



INFORME

ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN EL BOSQUE NATIVO DE URUGUAY EN EL PERIODO 2000-2016 EN BASE A COLLECT EARTH

Proyecto REDD+ Uruguay

Coordinación Técnica: Diego Martino

Autores principales: Lucia Bernardi, Alejandra Boccoardo, Carlos Miguel, Juan Olivera, Cecilia Penengo, Gonzalo Rama, Eugenia Riaño

El proyecto REDD+ es ejecutado en el marco de un acuerdo interministerial entre el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Como parte de este acuerdo participan directamente en su implementación la Dirección General Forestal, la Oficina de Programación y Políticas Agropecuarias, la Dirección Nacional de Medio Ambiente y la División de Cambio Climático. El proyecto REDD+ cuenta con apoyo financiero del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF).

Este documento debe citarse como:

Proyecto REDD+ Uruguay (2019). Análisis de los cambios en el bosque antio de Uruguay en el periodo 2000-2016 en base a Collect Earth. Bernardi, L., Boccardo, A., Miguel, C., Olivera, J., Penengo, C. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca - Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Montevideo.

En este documento se emplea el masculino gramatical, como término inclusivo para aludir a colectivos mixtos, o en contextos genéricos o inespecíficos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	- 2-
2. METODOLOGÍA.....	- 2-
2.1. RELEVAMIENTO DE DATOS DE COLLECT EARTH.....	- 2-
2.2. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DE COLLECT EARTH.	- 6-
2.3. ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DE LAS ESTIMACIONES REALIZADAS.....	- 7-
3. RESULTADOS.....	- 8-
3.1. ANÁLISIS DE CAMBIOS.....	- 10-
3.2. ANÁLISIS DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS DEL BOSQUE NATIVO.....	- 11-
3.2.1. ANÁLISIS TERRITORIAL.....	- 16-
3.3. ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN	- 18-
4. CONCLUSIONES.....	- 20-
5. BIBLIOGRAFÍA.....	- 22-

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto "Monitoreo Forestal Nacional y los Sistemas de Información para un proceso REDD+ transparente y veraz¹", cuyo objetivo era apoyar el proceso de preparación para la iniciativa REDD+ y el desarrollo de herramientas gratuitas para el monitoreo forestal en diversos países, se realizó un relevamiento de los usos del suelo y sus cambios en el periodo 2000-2016 a escala nacional, mediante la interpretación de imágenes satelitales de alta y media resolución, utilizando la herramienta Collect Earth. Los datos obtenidos en este relevamiento fueron depurados y analizados por parte del Proyecto URU/18/G31², como resultado se cuenta con una única base de datos utilizada como insumo para la realización del presente trabajo.

El objetivo general de este trabajo es estudiar los cambios en la cobertura del Bosque Nativo del Uruguay. Analizar los cambios en el uso del suelo vinculados al Bosque Nativo, centrandose en las pérdidas por deforestación y las ganancias por aumentos de la cobertura del Bosque Nativo. Para esto se construye una matriz de cambios de uso del suelo por tipo de bosque, para el periodo de referencia (2000-2016). Esta información es relevante para la construcción de la Estrategia Nacional REDD+, ya que produce insumos para la construcción del Nivel de Referencia de las Emisiones Forestales (FREL) y brinda información relevante para el análisis de las causas de deforestación y degradación.

2. METODOLOGÍA

2.1. RELEVAMIENTO DE DATOS DE COLLECT EARTH.

El relevamiento Collect Earth se realizó mediante un muestreo sistemático en todo el país utilizando una grilla de 3x3 Km. Las parcelas muestreadas tienen una superficie de 0,5 hectáreas y en la misma se encuentran 49 puntos de control, que le facilitan al operador la asignación del uso del suelo a la parcela. En los casos que existan más de un uso o cobertura asociado a la misma parcela, se registra el uso mayoritario.

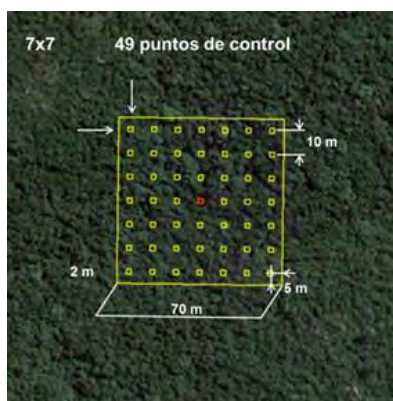


Figura 1. Parcela de monitoreo

¹ Sistema de Información y Vigilancia Nacional Forestal para un REDD+ Veraz y Transparente. Disponible en:

<http://www.fao.org/forestry/nfms-for-redd/es/>

² Informe de depuración y análisis de la base de datos generada por el relevamiento de Usos de la Tierra y Cambios en el Uso de la Tierra (LULUCF) en Uruguay, a través de Collect Earth para el período 2000 –2016 y construcción de la matriz de uso y cambio de uso 2012 –2014.

Se relevaron un total de 19.563 parcelas distribuidas en toda la superficie del país. El uso se determinó mediante la interpretación visual de imágenes de alta y media resolución espacial correspondientes al periodo 2000- 2016.

Para la definición de las categorías de uso de la tierra se tomó como referencia las directrices IPCC del año 2006 (IPCC, 2006³). Las mismas se dividen en las siguientes 6 categorías:

➤ **Tierras forestales (F)**

Incluye todas las tierras con vegetación leñosa que sean consistentes con los límites utilizados para definir una tierra como forestal para el inventario nacional de gases de efecto invernadero (ej. área, cobertura de copa, altura). Se incluyen aquellas tierras con cubierta vegetal que actualmente presentan un porcentaje por debajo de esos límites pero que potencialmente pueden alcanzar los valores utilizados en la definición de bosque.

➤ **Tierras de cultivo (C)**

Incluye todas las tierras de cultivo (cultivos de secano, arroz). Abarca aquellos sistemas agro-forestales cuando su estructura vegetal no alcanza los límites utilizados para definir esa tierra como forestal.

