



Facultad de  
Ciencias Agrarias  
y Forestales



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

## TRABAJO FINAL DE CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

### ÁREAS FORESTALES DE LA ZONA RIBEREÑA DE BERISSO: IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN EMPLEANDO TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

MODALIDAD: Investigación en cualquiera de los campos de las Ciencias Agrarias  
y Forestales

**Alumno:** Juan Facundo FISMAN

**Legajo:** 26.525/6

**DNI:** 35.332.760

**Director:** Ing. Forestal D. Martín SANDOVAL (Curso de Silvicultura y Curso de Economía y Legislación Forestal)

**Codirector:** Dr. Marcelo F. ARTURI (Curso de Biometría Forestal y Curso de Ecología Forestal)

**Fecha de entrega:** 6 de julio 2022

**Expediente:** 200-001411/20

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio es generar información geográfica estratégica básica del sector forestal a partir de la identificación de la superficie ocupada por plantaciones y áreas forestales naturales en la zona ribereña, ubicada en el municipio de Berisso en la provincia de Buenos Aires. Al mismo tiempo, se elaboró una sistematización de la información más relevante vinculada al sector forestal.

Con el uso de la plataforma informática Google Earth Engine (GEE), se seleccionaron imágenes satelitales SENTINEL-2 durante el período 2016-2020. De este modo, se identificaron cambios de coberturas terrestres mediante el uso del algoritmo de clasificación supervisada denominado "Random Forest".

Los resultados obtenidos generaron mapas temáticos con un nivel de fiabilidad global medio de un 97% y un Índice de Kappa (IK) de 0,96. El análisis de la dinámica de las superficies refleja que no se observan variaciones significativas con respecto a las áreas forestales.

Por otro lado, se integró en un sistema de información geográfica el catastro parcelario de Berisso, parcelas identificadas con productores forestales, principales industrias del aserrado y el OTBN. De este modo, se estimó que la superficie de bosques nativos es de 975 ha, distribuidas en 41 parcelas (14 ha) para la Categoría I (rojo), 265 parcelas (387 ha) para la Categoría II (amarillo) y 306 parcelas (574 ha) con ambas categorías.

Paralelamente, se identificaron 55 parcelas de productores forestales de los cuales un 9% se encuentran dentro de la Categoría II de conservación. En cuanto al sector de aserraderos, el recurso forestal primario se encuentra a una distancia media de 4,6 km.

El producto generado puede contribuir a la planificación integral de los usos de la tierra en el partido de Berisso y configura un insumo estratégico para el manejo de estos sistemas socioecológicos.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	2
CONTENIDO.....	3
INTRODUCCIÓN .....	4
MATERIALES Y MÉTODOS .....	8
Área de estudio.....	8
Determinación de clases de uso de la tierra .....	9
Selección de imágenes satelitales .....	9
Procesamiento y cálculo de índices de vegetación.....	10
Clasificación supervisada de imágenes satelitales .....	10
Sistematización de información cartográfica del sector forestal .....	13
Caracterización cuantitativa el sector forestal de Berisso.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
Determinación de clases de uso de la tierra .....	16
Análisis de cambios de uso de la tierra.....	24
Sistematización de información cartográfica del sector forestal .....	26
Caracterización cuantitativa el sector forestal de Berisso.....	28
Distribución del bosque nativo .....	28
Distancia entre aserraderos y recurso forestal primario.....	30
Superficie ocupada por clases de uso en predios de productores.....	31
CONCLUSIÓN .....	32
BIBLIOGRAFÍA .....	33
ANEXO.....	37

## INTRODUCCIÓN

La superficie de nuestro planeta ha sufrido históricamente constantes modificaciones debidas a la propia dinámica de la naturaleza, la acción antrópica y la interacción entre ambos efectos. El estudio de la distribución y superficie ocupada por diferentes tipos de vegetación permite disponer de información relevante sobre la situación actual del uso de la tierra, la ocupación del suelo y su dinámica. El conocimiento exhaustivo de esta información es utilizado para la planificación y ordenamiento territorial del sector, en particular, los inventarios agropecuarios y forestales que son requeridos por numerosos actores económicos, sociales y políticos involucrados en la planificación de acciones, reducción de incertidumbres y toma de decisiones (INTA, 2009).

La utilización de imágenes satelitales para la generación de cartografía con el fin de identificar coberturas del suelo y en particular vinculada a la actividad forestal tiene aplicación a nivel mundial (Moré et al., 2005). Los avances en estas últimas dos décadas en materia satelital, especialmente en la capacidad de los sensores para diferenciar coberturas terrestres, permiten representar de manera más eficiente la verdad del terreno con la formación de una cartografía temática.

Los sensores remotos miden la energía reflejada o emitida por los objetos de la superficie terrestre, según el poder de reflectividad y emisividad de cada uno, y también según la longitud de onda y es representada en firmas espectrales características (Ver Anexo Figura A.1).

El análisis espectral de la vegetación resulta de un proceso complejo ya que varía con el tiempo y por lo cual las propiedades espectrales cambian según la época del año y las fases de crecimiento. Para corroborar este análisis, se incorporan en la clasificación las bandas del infrarrojo, como así también el índice de vegetación denominado NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) para cada imagen. El uso de estas variables permite diferenciar con mayor claridad la vegetación de otras coberturas del terreno (Soria y Granados, 2005).

Según Chuvieco (2008), la clasificación es la etapa de extracción de información radiométrica y espectral de la imagen con el objetivo de automatizar la identificación de los elementos contenidos en ella. Esto implica el uso de algoritmos en el análisis de los datos espectrales para establecer la identidad de cada uno de los píxeles.

A partir de la clasificación digital se obtiene una cartografía de las categorías o clases del objeto en estudio. Para ello, se genera una nueva imagen, en la que el valor que se define para cada píxel no tiene relación con la reflectancia detectada por el sensor sino que se trata de una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese píxel. Para la determinación de estas categorías, se emplean dos métodos de clasificación: supervisada y no supervisada, de acuerdo con la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, en el cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. Por su parte, el método no supervisado procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (Chuvienco, 2008).

La clasificación de imágenes satelitales es dependiente de las características intrínsecas de la cobertura que se analiza. En el área de estudio, en particular en la zona baja inundable del Río de La Plata, se han localizado unidades productivas de carácter familiar que son funcionalmente dependientes del régimen de mareas. Este tipo de producciones conviven con los ecosistemas naturales característicos del área litoral conocidos genéricamente como humedales (Miranda, 2017).

Estos humedales han sido el espacio receptor de las primeras generaciones de inmigrantes de países europeos (españoles, portugueses e italianos) y en las últimas décadas, de países limítrofes y de las provincias del norte de nuestro país.

Estos flujos migratorios configuran el entorno característico del periurbano del partido de Berisso con producciones diversificadas. Entre las principales actividades productivas se puede diferenciar la horticultura, fruticultura, silvicultura, ganadería vacuna, caña y mimbre. Esta combinación de cultivos contribuye a generar ingresos a lo largo del año asociados al carácter estacional de los cultivos (CFI, 2006; Velarde et al., 2010).

En este contexto de diversidad de producciones, se observan divergencias en los registros e información de las superficies ocupadas por las actividades agropecuarias y forestales. Por ejemplo Velarde et al. (2010) afirma que en el partido de Berisso la superficie total agropecuaria es de aproximadamente 2.590 ha, de las cuales 2.091 ha están efectivamente trabajadas, sin desagregar por tipo de producciones. Por otro lado, Tagliabue (2011) registra que para el Censo Nacional

Agropecuaria (CNA) de 2002, la superficie implantada con producciones agrícolas y forestales alcanza 816 ha y para el último CNA con datos desagregados existen 31 explotaciones agropecuarias con una superficie total de 4.800 ha (CNA, 2008).

En particular para el sector forestal los datos locales de superficie implantada son nulos, no hay registros en el inventario nacional de plantaciones forestales, ni a nivel provincial o de partidos. En parte esto se explica porque, a pesar de ser una actividad histórica en la región, el alto grado de subdivisión de la tierra, la creciente urbanización y las diversas situaciones socioeconómicas influyeron para que esta actividad pasara por un proceso de retracción y abandono de estas prácticas. Entre las causas más relevantes, Gramundo (2014) afirma que la mayoría de las actividades productivas se desarrollaron en formas aisladas y sujetas a iniciativas individuales, sin concebir estrategias de desarrollo asociados a un plan integral de producción y, por otro lado, una menor competitividad con respecto al Delta bonaerense. Adicionalmente, existe una pérdida de prácticas productivas, falta de capacitación técnica, dificultades de acceso a las políticas de incentivo a la actividad y la marcada informalidad en diferentes eslabones de la cadena. Otro punto importante, es el abandono de las generaciones sucesoras ante la posibilidad que ofrece el mercado de trabajo urbano, la búsqueda de movilidad social y la percepción negativa sobre la actividad agropecuaria (Bernio, 2019). A pesar de estas dificultades, la producción forestal tiene un potencial de desarrollo asociado a las condiciones edafoclimáticas favorables para la producción primaria de Salicáceas y su transformación local. En ese contexto, la industria de la madera actualmente está constituida por aproximadamente 20 empresas, que conforman una variada gama que va desde productores forestales integrados, aserraderos, culminando con talleres de madera y carpintería, lo cual constituye una minicadena productiva con numerosos actores (Denegri y Aguinsaca Caraguay, 2014).

En el mismo sentido, la información correspondiente al Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos (OTBN) en el marco de la Ley nacional 26.331 y la Ley provincial 14.888, se encuentra parcialmente disponible para los productores y, en la mayoría de los casos, desconocen si sus predios están o no alcanzados por las diferentes categorías de manejo y conservación de bosques. Algunas iniciativas recientes como el Sistema de Análisis Territorial Ambiental (SATA) permiten

visualizar el OTBN en toda la provincia. Sin embargo, no se encuentra documentada la información geográfica a nivel de parcela.

En ese contexto, la sistematización de información geográfica dispersa puede contribuir a la planificación integral de los usos de la tierra en el partido de Berisso y configura un insumo estratégico para el manejo de estos sistemas.

En función de lo anteriormente expuesto, los objetivos de este trabajo final de carrera fueron:

1. Identificar y cuantificar la superficie ocupada de diferentes usos de la tierra en el período comprendido entre los años 2016 y 2020 y analizar la magnitud de los cambios producidos.
2. Elaborar un sistema de información geográfica que incluya datos relevados por fuentes oficiales, datos propios de localización de productores y las clases de uso determinadas en el objetivo anterior.
3. Caracterizar el sector forestal de Berisso a partir de medidas cuantitativas obtenidas de la integración de la información geográfica relevada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio comprende el litoral costero del partido de Berisso, provincia de Buenos Aires, Argentina ( $34^{\circ} 52' S$  y  $57^{\circ} 52' O$ ) y está limitada por los partidos de La Plata, Magdalena, Ensenada y con el Río de La Plata (Figura 1). El clima de la zona es de tipo templado húmedo, con precipitaciones medias anuales de 1.079 mm/año, con una humedad relativa de 77 % y temperatura media de  $15^{\circ} C$ . De acuerdo a la clasificación de Koppen-Geiger el clima es de tipo templado, subtropical, sin estación seca y con veranos cálidos (Kruse et al., 2014).

