede mejorar generando una mayor cantidad de puntos de muestra.

En base a la experiencia en este trabajo se concluye que la resolución de la imagen que aporta el programa es baja, por lo que puede dificultar la fotointerpretación de la misma. Siendo esta un factor esencial junto con la destreza del usuario para que la categorización y por ende el análisis final sean lo más exacto posible.

Asimismo, este programa permite realizar trabajos solamente en fechas actuales, en caso de requerir imágenes satelitales de años anteriores se debe recurrir a otros programas para completar el estudio.

Otro factor importante a tener en cuenta, es que tanto para I-Tree como para QGIS se utilizó el mismo shape para delimitar el departamento de Maldonado, y en ambos programas arrojó un valor distinto de área total, por lo que este punto sería importante a tener en cuenta para corregir posibles errores.

A diferencia de I-Tree, para manipular el programa de QGIS es necesario tener una mayor capacitación previa debido que es un programa que presenta mayor complejidad. El mismo ofrece como ventaja ser de código abierto, por lo que no requiere de licencias para poder utilizarlo.

Una desventaja presentada por este último programa, especialmente con el complemento Semi-Automatic Classification, es la lentitud con que se ejecutan determinadas funciones, lo cual es un factor importante a la hora de evaluar el tiempo demandado.

QGIS ofrece la posibilidad de mostrar la distribución espacial del bosque nativo en el departamento, además de proveer el área ocupada por el mismo. Esto es un factor importante ya que se puede comprobar y corregir, en caso de que sea necesario, la clasificación supervisada.

Al igual que en I-tree, la fotointerpretación juega un rol importante, ya que al momento de realizar los polígonos se debe designar correctamente a qué clase pertenece. Si la destreza del usuario no es la adecuada se verá reflejada en los resultados finales de la clasificación supervisada.

La exactitud de los resultados finales de la clasificación supervisada, son influidos en gran medida por la calidad de la imagen satelital. Si la calidad de la imagen es baja, los colores reflejados en la imagen de falso color infrarrojo se verán alterados, afectando la posterior clasificación.

Por último, la utilidad que presenta este programa es la posibilidad de elaboración de mapas con gran calidad de imagen y georreferenciados, obteniendo una mejor comprensión y organización de los datos.

En base a las dos herramientas utilizadas, se destaca el aumento del bosque nativo en el departamento de Maldonado, en el periodo comprendido entre 2004 y 2021. Esto puede deberse a la continuidad de la Ley Forestal No. 15.939, y a las exigencias de las certificaciones forestales a las que aplicaron la mayoría de las empresas y productores forestales. Cabe destacar la existencia de Manuales de manejo de bosque nativo en Uruguay, los cuales sugieren prácticas de manejo para una eficiente conservación. A su vez mediante el estudio de uso de suelo, se observó la existencia de plantaciones de especies exóticas a menos de 20 metros de distancia, no respetando el reglamento forestal. Trae consigo problemáticas a futuro, debido a la presión por su capacidad invasora que ejercen estos bosques sobre los bosques nativos.

6. RESUMEN

Uno de los focos de la política forestal nacional definida por la Ley forestal de 1987, fue la conservación de los bosques naturales del país sobre la base de planes de manejo que aseguren la sostenibilidad de los mismos. Los sistemas de certificación de bosques y productos forestales en conjunto con la ley mencionada han sido un gran factor en el aumento de superficie correspondiente al bosque nativo en Uruguay en los últimos años. Dicho contexto impulsó la realización de este proyecto centrándose en el departamento de Maldonado, cuya finalidad es constatar y cuantificar el aumento de superficie de bosque nativo en un periodo de tiempo comprendido entre 2004 y 2021. Para ello se utilizaron dos herramientas, QGIS e I-Tree, las cuales fueron evaluadas como parte de los objetivos de este proyecto. QGIS es un sistema de información geográfica, donde se realiza una clasificación de cobertura de uso de suelo sobre una imagen satelital de los años de interés. En el caso de I-Tree, el mismo cuantifica la superficie mediante el cálculo de proporciones. En el periodo de tiempo de interés se comprobó el aumento del área de bosque nativo mediante el uso de las dos herramientas en estudio. Los aumentos arrojados por los distintos programas fueron los siguientes: 27.885 hectáreas para I-Tree, y 33.223 hectáreas para QGIS.

Palabras clave: Ley forestal; Bosque nativo; QGIS; I-Tree; Uso de suelo; Imagen satelital.

7. SUMMARY

One of the focuses areas of the national forest policy defined by the 1987 forestry law was the conservation of the country's natural forests through management plans that ensure their sustainability. Forest and forest products certification systems, in conjunction with the above-mentioned law have been a major factor in the increase of Uruguayan native forest area in recent years. This is the context motivating the realization of this project focus on Maldonado department, with the purpose of verifying and quantifying the aforementioned area increase between 2004 and 2021 using QGIS and I-Tree as the main tools, which were evaluated and selected as part of the objectives of this project. QGIS is a geographic information system, which uses a satellite image of the years of interest to perform assessment and classification soil coverage. I-Tree in turn, quantifies the surface by calculating proportions. The results for area increase measured using these tools for our interest period were as follows: 27,885 hectares for I-Tree, and 33,223 hectares for QGIS.