➤ **Pastizales (P)**

Incluye campo natural, campo natural mejorado y pasturas implantadas, siempre que no estén comprendidas dentro de la definición de tierra de cultivo. También abarca sistemas con vegetación leñosa y otro tipo de vegetación. Por ejemplo, arbustos que no cumplen con los valores límites para clasificarla como tierra forestal.

➤ **Humedales (H)**

Incluye áreas de extracción de turba y tierras cubiertas o saturadas por agua, de forma temporal o permanentemente (ej. turberas) y que no estén comprendidas en las definiciones de tierra forestal, de tierras de cultivo, pastizal o asentamientos.

➤ **Asentamientos (A)**

Incluye todas las coberturas con desarrollo de infraestructura, abarcando infraestructura de transporte y asentamientos humanos de cualquier tamaño, siempre que no haya sido incluido en alguna de las categorías anteriores.

➤ **Otras tierras (O)**

Incluye suelo desnudo, afloramientos rocosos, hielo y todos los tipos de coberturas que no están contemplados en las otras categorías.

³ IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Consistent representation of lands. Disponible en: https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_03_Ch3_Representation.pdf

Dentro de cada categoría se definieron las subdivisiones de uso actual de acuerdo a las condiciones nacionales (Figura 2.)


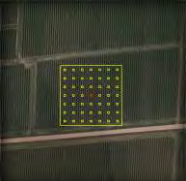

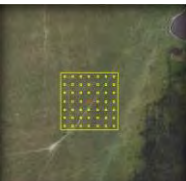


Uso Actual de la Tierra	Subdivisión
<p>Asentamientos</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Área Urbana • Infraestructura • Minería • Desconocido • N/A
<p>Tierras de Cultivo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Anuales • Arroz • Rotación Arroz-Pastizal • Rotación Cultivo de Secano-Pastizal • Perennes (Huertos, Frutales, Viñedos) • Desconocido • N/A
<p>Tierras Forestales</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Bosque Nativo Fluvial • Bosque Nativo Palmar • Bosque Nativo Parque • Bosque Nativo Quebrada • Bosque Nativo Serrano • Bosque Nativo Psa mófilo • Costero • Eucalyptus globulus, maidenii, bicostata • Eucalyptus grandis, saligna, dunni • Eucalyptus sp. • Otros Eucalyptus • Mezcla de Especies (Nativo y Exóticas) • Pinus ellioti • Pinus pinaster • Pinus sp. • Pinus taeda • Salix/Populus
<p>Pastizales</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Campo Natural • Pasturas Implantadas • Desconocido • N/A
<p>Humedales</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Rio • Arroyo • Lago • Laguna Costera • Humedal Costero • Bañado • Represa • Desconocido • N/A
<p>Otras Tierras</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Tierras Desnuda • Dunas • Rocas • Desconocido • N/A

Figura 2. Categorías y subdivisiones de Uso actual de la tierra establecidas para Uruguay. Las subdivisiones dentro de la categoría tierras forestales que definen al Bosque Nativo son Bosque Nativo: Fluvial, Serrano, Quebrada, Parque, Psa mófilo y Palmar.

El análisis de los cambios de Uso del suelo se realizó utilizando subcategorías de cambio de uso definidas por las guías IPCC, para cada una de las categorías de uso actual (Figura 3). Se registraron hasta los dos últimos cambios que una parcela haya tenido durante el período 2000 - 2016. Estos cambios definieron hasta un máximo de tres Categorías⁴, Subcategorías⁵ y Subdivisiones⁶ posibles por parcela. El uso actual se define en sentido cronológico, como el ultimo uso de la tierra registrado hasta el final del año 2016.

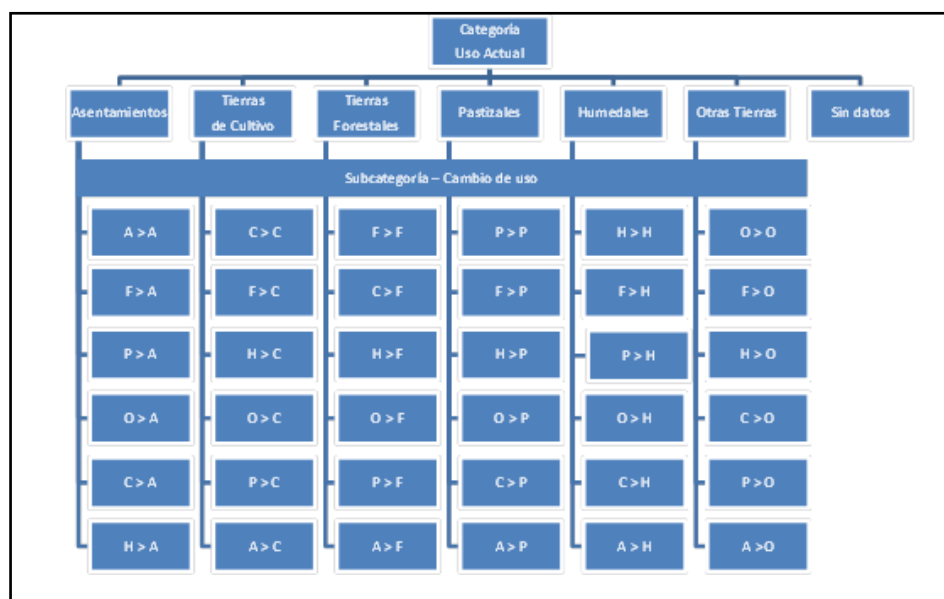


Figura 3. Subcategorías de cambio de uso por categoría de Uso actual.

La identificación de las categorías, subdivisiones y de sus cambios, se realizó mediante interpretación visual aumentada, gracias a las imágenes de alta resolución de Google Earth y Bing Maps. Por otro lado, hay que indicar que estas plataformas no permiten un análisis completo del país, ya que existen zonas en las cuales no se dispone de imágenes para las distintas fechas. En estos casos se utilizaron las plataformas de Google Earth Engine Code Editor y Google Earth Engine Explorer, las cuales tienen disponibles imágenes de Landsat 5, 7 y 8 y de Sentinel-2, que permiten tener datos de todo el periodo de referencia. Además, se utilizó la serie temporal del índice NDVI para facilitar la identificación de posibles cambios en la cobertura.