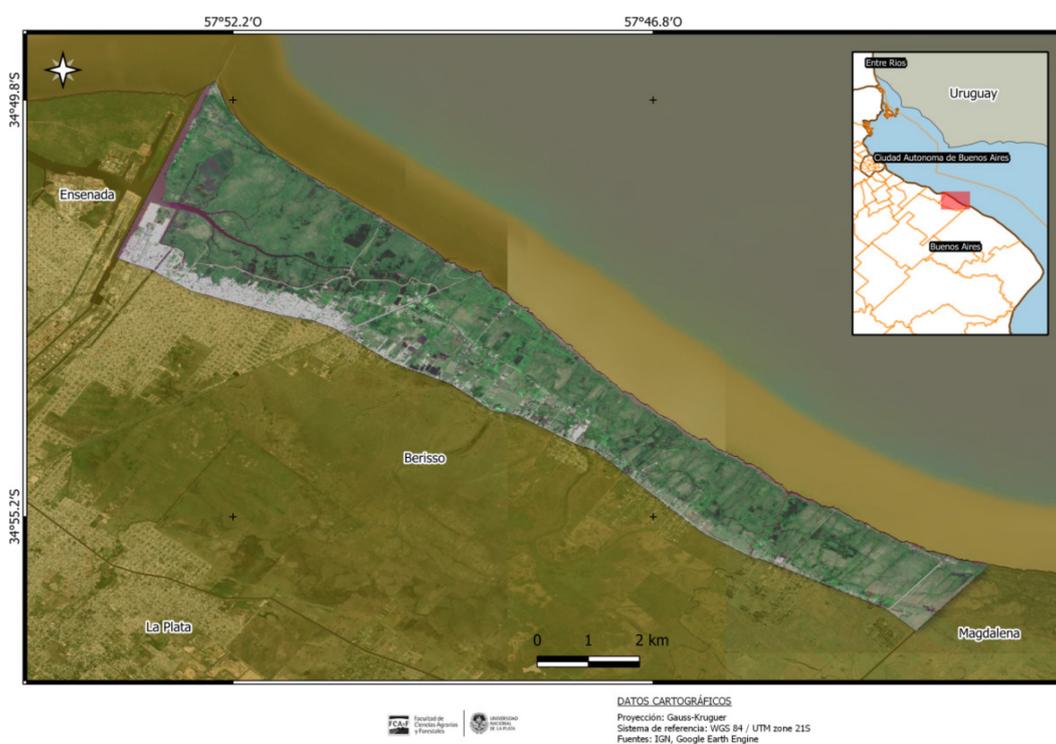


Figura 1. Delimitación del área costera analizada del partido de Berisso sobre una imagen de Google Earth.

En el área de estudio se diferencian dos unidades geomorfológicas. La primera corresponde a una franja deprimida extendida entre Berisso y La Plata con suelos arcillosos, que impiden la filtración de aguas de lluvias y del drenaje. Luego existe un albardón bajo paralelo a la ribera, donde ha sido edificada la ciudad y por último una zona baja, a menos de 2 metros sobre el nivel del mar comprendida entre el albardón y la costa, regida por las mareas del Río de La Plata. Esta zona está surcada de arroyos y canales, presentando suelos muy jóvenes de acumulación fluvial con hidromorfismo acentuado casi permanente por el nivel freático cercano a

la superficie (Ruiz Fernández et al., 2006). En esta última área se localizan las forestaciones y el resto de las producciones.

### **Determinación de clases de uso de la tierra**

Durante el análisis geoespacial se utilizó la plataforma informática Google Earth Engine (GEE). Esta plataforma pone a disposición una gran cantidad de imágenes satelitales actuales e históricas permitiendo, además, el uso de la infraestructura computacional que representa la “nube” de Google para efectuar el análisis de estos datos (Shelestov et al., 2017).

Para cubrir el área de estudio y facilitar la identificación de las coberturas se dividió el partido en cuatro áreas definidas por elementos geográficos de referencia.

Los límites de los partidos e interprovinciales fueron obtenidos del catálogo de objetos geográficos del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2020). Al mismo tiempo, para evitar la interferencia del agua en la clasificación se construyó una máscara de las áreas de alta frecuencia de ocurrencia con el producto JRC Global Surface Water Mapping Layers, que contiene la ubicación y distribución temporal del agua superficial desde 1984 hasta 2002 en formato ráster (Pekel et al., 2016).

### *Selección de imágenes satelitales*

Se utilizaron imágenes del sensor Sentinel-2 MSI: Multi spectral Instrument, Level-1C de los años 2016, 2018 y 2020. Este satélite está compuesto por 13 bandas espectrales y se seleccionó la resolución espacial de 10 m x 10 m (ESA, 2017). En la siguiente tabla se muestran los valores centrales de las bandas empleadas de SENTINEL 2 (Tabla 1).

Tabla 1. Longitud de onda central de cada banda del satélite SENTINEL 2.

<b>Bandas espectrales</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>
B2: Azul	490
B3: Verde	560
B4: Rojo	665
B8: Infrarrojo cercano (NIR)	842

Del total de imágenes para cada año, se seleccionaron aquellas escenas con un porcentaje de nubes inferior al 5 % y que corresponde al período comprendido entre

el 1 de enero y el 30 de abril de cada año. Ambas estrategias contribuyeron a una mejor interpretación visual de las coberturas.

#### *Procesamiento y cálculo de índices de vegetación*

En GEE con las imágenes seleccionadas de cada año se calculó la mediana de los píxeles. Adicionalmente se calculó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con la siguiente ecuación (Esperanza y Zerda, 2002):

$$NDVI = \frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)}$$

Donde: NDVI: índice de vegetación de diferencia normalizada; B4 y B8: reflectancia en la superficie de las bandas 4 y 8 de SENTINEL-2.

#### *Clasificación supervisada de imágenes satelitales*

A partir de las imágenes resultantes de cada año se realizó una clasificación supervisada de las coberturas. Este método de clasificación es un proceso en el que píxeles de identidad conocida se utilizan para clasificar píxeles de identidad desconocida. Por lo tanto, es de suma importancia tener un conocimiento previo de la zona de estudio, a partir del cual se seleccionan las muestras que sirven para entrenar al algoritmo en búsqueda de elementos de interés o categorías a través de la imagen (Roig Albiol, 2010). En este trabajo, se utilizó un algoritmo de clasificación aleatoria tipo bosque denominado "Random Forest", propuesto por Breiman (2001).

Para diferenciar con mayor claridad las clases de coberturas del terreno, se incorporó a la clasificación las bandas del infrarrojo, como así también el índice de vegetación denominado NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) para cada imagen (Ver Anexo Figura A.2, Figura A.3).

Las clases de uso de la tierra fueron identificadas a partir de la interpretación visual en el entorno Google Earth y mediante reconocimiento a campo. A continuación se describen las principales características que las definen:

1. **Monte denso:** ecosistema implantado formando un macizo forestal (cortinas forestales, montes de álamos, sauces y eucaliptus), dominado por especies leñosas arbóreas exóticas.
2. **Monte ralo:** ecosistema natural o poco modificado (plantaciones abandonadas e invadidas por especies leñosas, trepadoras y epifitas),

dominado por especies leñosas (nativas o exóticas) localizadas sobre zonas bajas e inundables frecuentemente.

3. **Vegetación inundada:** ecosistema natural, formando las principales áreas de bañados y humedales en la región. Las comunidades vegetales se ubican en áreas de capas freáticas altas, a menudo encharcadas, dominado por gramíneas y graminiformes altas.
4. **Cañas:** comunidad vegetal implantada, dominada por la especie de bambú (*Phyllostachys aurea*) presente en algunos de los establecimientos de la zona.
5. **Zonas urbanas:** ecosistema artificial, con importante desarrollo de infraestructura, edificios y caminos, incluyendo usos especiales industriales. Además, se incluyeron los invernáculos de las actividades productivas intensivas del sector.
6. **Masas de agua:** ecosistema natural o artificial (cavas, canales), correspondientes a cuerpos de agua lénticos (lagunas, charcas) o lóticos (ríos, arroyos), permanentes o temporales, identificables a escala regional (Kruse et al., 2014).
7. **Coberturas mixtas:** en esta clase se combinó superficies de suelo desnudo por modificación antrópica, áreas extractivas (canteras), o sectores en los que se ha alterado su estructura (suelo decapitado), sin vegetación o con muy baja cobertura vegetal. También se incluyeron aquellas áreas de producción intensiva (hortícola, frutícola y vitivinícola) y aquellas de uso ganadero dominado por especies de gramíneas (nativas o introducidas) localizadas sobre suelos bien drenados, en zonas altas no inundables.

Los puntos de entrenamiento fueron coberturas verificadas en campo de plantaciones de sauces, álamos, eucaliptos, y áreas de cultivo de vid y cañas tomados durante el año 2018 (n = 70) en el marco del proyecto de PITS “Berisso forestal: revalorizando la actividad mediante la innovación y la participación de los actores locales” (Denegri, 2017). Adicionalmente se incorporaron 215 puntos de entrenamiento distribuidos en las siete clases de cobertura que resultaron de la interpretación visual de las imágenes procesadas de SENTINEL 2 y de imágenes multitemporales de Google Earth.

Los puntos de entrenamiento para cada clase fueron: Monte denso (n = 45), Monte ralo (n = 45), Vegetación inundada (n = 45), Cañas (n = 20), Zonas urbanas (n = 30), Masas de agua (n = 30) y Coberturas mixtas (n = 45). En el Anexo (Figura A.4) se puede observar la distribución espacial de estos puntos.

La clasificación no se completa hasta que su precisión es evaluada a través del grado de concordancia entre las categorías asignadas por el clasificador y sus ubicaciones según datos de terreno muestreados previamente (Chuvienco, 2008). Para ello se separaron aleatoriamente los puntos de entrenamiento en dos grupos, el primero para formar parte de los sitios de entrenamiento (70% de los puntos) y el segundo para la validación (30%).

Para estimar la precisión y calidad de la clasificación se empleó la matriz de confusión o de error. La misma consiste en una tabla bidimensional que permite evaluar la calidad para cada clase por separado mediante el cálculo de errores de omisión y comisión (Salvador et al., 1996). De este modo, se determina la precisión global basada en la cuantificación de los píxeles correctamente clasificados.

A los parámetros descritos anteriormente, se calculó un estadístico denominado Índice de Kappa (IK). Este es utilizado para evaluar la exactitud del clasificador, es decir, la concordancia en la asignación de los píxeles que da cuenta de la contribución del azar en la confiabilidad del mapa (Mas et al., 2003). Un valor de IK próximo a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa resultante, mientras un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es puramente debido al azar (Chuvienco, 2008).

Finalmente, en el software QGIS 3.12.3-București se obtuvo para cada año la cantidad de píxeles de cada clase de cobertura con la herramienta "Histograma zonal". Los resultados obtenidos fueron sistematizados en tablas y gráficos, para luego plasmarse en los mapas resultantes.

A continuación se presenta un resumen metodológico de trabajo basado en la entrada, proceso y salida de datos e información (Figura 2).