Keywords: Forest law; Native forest; QGIS; I-Tree; Land use; Satellite image.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, H.; Mora, R.; Vargas, C. 2014. Metodología para la corrección atmosférica de imágenes raster, rapideye, spot 2 y Landsat 8 con el módulo flash del software envi. Revista Geográfica de América Central. 2(53):39-59.
2. Arbelo, M.; Évora, J. A.; García, M. 2012. Satélites de teledetección para la gestión del territorio. (en línea). Canarias, Romero. 66 p. Consultado jul. 2021. Disponible en https://gmrcanarias.com/wp-content/uploads/2020/10/20_catalogo_satelites_es.pdf
3. Bense, T. 2007. Introducción a la percepción remota. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado oct. 2021. Disponible en <https://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/combinaciones-colores.htm>
4. Bernardi, L.; Boccardo, A.; Miguel, C.; Olivera, J.; Penengo, C.; Rama, G.; Serafini, J.; Kindgard, A. 2019. Proyecto REDD + Uruguay. Metodología aplicada en la elaboración de mapa de cobertura de bosque nativo de Uruguay para el año 2016 con imágenes Landsat 8. Montevideo, MVOTMA. 30 p.
5. Brazeiro, A. 2014. Memoria de los foros técnicos sobre servicios ecosistémicos en Uruguay. In: Caballero, N. ed. Los bosques de Uruguay y sus servicios ecosistémicos. s.n.t. pp. 19 - 23.
6. _____. 2020. Bosque nativos de Uruguay: distribución, diversidad y propuesta de clasificación. Universidad de la Republica. Facultad de Agronomía. Plantae no. 3. 50 p.
7. Copernicus (Programa de observación de la tierra de la Unión Europea). 2018. Información geográfica, teledetección y los objetivos de desarrollo sostenible. (en línea). s.n.t. 285 p. Consultado jul.2021. Disponible en https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/Copernicus_FPCUP_IGNCNIG.pdf
8. Del Puerto, O. 1987. Vegetación del Uruguay. Montevideo, Facultad de Agronomía. 16 p.

9. Escudero, R. 2004. Manejo integrado de ecosistemas y recursos naturales en Uruguay. Componente: manejo y conservación de la diversidad biológica. Subcomponente bosque nativo. (en línea). Montevideo, GEF/IBRD. 46 p. Consultado abr. 2021. Disponible en <http://www.guayubira.org.uy/monte/DiagnosticoBosqueNativo.pdf>
10. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2015. FRA 2015: términos y definiciones. (en línea). Roma. 37 p. Consultado may. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/ap862s/ap862s.pdf>
11. FMAM (Fondo para el Medio Ambiente Mundial, US). 2012. Actividades sobre el uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS). (en línea). s.l. 24 p. Consultado may. 2021. Disponible en http://assembly.extcc.com/sites/default/files/publications/LULUCF-Spanish_0.pdf
12. FSC (Forest Stewardship Council, DE). s.f. Una idea innovadora que echa raíz. (en línea). Bonn. s.p. Consultado nov. 2021. Disponible en <https://es.fsc.org/es-es/acerca-de-fsc/nuestra-historia>
13. Grela, I.; Romero, M. 1996. Estudio comparativo en dos sectores de monte de quebradas en el arroyo Lunarejo departamento de Rivera. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 80 p.
14. INE (Instituto Nacional de Estadística, UY). 2019. Anuario estadístico nacional 2020. Montevideo, Uruguay. 366 p.
15. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2002. La teledetección y los sistemas de información geográfica, algunas aplicaciones en el Uruguay. (en línea). Montevideo. 11 p. Consultado jun. 2021. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5809/1/teledeteccion.pdf>
16. I-Tree (Tools for Assessing and Managing Forests and Community Trees, US). 2020. What is i-Tree?. (en línea). s.l. s.p. Consultado abr. 2021. Disponible en <https://www.itreetools.org/about>

17. MappingGIS. s.f. Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel. (en línea). Vallalodid. s.p. Consultado nov. 2021. Disponible en <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>
18. Martínez, L. 2020. Optimización de la clasificación supervisada de imágenes de satélite a partir de información de RPAS para la actualización de la variable cobertura del suelo del marco maestro rural agropecuario (MMRA). Proyecto Ingeniero Topográfico. Bogotá, Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 66 p.
19. MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, UY). 2018. Manual de manejo de bosque nativo en Uruguay. Montevideo, Uruguay, Tradinco. 54 p.
20. _____. 2020. REDD +. (en línea). s.l. s.p. Consultado may. 2021. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/redd>
21. _____. DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal, UY). 2018. Superficie en hectáreas de bosque nativo por departamento (2016). (en línea). Montevideo. s.p. Consultado abr. 2021. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/superficie.pdf>
22. _____. _____. 2021. DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal, UY). 2021. Cartografía forestal de bosques plantados 2021. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado feb. 2022. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2021/estudios/cartografia-forestal-bosques-plantados-2021>
23. NASA (La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, US). 2017. Serie de capacitaciones avanzadas de clasificación de manto terrestre ARSET. (en línea). s.l. s.p. Consultado nov. 2021. Disponible en

https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/exercise2_span.pdf

24. PL (Poder Legislativo, UY). 1988. Ley Forestal No. 15.939. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado abr. 2021. Disponible en <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/15939-1987>
25. QGIS (Geographic Information System). 2020. The leading open source desktop GIS. (en línea). s.l. s.p. Consultado mar. 2021. Disponible en <https://www.QGIS.org/en/site/about/index.html>
26. Sarría, F. 2006. Sistemas de información geográfica. (en línea). Murcia, Universidad de Murcia. 239 p. Consultado jul. 2021. Disponible en <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
27. USGS (United States Geological Survey, US). s.f. What is the Landsat satellite program and why is it important?. (en línea). Reston, VA. s.p. Consultado jun. 2021. Disponible en https://www.usgs.gov/faqs/what-landsat-satellite-program-and-why-it-important?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products
28. WWF (Global Forest and Trade, CO). 2012. Guía de certificación forestal. (en línea). Santiago de Cali. 70 p. Consultado nov. 2021. Disponible en http://awsassets.panda.org/downloads/certificacion_forestal_web.pdf