⁴ Refiere a las 6 Categoría de uso de la tierra de las directrices IPCC del año 2006 ([IPCC, 2006](#))

⁵ Definidas por las guías IPCC ([IPCC, 2006](#)). Definen a una parcela según el cambio de uso de suelo.

⁶ Refiere a los 42 usos del suelo específicos posibles, definidos dentro de las Categorías.

2.2. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DE COLLECT EARTH.

La revisión de los datos relevados y el posterior análisis detallado, de las parcelas correspondientes a la Categoría Tierras Forestales y las que presentan elementos de árboles, implican una serie de pasos que se detallan a continuación:

- Selección de parcelas forestales y con elementos de árboles de la base de datos de Collect Earth.
- División de la muestra obtenida para su incorporación en la herramienta de Collect Earth para su revisión.
- Revisión, modificación y ajuste de los datos de las muestras correspondientes al bosque nativo.
- Unificación de las muestras en la base de datos revisada y depurada a partir del Proyecto URU/18/G31.
- Análisis de la base de datos final y construcción de la matriz de usos y cambios de uso 2000 – 2016. Se consideran todas las subdivisiones del Bosque Nativo (Quebrada, Palmar, Parque, Serrano, Fluvial y Psamófilo) y sus cambios asociados. Se incluye en el análisis todas las subdivisiones dentro de Tierras Forestales y del resto de categorías de Uso de la Tierra del IPCC. Esto permite detectar todos los posibles escenarios de cambios entre Bosque Nativo y otras categorías de Uso de la Tierra, así como cambios dentro de la categoría Tierras Forestales. Los cambios se analizan en términos de ganancias y pérdidas de cobertura del Bosque Nativo y se realiza una estimación de un tipo específico de degradación.
Debido al diseño de la base de datos, los cambios detectados en el año 2000 (año base) ya aparecen con su nueva categoría o subdivisión asociada, lo que implica la necesidad de una revisión del uso previo de manera que podamos detectar el cambio asociado al año base.
- Análisis de distribución espacial de los diferentes cambios mediante la creación de un índice de densidad⁷ de una capa de puntos generada en base a las parcelas. El índice se generó en base a un área focal con un radio de 20 Km para pérdidas, ganancias y degradación.

El cálculo de las superficies se realiza mediante la relación de las 19.563 parcelas con la superficie del país (17.606.700 ha), de forma que cada parcela representa 900 ha. A su vez, para asignarle a cada uso del suelo su superficie correspondiente, se toma en cuenta la categoría o uso principal o dominante de la parcela.

⁷ Silverman, B.W. Chapman and Hall, 1986. *Estimación de densidad para las estadísticas y el análisis de datos*. New York.

2.3. ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DE LAS ESTIMACIONES REALIZADAS.

La estimación de la incertidumbre asociada a la muestra de Collect Earth corresponde a la de un diseño sistemático simple. Las estimaciones puntuales y los intervalos de confianza se construyen de acuerdo a este diseño. En el caso de las áreas totales estimadas, el estimador utilizado es:

$$t_i = \sum \frac{N}{s_i n} y_k$$

donde N es el total de celdas y n es el total de celdas seleccionadas (en este caso $N/n = 900$), y y_k es el área de la celda k (0,49 hectáreas). s_i representa la cantidad de sumandos de la clase i . En el caso del área de bosque nativo, por ejemplo, se suma sobre la totalidad de celdas que fueron clasificadas en esta categoría, y así para cada una de las clases del análisis (tipos de bosque, pérdidas, ganancias y degradación).

El estimador de la varianza es:

$$\hat{V}(t_i) = N^2 \left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{S_{ys}^2}{n}$$

donde S_{ys}^2 es la varianza de la variable y (área en hectáreas) en la muestra. Los intervalos de confianza al 95% se obtienen como:

$$t_i \pm 1,96 * S_{ys}$$

donde 1,96 es el valor de tabla de la Normal estándar que corresponde a un intervalo del 95% y S_{ys} es el desvío estándar, calculado como la raíz de la varianza.

El error relativo mide la variación relativa a la estimación puntual, y se calcula de la siguiente manera:

$$Error\ Relativo = \frac{1,96 * S_{ys}}{t_i}$$

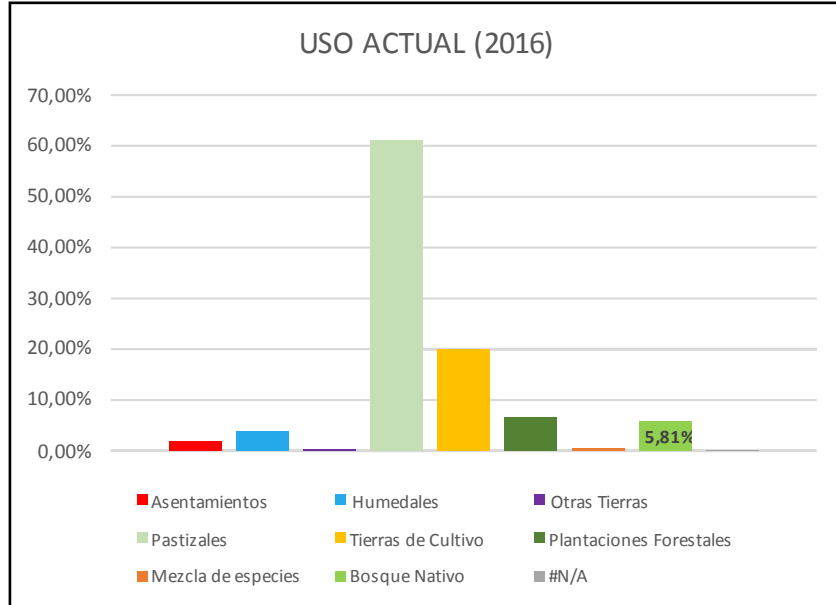
Para el caso de los porcentajes se utilizan estimadores de razón, con la siguiente forma:

$$\hat{p}_i = \frac{t_i}{t_B}$$

En donde los totales en el numerador varían de acuerdo al tipo de cambio (pérdida, ganancia y degradación), y los totales del denominador varían de acuerdo al área de bosque que corresponda (total, o por tipo de Bosque). El estimador de varianza corresponde al de un estimador de razón con diseño simple. Los cálculos se realizan utilizando el programa estadístico R, y en particular la librería *survey*.