Figura 2. Resumen metodológico de este trabajo

### Sistematización de información cartográfica del sector forestal

Se obtuvieron los datos del parcelario del catastro para el partido de Berisso, estas parcelas fueron obtenidas de la página web de la Agencia de Recaudación de la provincia de Buenos Aires (ARBA, 2021). Una parcela es definida como “cosa inmueble de extensión territorial continua, deslindado por una poligonal cerrada, perteneciente a un propietario o a varios en condominio, o poseído por una persona o por varias en común, cuya existencia y elementos esenciales consten en un plano registrado en el organismo catastral” (ARBA, 2021).

A partir de datos relevados en el marco del Proyecto PITS (Denegri, 2017), se identificaron parcelas de productores diversificados en donde la actividad forestal fue una de las actividades productivas principales (n = 55).

Por otro lado, para identificar el sector formación primaria, se obtuvo la ubicación de los aserraderos productores de cajones (n = 10) para el Cordón Frutihortícola de La Plata a partir de informes y relevamientos previos (Denegri, 2017; Gramundo, 2014; Bernio 2019; Sandoval, comunicación personal).

La capa temática correspondiente al OTBN de la provincia de Buenos Aires fue obtenida del Sistema de Análisis Territorial Ambiental (SATA, 2021) y corresponde a los bosques nativos identificados por la provincia en el marco de la Ley Nacional 26.331 y la Ley Provincial 14.888.

Las diferentes capas temáticas (parcelas del catastro, parcelas de productores identificados, aserraderos y OTBN) y las clases de uso de la tierra obtenida a partir de la clasificación supervisada de imágenes del año 2020, fueron integradas en un sistema de información geográfica en QGIS 3.12.3-București.

### **Caracterización cuantitativa el sector forestal de Berisso**

A modo de ejemplo de la aplicación de un Sistema de Información Geográfica para obtener medidas cuantitativas con referencia espacial, se plantearon tres preguntas: (1) ¿cuál es el área de bosque nativo presente en el partido de Berisso y en qué parcelas se encuentra?, (2) ¿cuál es la variabilidad en términos de distancia que existe entre el recurso forestal de plantaciones y los aserraderos locales? y (3) ¿cuál es la superficie ocupada por cada clase de uso de la tierra en los predios de productores identificados?

En primer lugar se seleccionaron las parcelas que contienen bosque nativo en las categorías del OTBN con la herramienta "*Join attributes by location*" en QGIS. Con la intersección espacial de parcelas y bosque nativo, se calculó la superficie de bosque nativo de cada categoría y el número de lotes que contiene total o parcialmente bosque nativo. Este procesamiento se realizó con la herramienta Calculadora de campos y la función "*area*" (*geometry*) en QGIS.

En segundo lugar, el área de plantaciones forestales fue obtenida de la clasificación supervisada descripta previamente y corresponde a las áreas denominadas "*monte denso*" para el año 2020 con una superficie estimada de 673 ha. Se seleccionaron las áreas de monte denso superiores a 1 ha ( $n = 67$ ). Con la herramienta "Puntos aleatorios dentro de polígonos" se establecieron hasta 3 puntos al azar separados al menos 200 m dentro de cada polígono. Luego, para cada punto ( $n = 106$ ) se calculó la matriz de distancia entre estos puntos y cada aserradero identificado con la herramienta "*Matriz de distancia*" en QGIS. Finalmente se calcularon los estadísticos principales y se graficaron los resultados en un gráfico de caja y bigote.

Finalmente, para estimar la superficie ocupada de cada clase de uso para el año 2020 en cada parcela de productores identificados, se obtuvo el número de píxeles dentro de cada parcela con la herramienta "Histograma zonal" y se multiplicó por la

resolución espacial de la imagen. Los resultados fueron presentados en un gráfico de barras.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Determinación de clases de uso de la tierra

La zona ribereña del municipio de Berisso posee una extensión de 4281 ha, donde las clases de uso de la tierra han variado levemente en el período 2016-2020.

En promedio, las imágenes clasificadas tuvieron un acierto global del 97%. Así también, se obtuvo un Índice Kappa (IK) para esta combinación del sensor-clasificador de 0,96.

La precisión media para las clases de uso de la tierra “*monte denso*”, “*monte ralo*”, “*vegetación inundada*”, “*cañas*”, “*zonas urbanas*”, “*masas de agua*” y “*coberturas mixtas*” fue del 97 %, 98 %, 91 %, 99 %, 97 %, 98 % y 98 %, respectivamente. Estos valores corresponden a un acuerdo muy alto entre la clase determinada a campo y el mapa clasificado (Chuvienco, 2008) y son similares a los encontrados para otras regiones del país (Avogadro y Padró, 2019).

Para el año 2016 en el área ribereña de Berisso, la mayoría de la superficie corresponde a las clases “*monte ralo*” y “*monte denso*” con 2.170 ha (51 %) y le sigue en orden de importancia la clase “*coberturas mixtas*” (Figura 3).

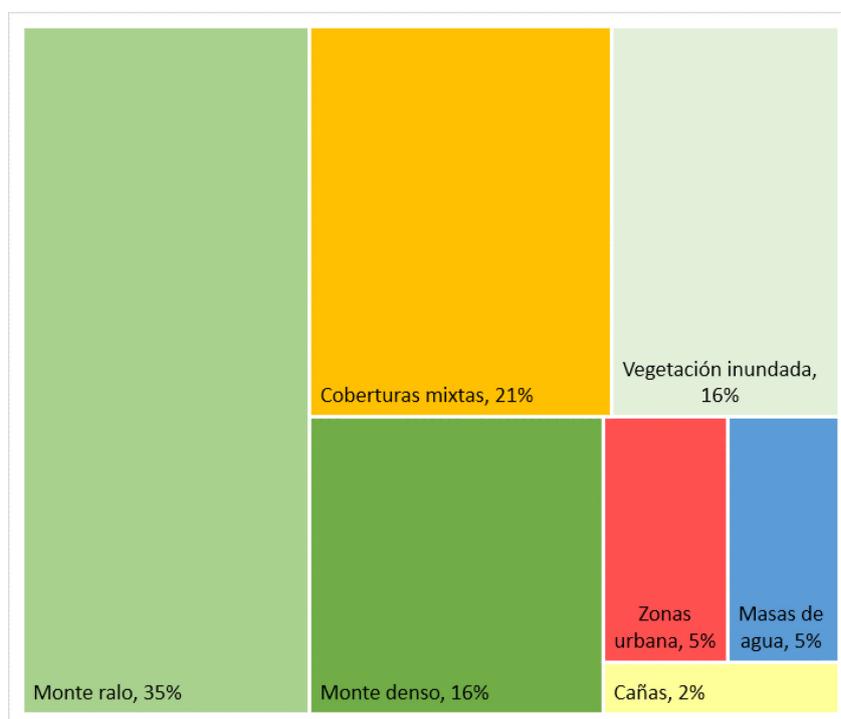


Figura 3. Porcentaje de cobertura por usos de la tierra para el año 2016.

En la siguiente Tabla se muestran los valores de superficie para cada clase de uso.

Tabla 2. Superficie de cada clase de uso de la tierra para el año 2016.

<b>Cobertura</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Monte denso	666
Monte ralo	1.504
Vegetación inundada	678
Cañas	93
Zona urbana	232
Masas de agua	207
Coberturas mixtas	901
<b>Total</b>	<b>4.281</b>

Para el año 2018, la mayoría de la superficie corresponde a las clases “*monte ralo*” y “*monte denso*” con 2.185 ha (51 %) y le sigue en orden de importancia la clase “*coberturas mixtas*” (Figura 4).

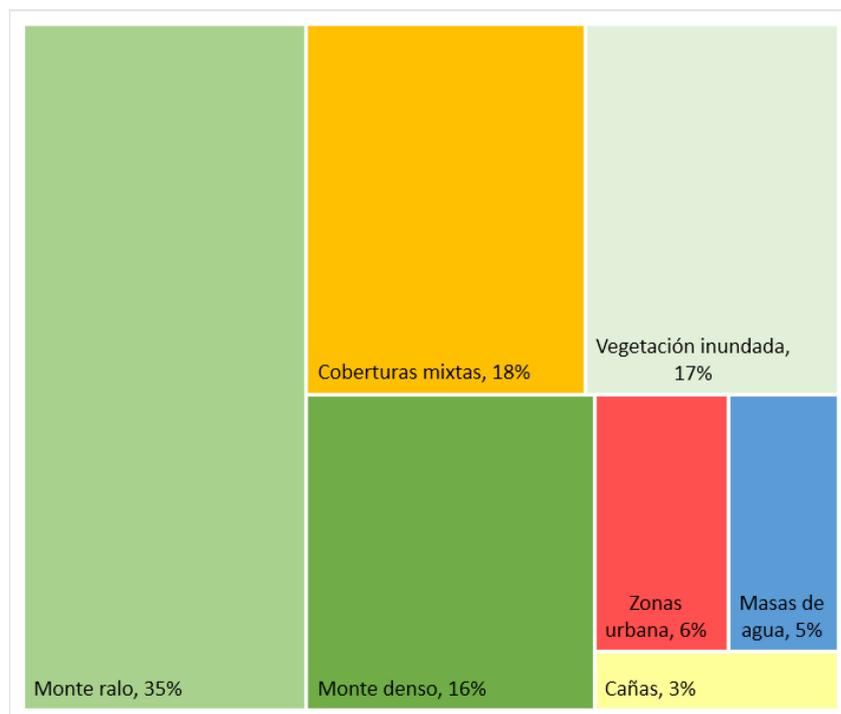


Figura 4. Porcentaje de cobertura por usos de la tierra para el año 2018.

En la Tabla 3 se muestran los valores de superficie para cada clase de uso de la tierra para el año 2018.

Tabla 3. Superficie de cada clase de uso de la tierra para el año 2018.

<b>Cobertura</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Monte denso	695
Monte ralo	1.490
Vegetación inundada	719
Cañas	109
Zona urbana	264
Masas de agua	215
Coberturas mixtas	789
<b>Total</b>	<b>4.281</b>

Para el año 2020, la mayoría de la superficie corresponde a las clases “*monte ralo*” y “*monte denso*” con 2.190 ha (51 %) y le sigue en orden de importancia la clase “*vegetación inundada*” (Figura 5).

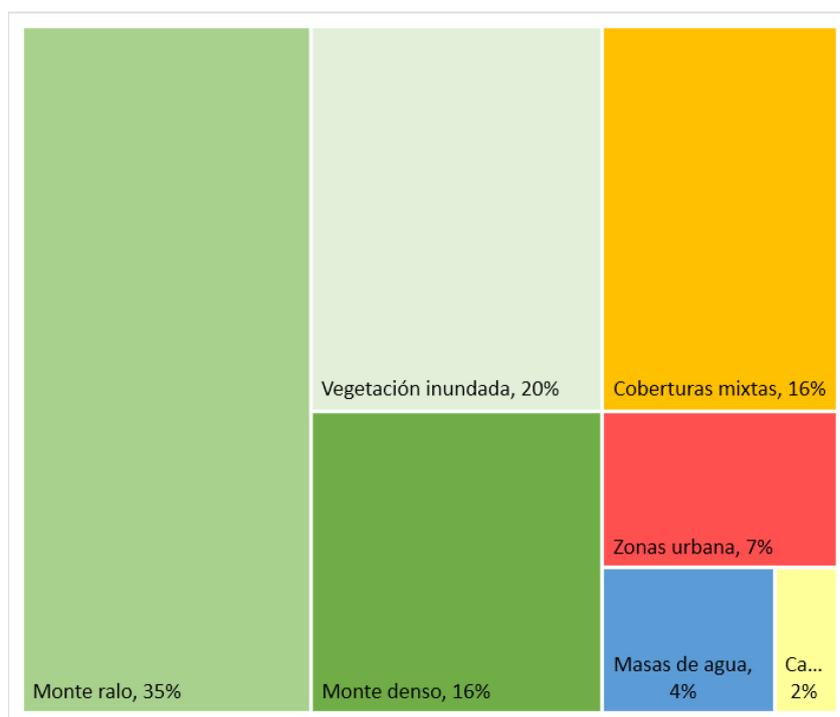


Figura 5. Porcentaje de cobertura por usos de la tierra para el año 2020.