3. RESULTADOS

En base a todos los datos resultantes de la aplicación de la herramienta Collect Earth se llegó a la distribución de uso de suelo para el Uruguay que se presenta en la gráfica 1. El porcentaje de Bosque Nativo en Uruguay es un 5,81% del total de la cobertura.



Gráfica 1. Usos del suelo actual según las categorías del IPCC (%)

Por otra parte, el Bosque Nativo se divide en diferentes subtipos (Fluvial, Palmar, Parque, Quebrada, Serrano y Psamófilo) (Figura 4), siendo el Bosque Nativo Fluvial es el que mayor superficie ocupa dentro del total del Bosque Nativo con el 64,6% como se ve en la Gráfica 2.

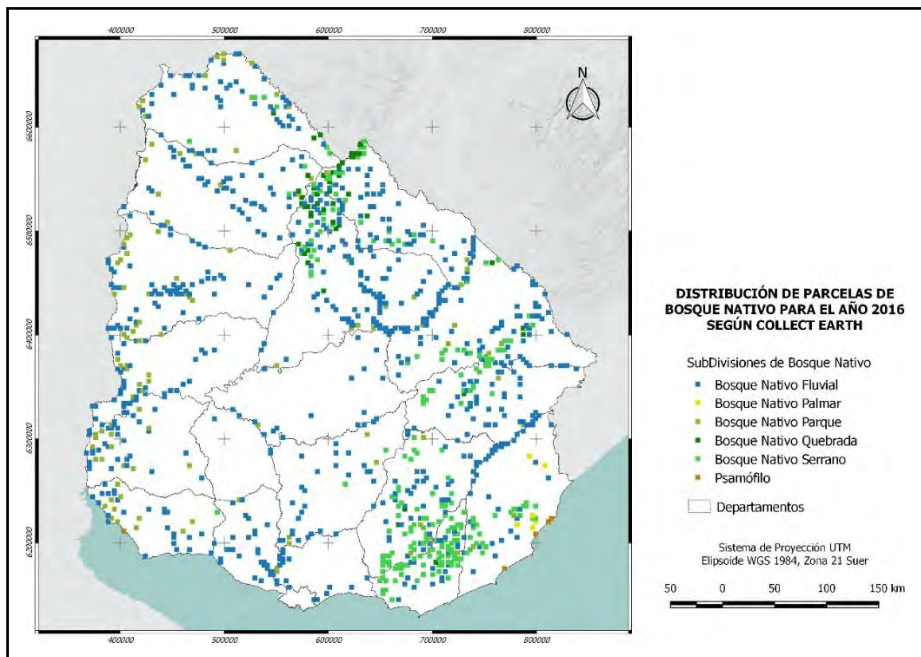
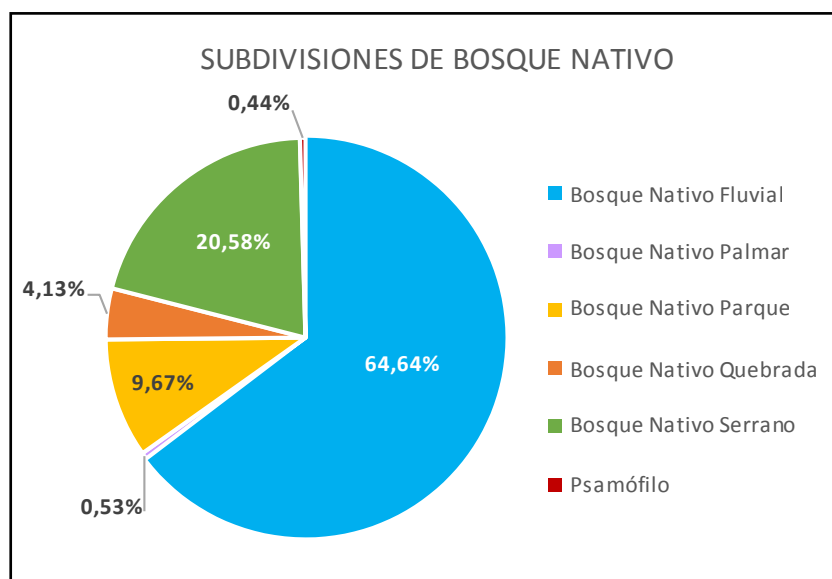


Figura 4. Distribución actual de parcelas de Collect Earth de Bosque Nativo por subdivisión.



Gráfica 2. Porcentaje de cobertura por subdivisión de Bosque Nativo.

A continuación, en las tablas 1 y 2, presentan las estimaciones de área de cobertura de Bosque Nativo (total y discriminada por tipo de Bosque), el intervalo de confianza y error relativo asociado, para el año 2016 y 2000, respectivamente.

Tipo de Bosque	N° Parcelas	Área	Límite Inferior 95%	Límite Superior 95%	Err. Relativo
Total	1.137	1.023.300	965.605,0	1.080.995,0	5,6%
Parque	110	99.000	80.561,2	117.438,8	18,6%
Fluvial	735	661.500	614.609,1	708.390,9	7,1%
Palmar	6	5.400	1.082,1	9.717,9	80,0%
Quebrada	47	42.300	30.227,8	54.372,2	28,5%
Serrano	234	210.600	183.792,6	237.407,4	12,7%
Psamófilo	5	4.500	558,2	8.441,8	87,6%

Tabla 1: Área de Bosque Nativo estimada total y por tipo de bosque para el año 2016.

Tipo de Bosque	N° Parcelas	Área	Límite Inferior 95%	Límite Superior 95%	Err. Relativo
Total	1.154	1.038.600	980.502,1	1.096.697,9	5,6%
Parque	110	99.000	80.561,2	117.438,8	18,6%
Fluvial	749	674.100	626.782,3	721.417,7	7,0%
Palmar	6	5.400	1.082,1	9.717,9	80,0%
Quebrada	47	42.300	30.227,8	54.372,2	28,5%
Serrano	237	213.300	186.323,4	24.0276,6	12,6%
Psamófilo	5	4.500	558,2	8.441,8	87,6%

Tabla 2: Área de Bosque Nativo estimada total y por tipo de bosque para el año 2000.

Las estimaciones del total de Bosque Nativo para el año 2000 y para el 2016 no son estadísticamente diferentes, ya que los intervalos de confianza de ambas estimaciones se superponen. La diferencia en el total de área estimada se debe a diferencias en el área del Bosque Nativo Fluvial y en el área de Bosque Nativo Serrano. Tampoco se puede afirmar que estos cambios son significativos. Las estimaciones más precisas, son las que presentan un menor error relativo. En el caso del Fluvial es de un 7% aproximadamente, en el Serrano de un 12,6%, y en el Bosque Nativo Parque de un 18,6%. En el resto de los casos el error relativo es alto, debido a los pocos casos en estas categorías.

3.1. ANÁLISIS DE CAMBIOS

En base a las diferencias de superficie encontradas en los tipos de bosque entre los años 2000 y 2016 (tablas 1 y 2), se determina que, de las 1.154 parcelas correspondientes a bosque nativo en el 2000, 46 tuvieron algún tipo de cambio, lo que representa el 3,9%. Es decir, en estas parcelas ocurrió un cambio de categoría o cambio de subdivisión dentro de la categoría Tierras Forestales. De estas 46, 18 (1,5%) corresponden a pérdidas de superficie de Bosque Nativo. Es decir, el uso mayoritario dejó de ser Bosque Nativo y pasa a otra categoría de uso. Por otro lado, se registraron 15 parcelas (1,3%) que en el 2000 se registraron con otra categoría de Uso y pasan a la categoría Tierras Forestales en el 2016, más específicamente a alguna de las subdivisiones de Bosque Nativo. Estas parcelas evidencian ganancia o expansión de superficie del Bosque Nativo para este periodo.

Además, se registraron 13 parcelas con cambios a nivel de subdivisión, dentro de la categoría Tierras Forestales, donde algunos de los tipos de Bosque Nativo pasan a la subdivisión Mezcla de Especies (Nativas y Exóticas). Algunos de estos cambios se dan en el 2000, por lo que conviene analizar el uso inicial al cambio registrado en el año 2000. En este sentido se tienen 1.159 parcelas que inicialmente eran Bosque Nativo, por lo que el cambio de Bosque Nativo a Mezcla de Especies (Nativas y Exóticas) equivale al 1,1% del total. Este tipo de cambio hace referencia a parcelas de muestreo clasificadas como de Bosque Nativo y con un pequeño porcentaje de pastizal asociado al mismo que es sustituido por plantaciones comerciales. De esta forma las parcelas que antes eran clasificadas como de Bosque Nativo pasan a ser Mezcla de Especies, no produciendo una pérdida de superficie o cobertura del Bosque Nativo. Este tipo de cambio ocurre principalmente en los tipos Serrano y Fluvial. En estos casos, el Bosque Nativo queda aislado y fragmentado, lo que podría derivar en la pérdida de calidad del mismo. En este sentido, se analiza el cambio de Bosque Nativo a Mezcla de Especies (Nativas y Exóticas) como posibles casos de degradación, siendo analizado dicho proceso en un apartado más adelante.

A continuación, se presentan los resultados del análisis de incertidumbre de las estimaciones de cambio realizadas:

Tipo de Cambio	Área (ha)	Porcentaje	Límite Inferior 95%	Límite Superior 95%	Err. Relativo
Total	41.400	3,9	2,84	5,13	28,8%
Ganancia	13.500	1,3	0,64	1,96	50,9%
Pérdida	16.200	1,5	0,85	2,27	45,8%
Degradación	11.700	1,1	0,52	1,74	54,3%

Tabla 3: Incertidumbre de áreas y porcentajes estimados para cambio total y desagregado por ganancia, pérdida y degradación (2000 – 2016).

La pérdida y la ganancia de superficie acumulada en el periodo de estudio (2000-2016) muestra que existe una pérdida neta de 0,26%.

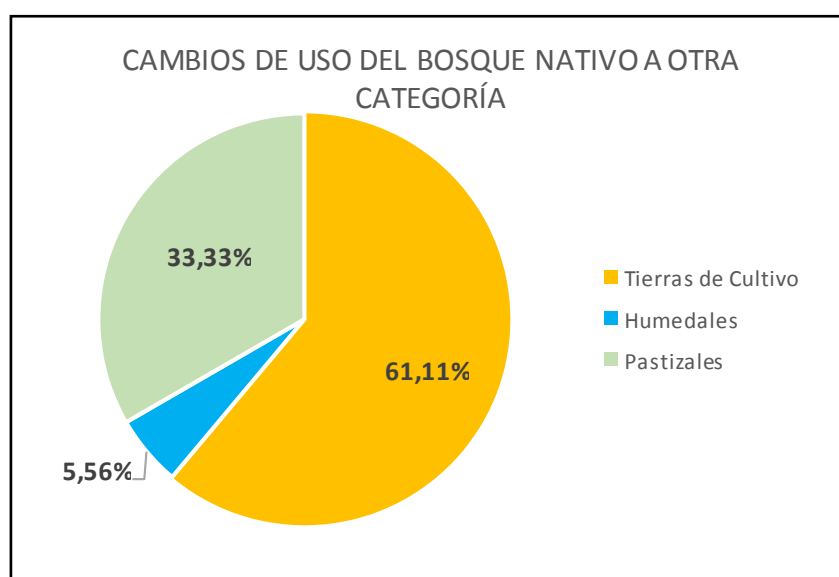
En cuanto a las áreas de cambio, si se consideran todas juntas (cambio total) se llega a un error del 28,8%. Cuando se realizan las estimaciones por separado para pérdidas, ganancias y degradación, el error relativo oscila entre un 45% y un 55% aproximadamente. Si bien estos valores son altos, los intervalos de confianza para las tres categorías de cambio están por encima del cero, lo que implica que el área estimada, si bien es pequeña, es significativamente distinta de cero con una confianza del 95%.