En la siguiente Tabla se muestran los valores de superficie para cada clase de uso.

Tabla 4. Superficie de cada clase de uso de la tierra para el año 2020.

<b>Cobertura</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Monte denso	673
Monte ralo	1.517
Vegetación inundada	857
Cañas	69
Zona urbana	282
Masas de agua	191
Coberturas mixtas	692
<b>Total</b>	<b>4.281</b>

En las siguientes páginas se muestran los mapas resultantes de cobertura para los años 2016, 2018 y 2020.

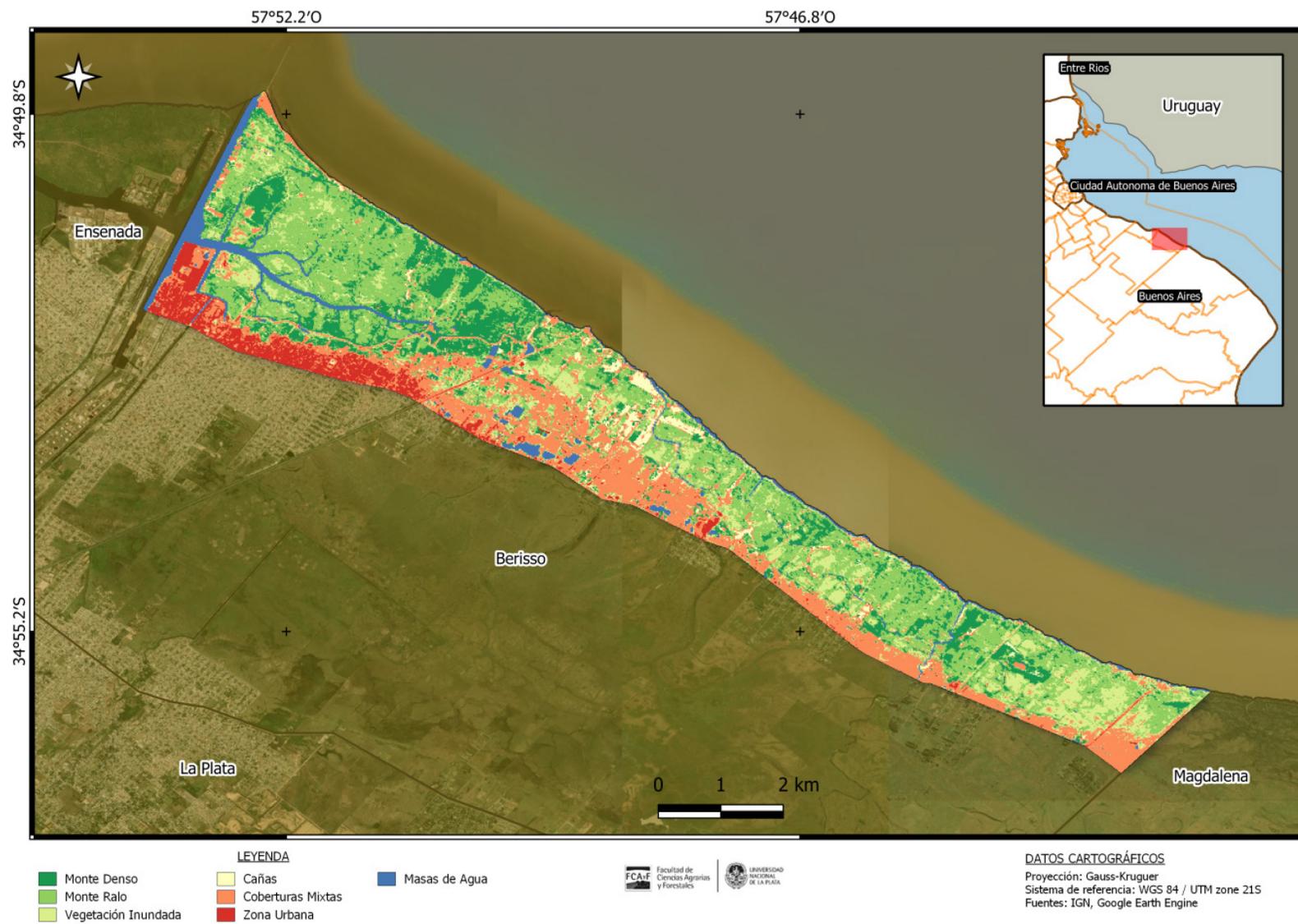


Figura 6. Clasificación para el año 2016

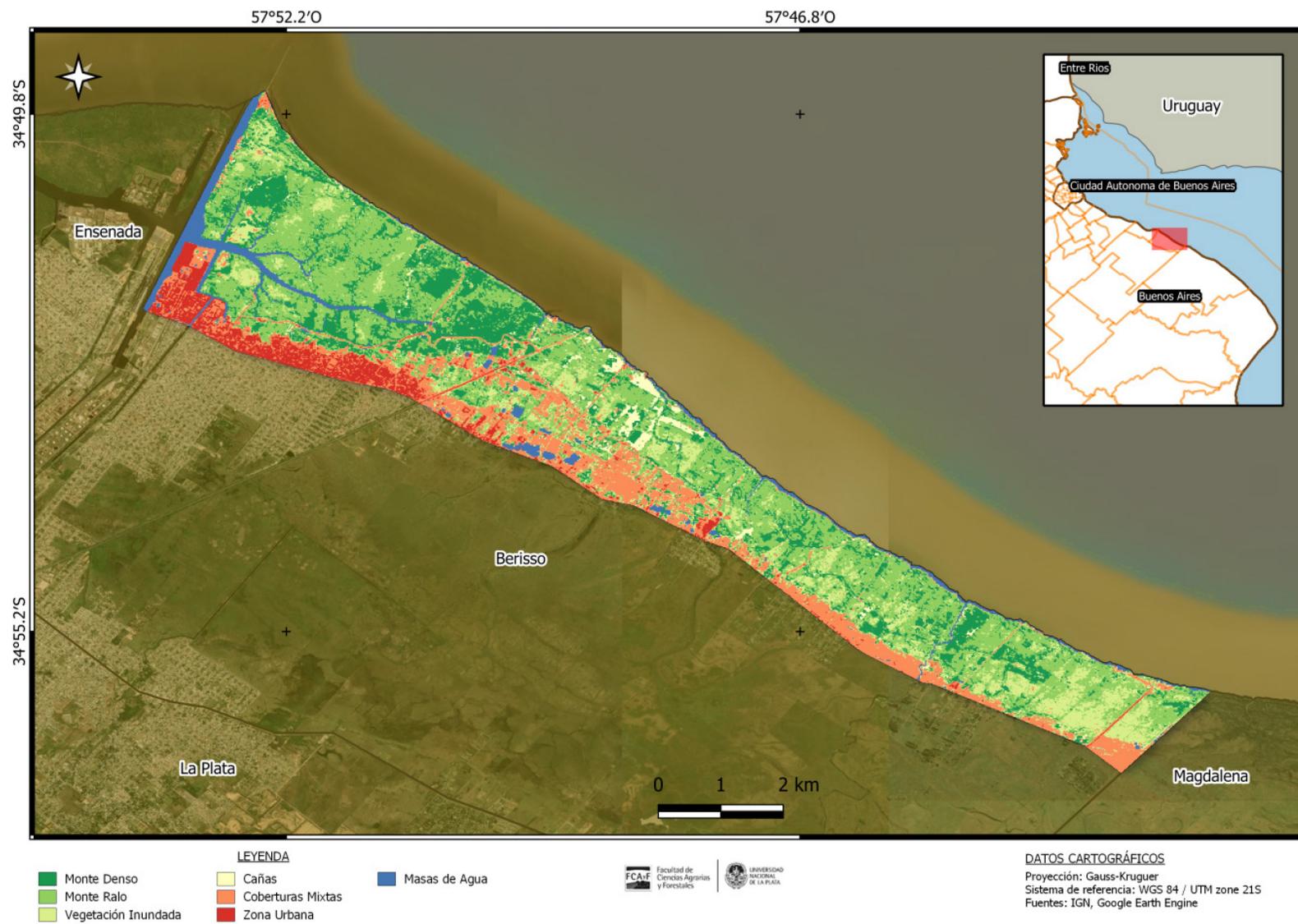


Figura 7. Clasificación para el año 2018

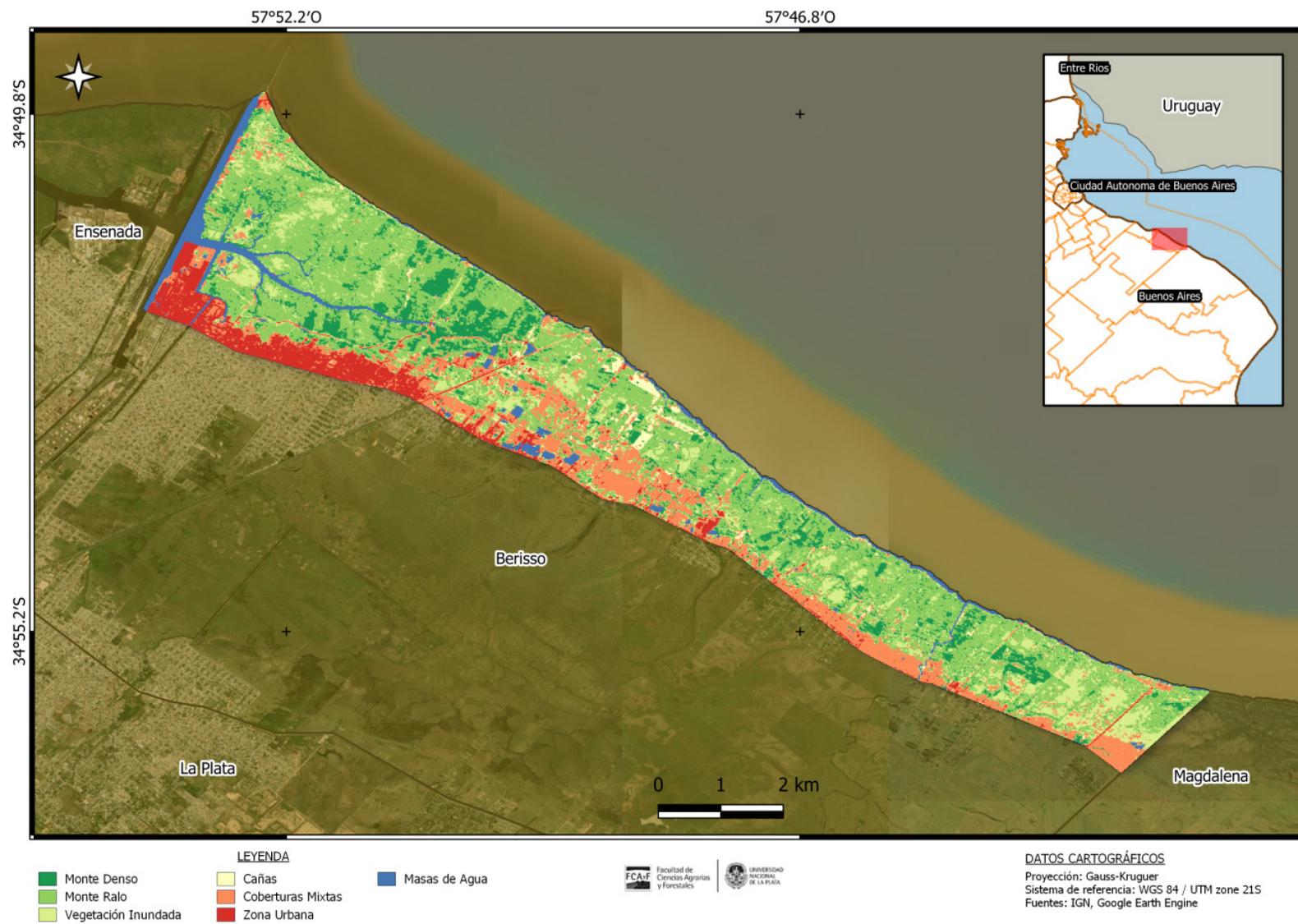


Figura 8. Clasificación para el año 2020

### Análisis de cambios de uso de la tierra

La superficie de las clases de uso de la tierra analizada durante el periodo 2016-2020 no presenta variaciones significativas (Figura 9).

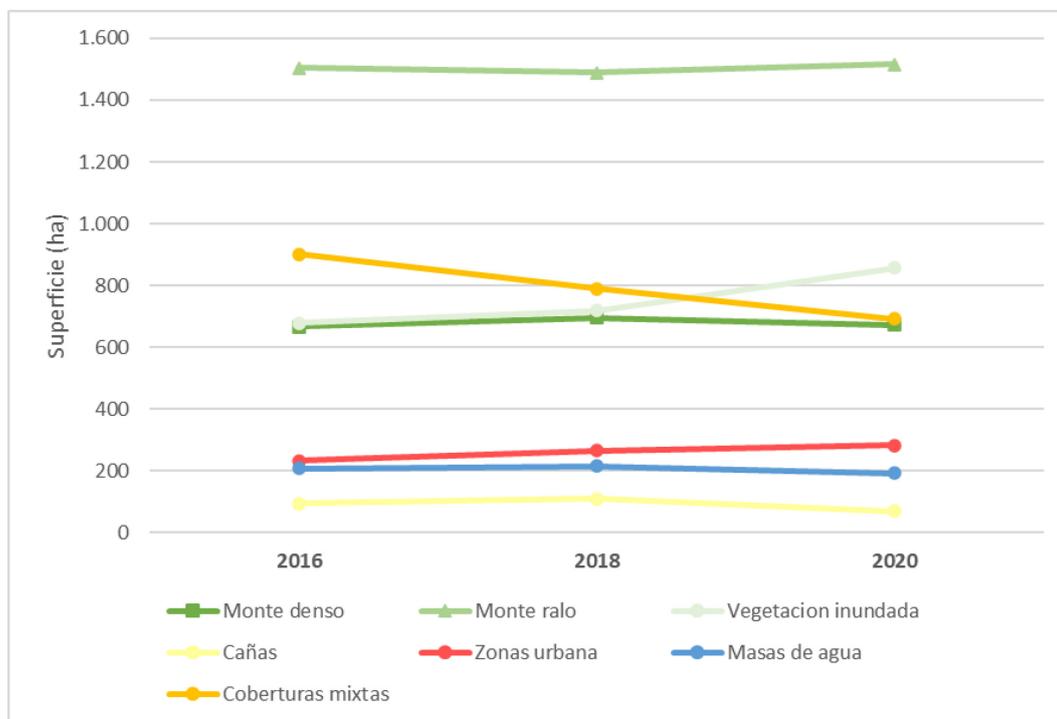


Figura 9. Cambios en el uso de la tierra entre los años 2016, 2018 y 2020 para las clases analizadas.

Durante la interpretación de los mapas clasificados, se observa una leve variación entre las clases *Vegetación inundada* y *Coberturas mixtas*. Esto se debe, al método de clasificación supervisada muchas veces tiende a generalizar píxeles debido a una similitud en los valores de reflectancia de los objetos espaciales.

Al mismo tiempo, se destacan ciertas intervenciones causadas por la expansión de las *Zonas urbanas* identificadas por el avance del uso portuario, industrial y ciertas actividades específicas sobre terrenos de reserva o áreas naturales caracterizadas por la presencia del monte de ribera.

Con respecto a la actividad forestal, no se observan variaciones significativas en la superficie analizada. En parte esto se explica porque, a pesar de ser una actividad histórica en la región, la mayoría de las actividades se desarrollan en formas aisladas y su magnitud dificulta su detección en el proceso de clasificación. Otro punto importante, es el abandono de estas actividades ante la posibilidad que ofrece

el mercado de trabajo urbano, la búsqueda de movilidad social y la percepción negativa sobre la actividad agropecuaria (Bernio, 2019).

## **Sistematización de información cartográfica del sector forestal**

Como resultado de la sistematización se obtuvieron los siguientes datos cuantitativos.

En cuanto a los datos cartográficos del parcelario del catastro: se encuentran 6.021 parcelas, con una superficie que oscila entre 640 ha y 0,001 ha con un promedio de 0,96 ha (desvío de 11,61 ha).

Los productores identificados: se encuentran 55 parcelas, con una superficie que oscila entre 97 ha y 0,42 ha con un promedio de 9,27 ha (desvío de 16,72 ha). En su mayoría se ubican en la isla Paulino y en la zona sur del área de estudio, debido a ventajas estratégicas derivadas de factores naturales y antrópicos.

La información geográfica asociada a los aserraderos no cuenta con datos específicos de producción o capacidad instalada. En parte, esto se explica por las características estacionales de la actividad y la informalidad de las instalaciones (Sandoval, *comunicación personal*). Sin embargo, Sandoval (2014) afirma que la industria se compone de 10 aserraderos de mediana tecnología con un promedio de producción de alrededor de 13.330 cajones por mes, con extremos de 2.400 y 50.000. Al mismo tiempo, se estima un consumo anual de madera de 7.000 tn de *Salix spp.* por año.

Finalmente, el Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos declara que existe una suma de 975 ha de bosques, distribuidas en Categoría I (rojo), Categoría II (amarillo) y no se observa formaciones boscosas en Categoría III (verde)

A continuación se presenta el mapa resultante de la superposición de las capas temáticas descritas con anterioridad.

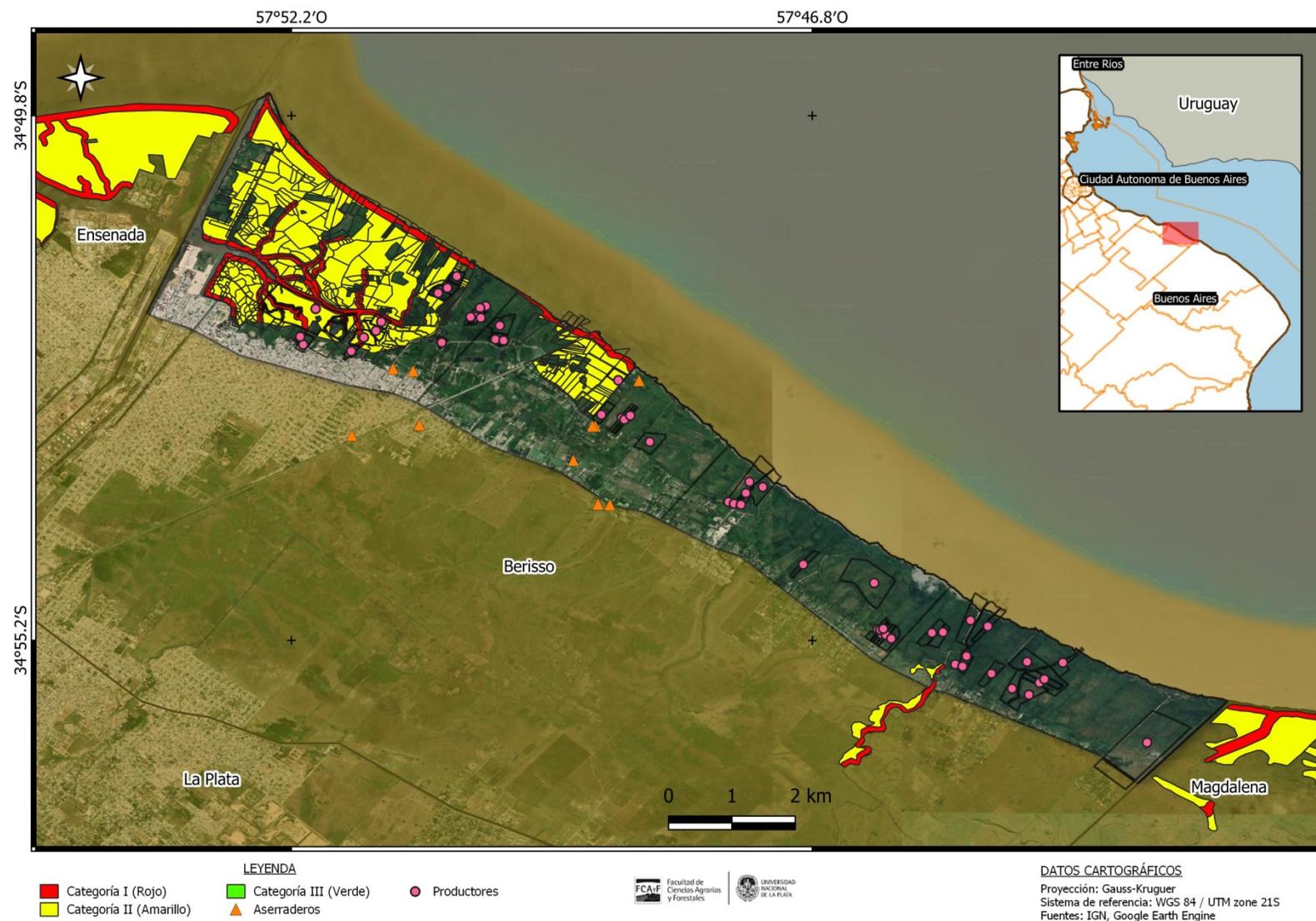


Figura 10. Mapa resultante de la sistematización de información geográfica.

## Caracterización cuantitativa el sector forestal de Berisso

### *Distribución del bosque nativo*

Durante revisiones del OTBN y en vistas a los primeros avances en su actualización, se estimó que en la zona ribereña existen 975 ha de bosques nativos distribuidos en dos categorías de manejo y conservación (Figura 11).