A continuación, pasaremos a analizar los diferentes cambios que suceden en el Bosque Nativo en el período de estudio.

3.2. ANÁLISIS DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS DEL BOSQUE NATIVO

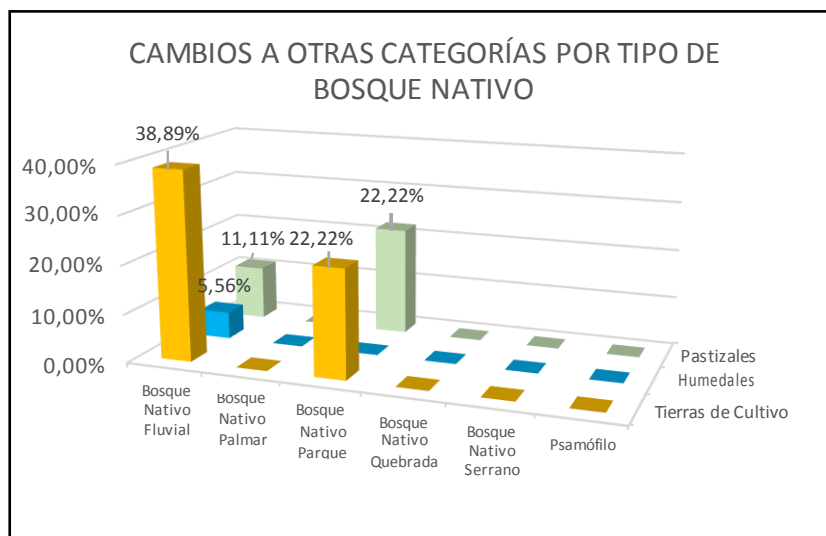
Los tipos o subdivisiones de Bosque Nativo que presentaron pérdida de cobertura fueron, el Fluvial con un 55,6% y el de Parque con un 44,4%. En el resto de las subdivisiones no se registraron pérdidas de superficie.

Por otra parte, del análisis del cambio de uso del Bosque Nativo asociado a las pérdidas del mismo, podemos ver que en su mayor parte pasa a las categorías Tierras de Cultivo y Pastizales, con un 61,1 y 33,3%, respectivamente. Mientras que en menor proporción (5,6%) pasa a la categoría Humedales.



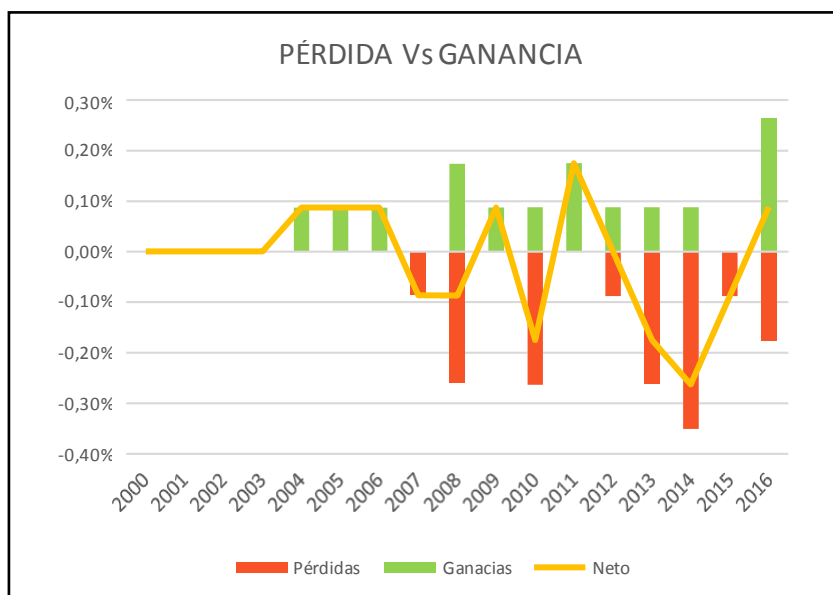
Gráfica 3. Cambios de uso de suelo del Bosque Nativo a otras Categorías entre el 2000 y 2016.

Si analizamos las pérdidas por tipo de Bosque Nativo y la transición asociada, podemos ver que el tipo Fluvial cambia principalmente a Tierras de Cultivo, mientras que las pérdidas en el Parque se dividen equitativamente entre Tierras de Cultivo y Pastizales. La transición de Bosque Nativo a Pastizales refiere en su mayoría a la subdivisión de Pasturas Implantadas.



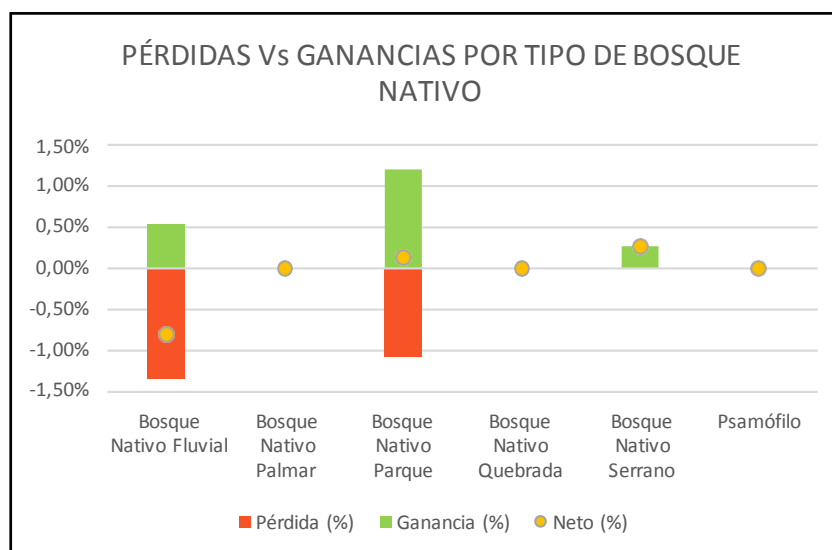
Gráfica 4. Cambios de usos por tipo de Bosque Nativo entre el 2000 y 2016.