En primer lugar, mencionamos la Categoría I (rojo) que consta de sectores de muy alto valor de conservación que no deben transformarse, ni manejarse con fines productivos. Estas áreas están distribuidas en 41 parcelas, ocupando una superficie total de 14 ha, correspondientes a un 1,6% de bosques nativos de extensión territorial continua. Las parcelas se concentran mayoritariamente en la Isla Paulino, ubicadas al noroeste de la zona de estudio. Estas áreas representan cuencas hídricas, junto a márgenes de arroyos y canales de gran importancia, que ameritan su persistencia como bosque a perpetuidad.

En segundo lugar, se identificó la Categoría II (amarillo), definidas por áreas de mediano valor de conservación que pueden estar degradadas pero que si se los restaura pueden tener un valor alto de conservación. Posee una superficie de 387 ha distribuidas en 265 parcelas, las cuales representan un 39,6% de los bosques nativos de la zona. Estas áreas no pueden desmontarse, pero podrán ser sometidas a usos de aprovechamiento sostenible, turismo, recolección e investigación.

Al mismo tiempo, se identificaron 306 parcelas que contienen parcialmente ambas categorías de conservación. Estas superficies corresponden al 58,8% de bosques nativos, ocupando un total de 574 ha. En la siguiente Tabla se muestran los valores de superficie y número de parcelas para cada categoría de conservación según el OTBN.

Tabla 5. Cantidad de parcelas y superficies para cada categoría de conservación.

<b>Categorías</b>	<b>Parcelas</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Rojo I	41	14
Amarillo II	265	387
Rojo I y Amarillo II	306	574
<b>TOTAL</b>	<b>612</b>	<b>975</b>

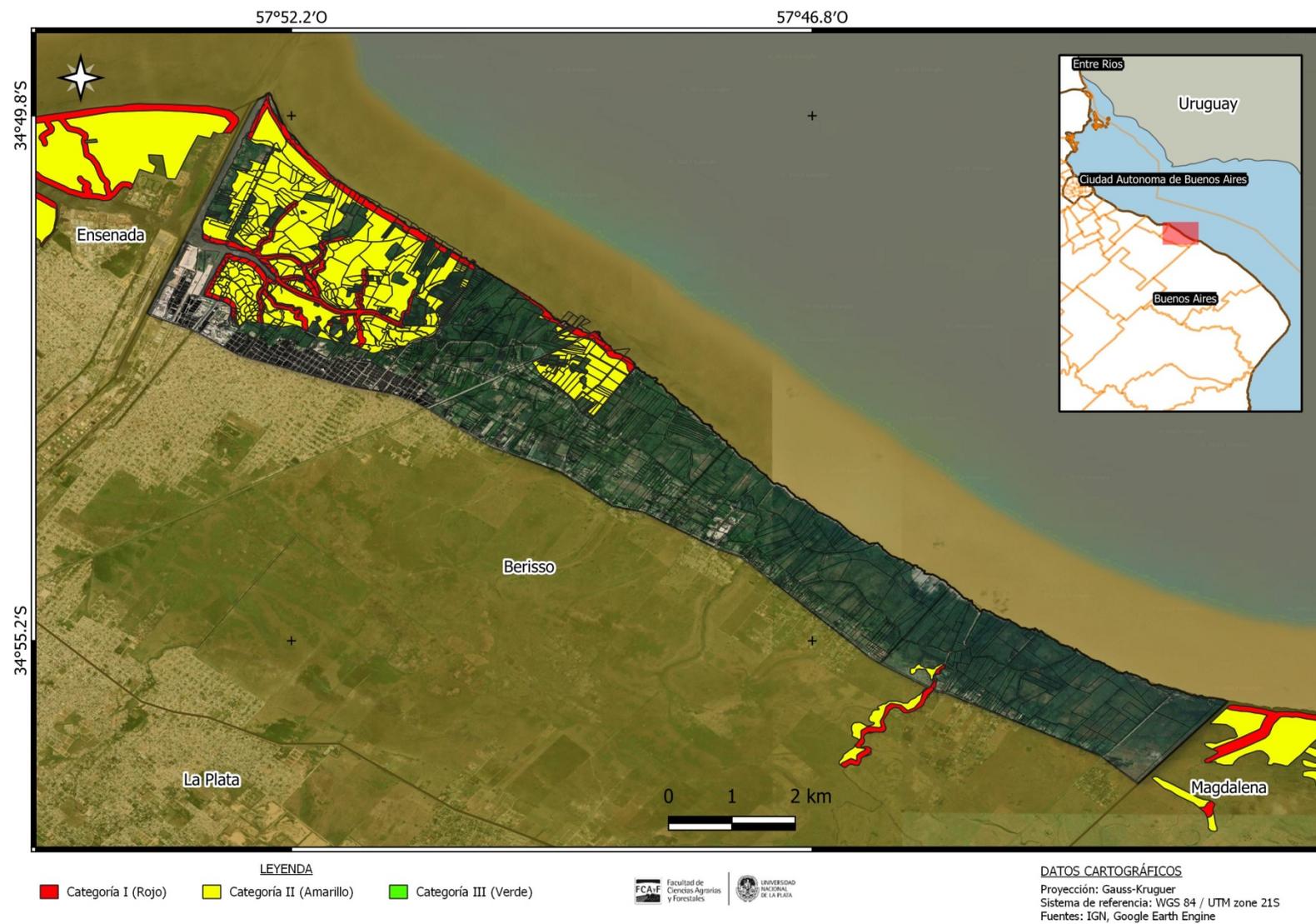


Figura 11. Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos del monte ribereño.

### Distancia entre aserraderos y recurso forestal primario

De la metodología propuesta, se obtuvo un mapa de distribución y distancia de las plantaciones que abastecen a las principales empresas del aserrado en Berisso. (Ver Anexo Figura A.5).

De acuerdo con esta información, existen 67 rodales con una superficie mínima de 1 ha de “*monte denso*”, de los cuales un 5% superan las 10 ha. La madera rolliza es transportada en pequeñas distancias para el abastecimiento de las plantas del aserrado. La distancia media promedio resulta de 4,6 km de radio y en algunos casos aislados no superan los 14 km, siendo una distancia razonable entre la industria y las plantaciones (Figura 12).

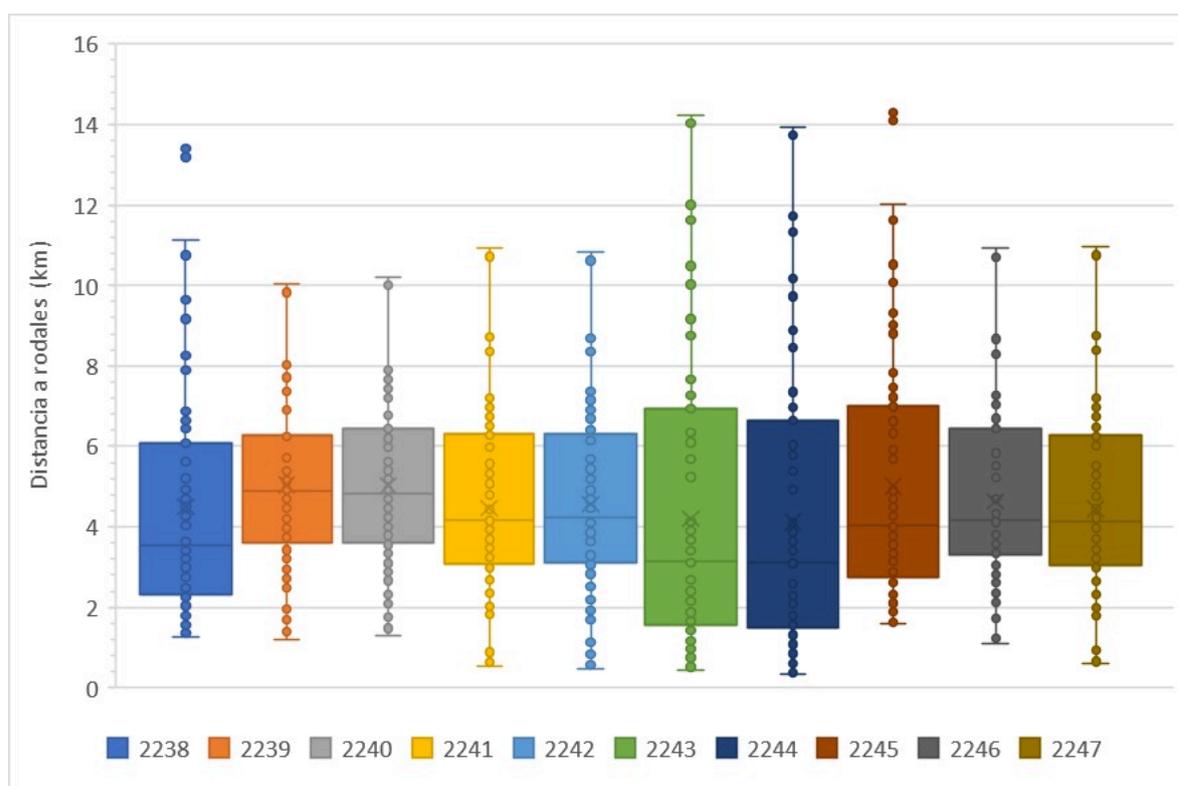


Figura 12. Distancia de aserraderos (identificador 2238 a 2247) a los rodales de abastecimiento.

Su análisis indica que la industria del aserrado se asienta predominantemente en las cercanías de los *montes densos*, debido a economías de localización asociadas a los costos de transporte y accesibilidad al mercado. En general, se trata de una industria atomizada y medianamente dispersa con escaso desarrollo tecnológico (Denegri y Aguiñaga Caraguay, 2014). Debido al nivel de producción de muchos de

estos aserraderos, un 50% de los rollos consumidos provienen del Delta, Magdalena y Punta Indio (Gramundo, 2014).

### *Superficie ocupada por clases de uso en predios de productores*

De acuerdo con los datos presentados durante la clasificación de clases de uso de la tierra y la identificación de los productores forestales, en la Figura 13 se pueden ver los resultados la cobertura para cada predio.

Existen 18 parcelas que tienen más del 50% de *monte denso* con una superficie promedio que oscila entre las 9,6 ha y 0,5 ha.

Al mismo tiempo, se identificaron 22 parcelas con una cobertura mayor al 50% de *monte ralo*, con un promedio estimado de 4,8 ha por parcela (desvío de 8,12 ha)

Le sigue como nivel de importancia la clase *coberturas mixtas*, involucrando 32 parcelas con una superficie mínima de 0,02 ha, de los cuales un 12% supera 1 ha con esta cobertura.

Por último, las clases *cañas* y *vegetación inundada* las encontramos en una proporción del 1,7% y 2,2% respectivamente, indicando poca representatividad a lo largo de los predios.