En la gráfica 5 se muestra la pérdida anual, la ganancia anual y el cambio neto anual para el periodo de estudio. Si se analiza la distribución anual de los cambios netos, vemos que la pérdida se concentra en dos años marcados y alcanza una superficie de 2.700 ha netas acumuladas. En el 2010 cambio neto es de 0,18%, mientras que en el 2014 alcanza un 0,26%.



Gráfica 5. Cambio neto anual del Bosque Nativo (2000 – 2016)

En la gráfica 6 se observa que las pérdidas ocurren solamente en los tipos de Bosque Nativo Fluvial y de Parque, mientras que la ganancia ocurre también en el Serrano. Si se analiza el balance, se observa que el Parque y Serrano presentan ganancia acumulada neta de 0,13% y 0,27% respectivamente. Por el contrario, el Bosque Nativo Fluvial tiene pérdida acumulada neta de 0,8%.



Gráfica 6. Pérdida y Ganancia acumuladas porcentuales en los tipos de Bosque Nativo. (2000 – 2016)

De las 46 parcelas que sufrieron cambios en Bosque Nativo, 33 suman el conjunto asociado a la pérdida y ganancia de superficie, lo que representa una superficie de 29.700 ha. La tabla 4 muestra la ganancia, la pérdida y cambio neto acumulado en los tipos de Bosque Nativo (a nivel de subdivisión) involucrados durante esos años. El porcentaje de variación representa el cociente entre el cambio neto y el área que ocupaba el Bosque Nativo en el año 2000, mientras que la columna % de Cambio representa la variación de cada tipo de Bosque Nativo en el total de cambios netos. El cambio neto absoluto involucró 2.700 ha, explicado en un 66,67% por la pérdida de Bosque Nativo Fluvial que se destinó principalmente a aumentar la superficie de las Tierras de Cultivo y Pastizales como podemos ver en la tabla 7.

Tipo de Bosque Nativo	Área 2000 (ha)	Pérdida (ha)	Ganancia (ha)	Neto (ha)	% Variación	% Cambio
Bosque Nativo Fluvial	674.100	9.000	3.600	-5.400	-0,52%	66,67%
Bosque Nativo Palmar	5.400	0	0	0	0,00%	0,00%
Bosque Nativo Parque	99.000	7.200	8.100	900	0,09%	11,11%
Bosque Nativo Quebrada	42.300	0	0	0	0,00%	0,00%
Bosque Nativo Serrano	213.300	0	1.800	1.800	0,17%	22,22%
Psamófilo	4.500	0	0	0	0,00%	0,00%
Total general	1.038.600	16.200	13.500	-2.700	-0,26%	100,00%

Tabla 4. Pérdida, ganancia, cambio neto acumulado y porcentaje de cambios en Bosque Nativo.

La magnitud de los errores relativos encontrados en las aperturas por tipo de Bosque Nativo es reflejo del tamaño de muestra en cada categoría de análisis (Tablas 5 y 6). Los errores relativos se encuentran por encima del 60%, llegando en algunos casos a superar el 100% (ganancia en el Serrano). En estos casos no es posible afirmar que el área de ganancia o de degradación es significativa con una confianza del 95%. En los casos de la ganancia para el Bosque Nativo Fluvial, se tienen errores de aproximadamente un 98%. El límite inferior del

intervalo de confianza al 95% se encuentra muy cercano a cero, y un cambio en el nivel de confianza (por ejemplo, a un 96%) podría implicar que estas estimaciones dejen de ser significativas.

Tipo de Bosque	Área	Porcentaje	Límite Inferior 95%	Límite Superior 95%	Err. Relativo
Fluvial	9.000	1,34	0,51	2,16	61,5%
Parque	7.200	7,27	2,42	12,12	66,7%

Tabla 5: Área y porcentaje de pérdida por tipo de Bosque Nativo (2000 – 2016).

Tipo de Bosque	Área	Porcentaje	Límite Inferior 95%	Límite Superior 95%	Err. Relativo
Fluvial	3.600	0,54	0,01	1,08	97,7%
Parque	8.100	8,18	3,06	13,30	62,6%
Serrano	1.800	0,85	-0,32	2,03	137,9%

Tabla 6: Área y porcentaje de ganancia por tipo de Bosque Nativo (2000 – 2016).

En la tabla 7, se muestra la matriz de cambios acumulados a nivel de Subdivisión entre el año 2000 y 2016, que afectan al Bosque Nativo, ya sea por pérdidas a otros usos o por ganancias del mismo desde otro uso. En la misma se observa que la mayor parte del Bosque Nativo se mantiene estable entre las fechas indicadas. En este sentido, los tipos de Bosque Nativo de Quebrada, Palmar y Psamófilo no registraron ningún cambio respecto al año 2000. Mientras que de los que presentaron cambios, el Fluvial conserva el 97,7% y el de Parque el 92,7%.

Las transiciones registradas en estos últimos tipos de Bosque Nativo (Fluvial y Parque) son hacia Tierras de Cultivo (Cultivos Anuales, Arroz, Rotación Arroz-Pastizal y Rotación Cultivo de Secano-Pastizal) y Pastizales (Pasturas Implantadas y en menor medida Campo Natural). Por otro lado, se observa que las ganancias de Bosque Nativo en su mayoría se dan en Tierras que antes eran Campo Natural y Cultivos Anuales, transformándose principalmente en Bosque Nativo de Parque y en menor proporción a Fluvial y Serrano.