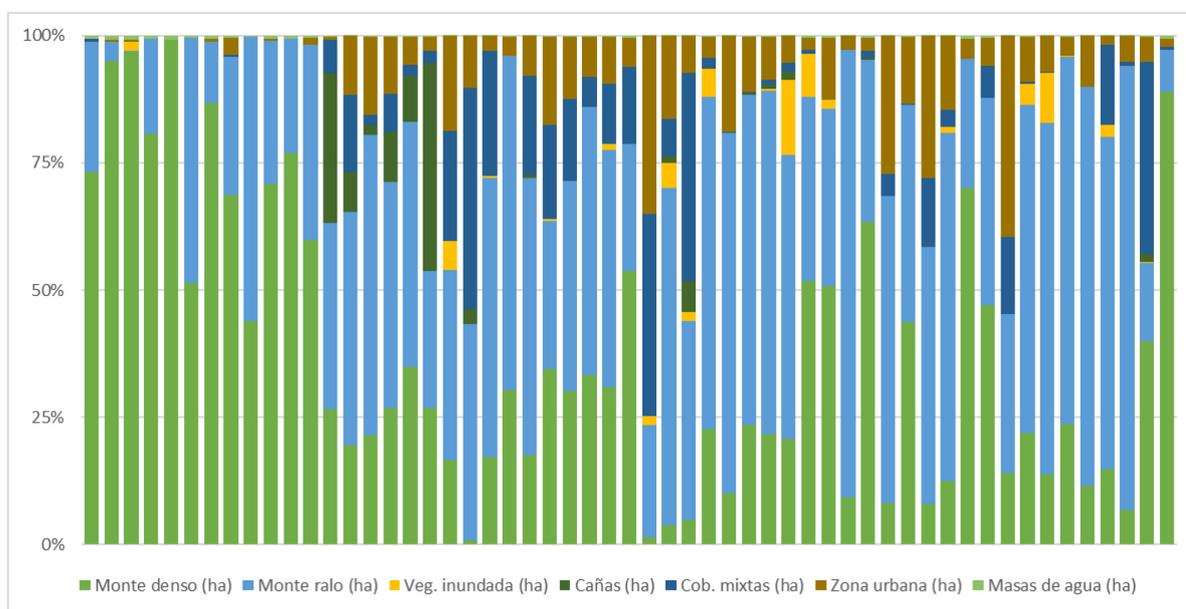


Figura 13. Porcentaje de cada clase de uso de la tierra para las parcelas de productores identificados.

## **CONCLUSIÓN**

Lo expuesto anteriormente permite concluir que el uso de sensores remotos es una herramienta que nos brinda la posibilidad de identificar áreas forestales y cuantificar su superficie con un alto grado de precisión y fiabilidad.

Estos resultados confirman una estabilidad del uso forestal, pese al potencial de desarrollo asociados a condiciones edafoclimáticas favorables para el cultivo de Salicáceas y su accesibilidad a las principales industrias del aserrado.

Al mismo tiempo, se generó una base de datos integrados a un Sistema de Información Geográfica (SIG), aportando información importante y actualizada que será de gran utilidad para la planificación estratégica regional del recurso forestal para el partido de Berisso.

Esta metodología, puede ser replicable dada la potencialidad y exactitud espacial que le otorga el uso de base de datos geográficos integrados a un Sistema de Información Geográfica (SIG).

## BIBLIOGRAFÍA

Agencia de Recaudación de la provincia de Buenos Aires (ARBA). (2021). Geoarba -Infraestructura de Datos Espaciales <http://www.arba.gov.ar/geoarba/inicio.asp>. [Último acceso: Marzo 2022]

Sistema de Análisis Territorial Ambiental (SATA). Dir. Prov. de Recursos Naturales y Ordenamiento Ambiental Territorial. Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible. (2021). Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos (OTBN). [http://sata.opds.gba.gov.ar/layers/geonode\\_data:geonode:OTBN](http://sata.opds.gba.gov.ar/layers/geonode_data:geonode:OTBN). [Último acceso: Marzo 2022]

Avogadro E. G. & Padró J. C. 2019. Diferenciación de plantaciones forestales en Entre Ríos, Argentina. Comparación de métodos de clasificación aplicados a imágenes sentinel-2 y landsat-8. Revista: GeoFocus, N° 24, p 117-139. Disponible: <http://dx.doi.org/10.21138/GF.652> [Último acceso: Abril 2021].

Bernio, F. 2019. Anatomía del sector primario de la cadena foresto-industrial de la localidad de Berisso. Trabajo Final de Carrera. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 42pp.

Breiman L. 2001. Random forests. Machine learning, vol. 45, no 1, pp. 5-32. Disponible: [https://www.researchgate.net/publication/258304769\\_Machine\\_Learning\\_Volume\\_45\\_Number\\_1\\_-\\_SpringerLink](https://www.researchgate.net/publication/258304769_Machine_Learning_Volume_45_Number_1_-_SpringerLink) [Último acceso: Agosto 2019].

Censo Nacional Agropecuario (CNA). 2002. INDEC Disponible: [https://sitioanterior.indec.gov.ar/index\\_agropecuario.asp](https://sitioanterior.indec.gov.ar/index_agropecuario.asp) [Último acceso: Agosto 2019].

Censo Nacional Agropecuario (CNA). 2008. INDEC. Disponible: [https://sitioanterior.indec.gov.ar/index\\_agropecuario.asp](https://sitioanterior.indec.gov.ar/index_agropecuario.asp). [Último acceso: Agosto 2019].

Chuvieco E. 2008. Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. Tercera edición. Barcelona, España. Ariel ciencia. 597p.

Consejo Federal de Inversiones (CFI). 2006. Estudio del sistema productivo local y desarrollo de un modelo de gestión integradora en el partido de Berisso. Disponible: <http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/sites/2/2006/01/45443.pdf>. [Último acceso: Marzo 2020]

Denegri, G. 2017. Proyectos Institucionales para el desarrollo tecnológico y social (PITS) “Berisso forestal: revalorizando la actividad mediante la innovación y la participación de actores sociales”. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. La plata, Argentina.

Denegri, G. & Aguiñaga Caraguay, R. 2014. Mini cadena Productiva de Envases Hortícolas de Berisso, Pcia de Bs As. IV Congreso Internacional de Salicáceas y Jornadas de Salicáceas 2014, La Plata, Argentina.

Esperanza F. & Zerda H. 2002. Potencialidad de los índices de vegetación para la discriminación de coberturas forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago del Estero, 2002.

EuropeanSpace Agency (ESA). 2017. Respuesta espectral SENTINEL-2. Disponible: <https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/performance>. [Último acceso: julio de 2020].

Gramundo, A. 2014. Una visión del Desarrollo Forestal en la Ribera del Río de La Plata. El caso del Municipio de Berisso. IV Congreso Internacional de Salicáceas y Jornadas de Salicáceas 2014, La Plata, Bs. As.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). 2020. Catálogo de Objetos Geográficos. Disponible: <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>. [Último acceso: Diciembre 2020]

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2009. Monitoreo de la cobertura y el uso del suelo a partir de sensores remotos. Resultados 2006-2009. Informe Técnico Unificado PNECO 1643. Programa Nacional de Ecorregiones. Argentina.

Kruse, E., Sarandón, R. & Gaspari, F. 2014. Impacto del cambio climático en el Gran La Plata. Editorial Universidad Nacional de La Plata, 105 p., La Plata.

Mas J. F., Díaz Gallego J. R. & A. Pérez Vega. 2003. Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. N° 51, México, pp. 53-72.

Miranda M. 2017. Caracterización espacial de la Agricultura familiar en los partidos de Berisso y Ensenada, Buenos Aires, Argentina. Tesis final para obtener el

título de Técnico Superior en Sistemas de Información Geográfica, Universidad Nacional De General Sarmiento

Moré Gómez G., Pons Fernández X., Burriel Moreno J. A., Castells Ferré R., Ibàñez Martí J. J. & X. Roijals Lara. 2005. Diferenciación de cubiertas forestales para el MSCS a partir de la clasificación de imágenes Landsat. Actas de la I Reunión de Inventario y Teledetección Forestal. 19 pp. 153-162.

Pekel, J.F., A. Cottam, N. Gorelick & A.S. Belward. 2016. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature 540, 418-422. Disponible: <https://doi.org/10.1038/nature20584> [Último acceso: Abril 2020]

Podest E., A. McCullu, J.M. Torres Perez & S. McCartney. 2020. Clasificación de coberturas terrestres con datos ópticos y de radar. Clases teóricas dictadas en el marco del programa de entrenamientos aplicados a sensores remotos. National Aeronautics and Space Administration, NASA, 2020.

QGIS Development Team. 2020. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponible: <http://qgis.osgeo.org> [Último acceso: Marzo de 2021]

Roig Albiol M. 2010. Identificación y clasificación de formaciones forestales mediante imágenes hiperespectrales aéreas. Proyecto de tesis. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias, Universidad Mayor. Santiago, Chile.

Ruiz Fernández, L.A, Recio Recio, J.A., Urriue, M., Baridón, J.E., Pellegrini, A. & Beláustegui, H. 2006. Aportación de las técnicas de teledetección al estudio de la potencialidad productiva de una zona litoral del Río de La Plata. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas. XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Granada, España. Disponible: [https://cgat.webs.upv.es/BigFiles/LARuiz\\_et\\_al\(CTIG\).pdf](https://cgat.webs.upv.es/BigFiles/LARuiz_et_al(CTIG).pdf) [Último acceso: Julio 2020]

Salvador R., Pons Fernández X. & F. Diego. 1996. Validación de un método de corrección radiométrica sobre diferentes áreas montañosas. Revista de Teledetección N° 7, pp. 2-5.

Sandoval M. 2014. Consultoría de asistencia técnica para la determinación del emplazamiento de un centro de capacitación y transferencia de tecnología y/o de

producción y servicios. Programa de sustentabilidad y competitividad forestal BID 2853 OC/AR.

Shelestov A., M. Lavreniuk, N. Kussul, A. Novikov & S. Skakun. 2017. Exploring Google Earth Engine Platform for big data processing: Classification of multitemporal satellite imagery for crop mapping. Chicago. Revista Frontiers in Earth Science N°5, 17pp.

Soria Ruiz, J. & Granados Ramírez, R. 2005. Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA y TM del Landsat. Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva. 2005. ISSN 1405-0269. Pp. 168.

Tagliabue, P. 2011. Entre los montes, la isla y el continente: Continuidades y cambios de la agricultura familiar en Berisso [1955-2010]. Trabajo final de grado. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Disponible: <http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.722/te.722.pdf> [Último acceso: Junio 2020]

Velarde, I., C. Sepúlveda, G. Avila & C. Voget. 2010. Desarrollo local rural en Berisso: una experiencia de intervención y articulación entre diversas disciplinas científicas, viñateros y actores políticos locales. International Conference of Territorial Intelligence Territorial intelligence and culture of development. Salerno, Italia, 2009. Disponible: <https://inti.hypotheses.org/files/2015/05/salerno09-velarde2-es.pdf> [último acceso: Julio 2020]

Zerda H. 2004. Inventario Nacional de bosques nativos: Manual de teledetección. Proyecto final. Secretaria de ambiente y desarrollo sustentable Secretaria de ambiente y desarrollo sustentable. Buenos Aires, Argentina. 99p.

# ANEXO

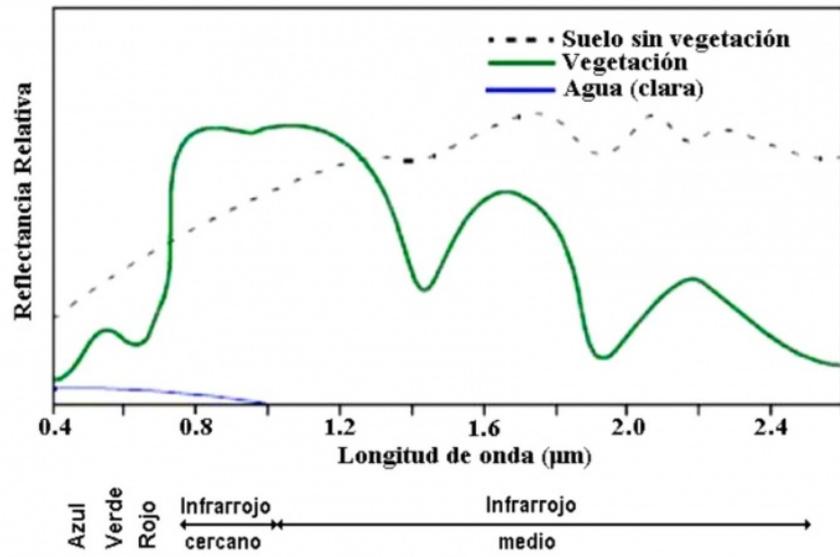


Figura A.1. Firmas espectrales del suelo, agua y vegetación. (Fuente: [https://www.peruvia-gallery.com/pr\\_b.htm](https://www.peruvia-gallery.com/pr_b.htm))

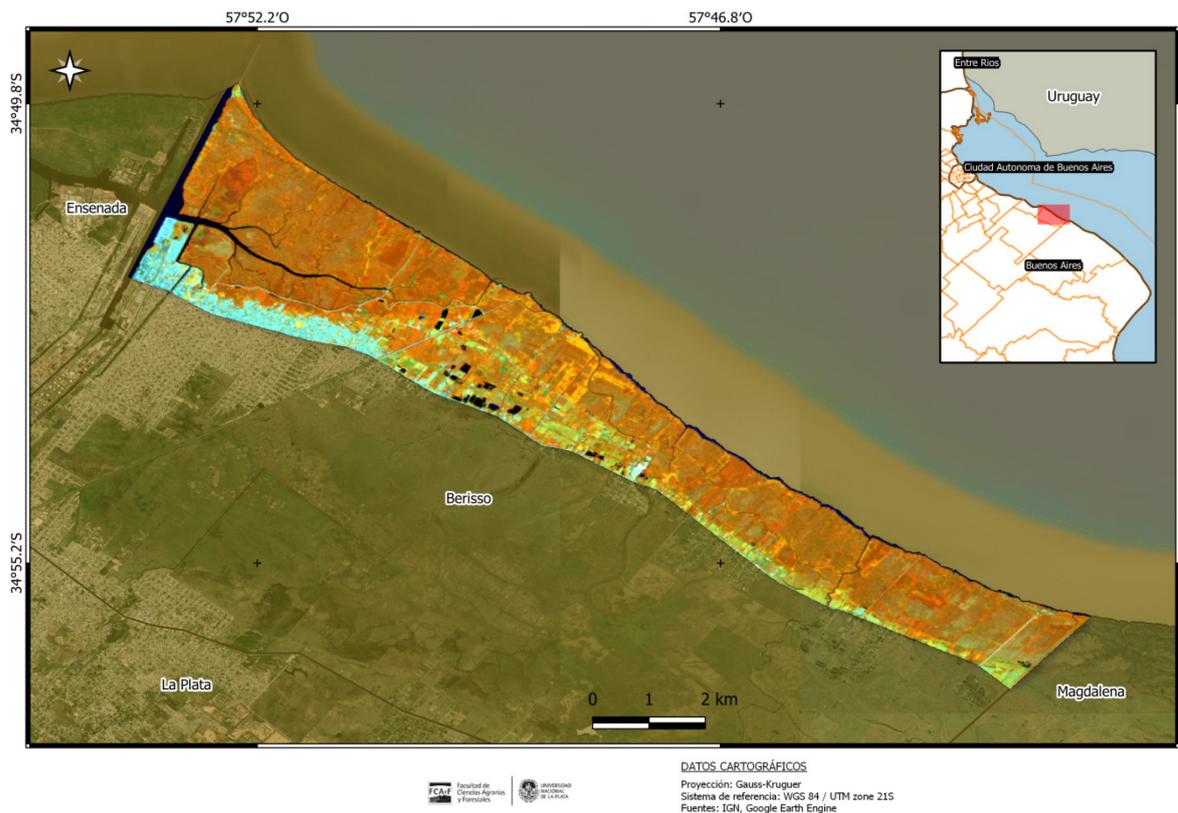


Figura A.2. Combinación de bandas del infrarrojo (B8, B4 y B3) de SENTINEL- 2.

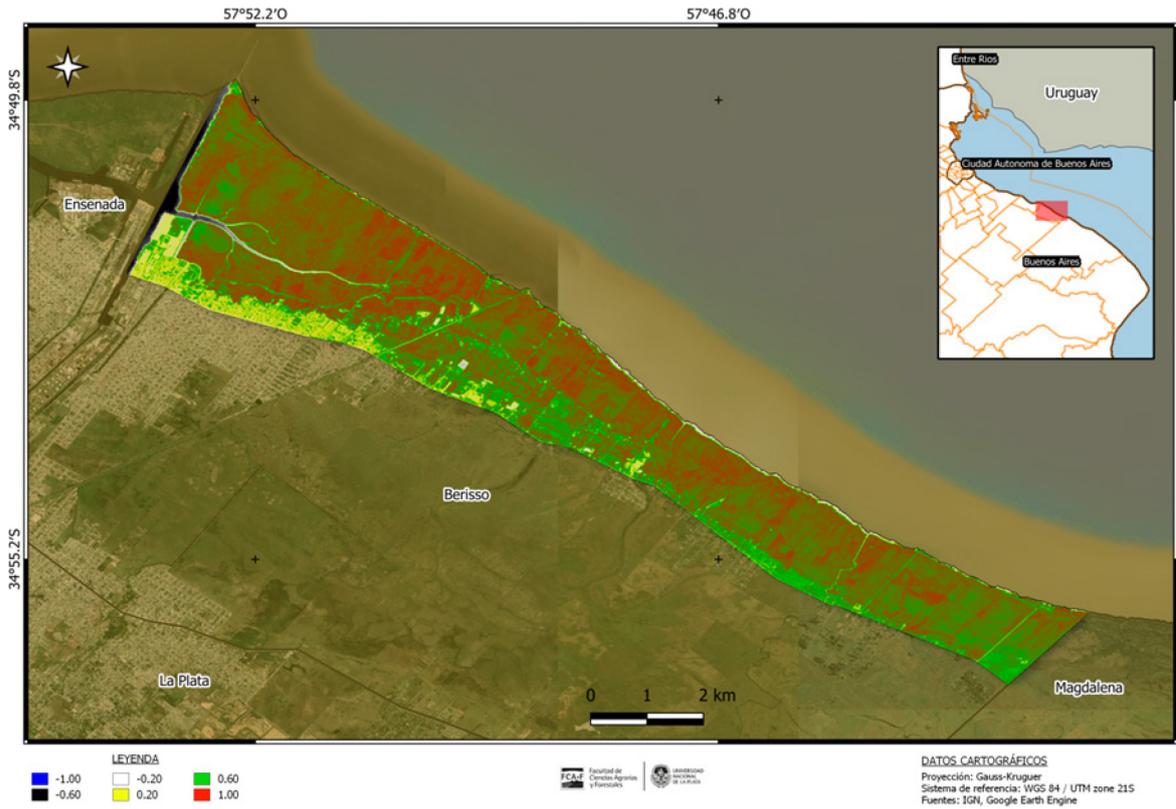


Figura A.3. Índice de vegetación NDVI para SENTINEL- 2

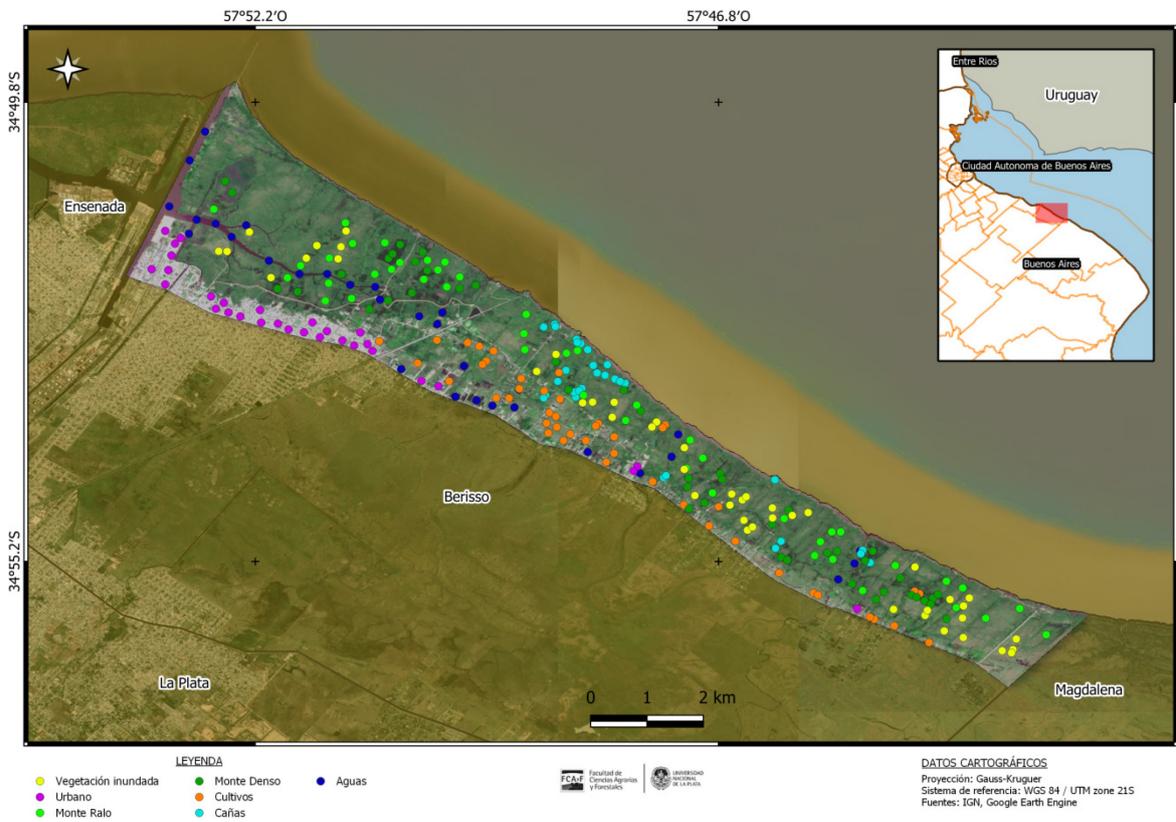


Figura A.4. Puntos de entrenamiento de las clases de uso de la tierra identificadas.



Figura A.5. Ubicación de aserraderos (puntos rojos) y de rodaes de monte denso (polígonos verdes).