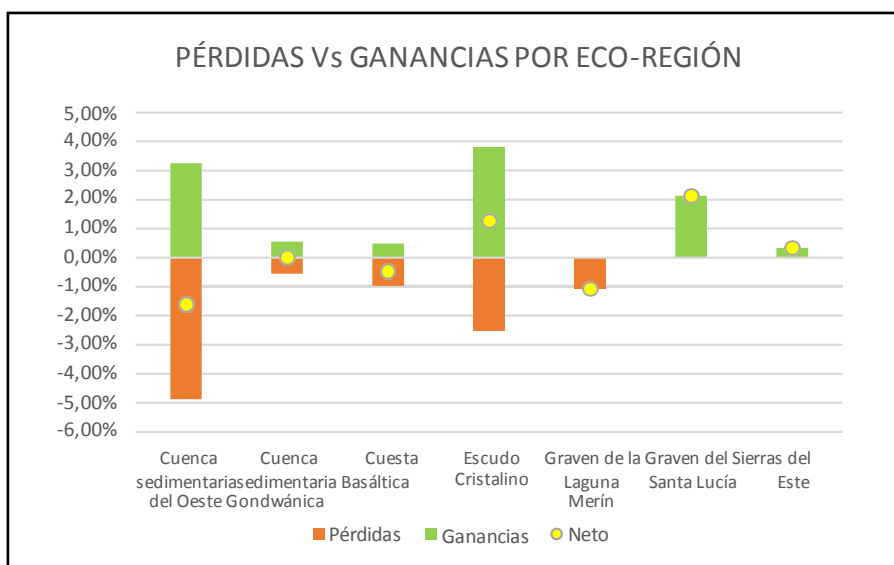
Por otro lado, la matriz permite observar cambios de Subdivisión dentro de la categoría Tierras Forestales, como es el caso del cambio de subdivisión, donde se pasa de algún tipo de Bosque Nativo a la subdivisión Mezcla de especies (Nativo y Exóticas). En el caso del Serrano, si bien presenta un aumento de superficie y no presenta pérdidas, se ve afectado por otro lado por posibles procesos de degradación, donde el 2,53% del Bosque Nativo Serrano pasó a Mezcla de Especies (Nativo y Exóticas), por lo que en términos globales se tiene que se conserva el 97,5% del mismo.

	SubDivisión 2016														
SubDivisión 2000	Anuales	Arroz	Bosque Nativo Fluvial	Bosque Nativo Palmar	Bosque Nativo Parque	Bosque Nativo Quebrada	Bosque Nativo Serrano	Campo Natural	Mezcla de Especies (Nativo y Exóticas)	Pasturas Implantadas	Psamófilo	Represa	Rotación Arroz-Pastizal	Rotación Cultivo de Secano-Pastizal	Total general
Anuales	58,50%	0,40%	0,00%	0,00%	0,20%	0,00%	0,00%	0,81%	0,00%	46,56%	0,00%	0,20%	0,40%	9,92%	100,00%
Bañado	0,00%	0,00%	0,28%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,28%	0,00%	0,28%	0,00%	0,28%	0,28%	0,00%	100,00%
Bosque Nativo Fluvial	0,67%	0,00%	97,73%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%	0,93%	0,13%	0,00%	0,13%	0,13%	0,13%	100,00%
Bosque Nativo Palmar	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Bosque Nativo Parque	0,91%	0,91%	0,00%	0,00%	92,73%	0,00%	0,00%	0,91%	0,00%	2,73%	0,00%	0,00%	0,00%	1,82%	100,00%
Bosque Nativo Quebrada	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Bosque Nativo Serrano	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	97,47%	0,00%	2,53%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Campo Natural	2,99%	0,06%	0,02%	0,00%	0,05%	0,00%	0,02%	87,63%	0,16%	4,39%	0,00%	0,15%	0,68%	4,00%	100,00%
Mezcla de Especies (Nativo y Exóticas)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	98,73%	1,27%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
No conocido-Pastizales	7,14%	2,38%	2,38%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,38%	14,29%	0,00%	2,38%	7,14%	21,43%	100,00%
Pasturas Implantadas	16,54%	0,67%	0,00%	0,00%	0,09%	0,00%	0,00%	0,27%	0,00%	62,75%	0,00%	0,04%	3,00%	16,72%	100,00%
Psamófilo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%

Tabla 7. Matriz de cambio acumulado a nivel de subdivisión entre 2000 – 2016, en porcentaje.

3.2.1. ANÁLISIS TERRITORIAL

El análisis territorial permite analizar cómo se distribuye la pérdida y la ganancia examinando su distribución por Eco-Regiones. El gráfico 7 se construye en base a las parcelas de muestreo de Bosque Nativo que se encuentra en cada Eco-región en el 2000. De esta forma podemos hacer un análisis dentro de la Eco-región, pero no son comparativas entre sí, ya que el número de parcelas de Bosque Nativo en cada Eco-región es distinto. Por esto, el cambio en una parcela no tiene el mismo peso o incidencia en el porcentaje de cambio (pérdida o ganancia) de cada Eco-región. Por ejemplo, las Eco-regiones Graven del Santa Lucía o el Cristalino tienen un número bajo de parcelas. Por lo que una parcela que presente cambio en estas, va a tener mayor incidencia en el porcentaje de cambio final, que en otras Eco-regiones.



Gráfica 7. Pérdida y ganancia acumuladas porcentuales de Bosque Nativo por Eco-Región (2000 – 2016).

En este sentido, se observa que la Cuenca sedimentaria del Oeste concentra la mayoría de las pérdidas que se dan en el Bosque Nativo, mientras que en Graven de Santa Lucía, Escudo Cristalino y Sierras del Este se dan pequeños procesos de ganancia de superficie.

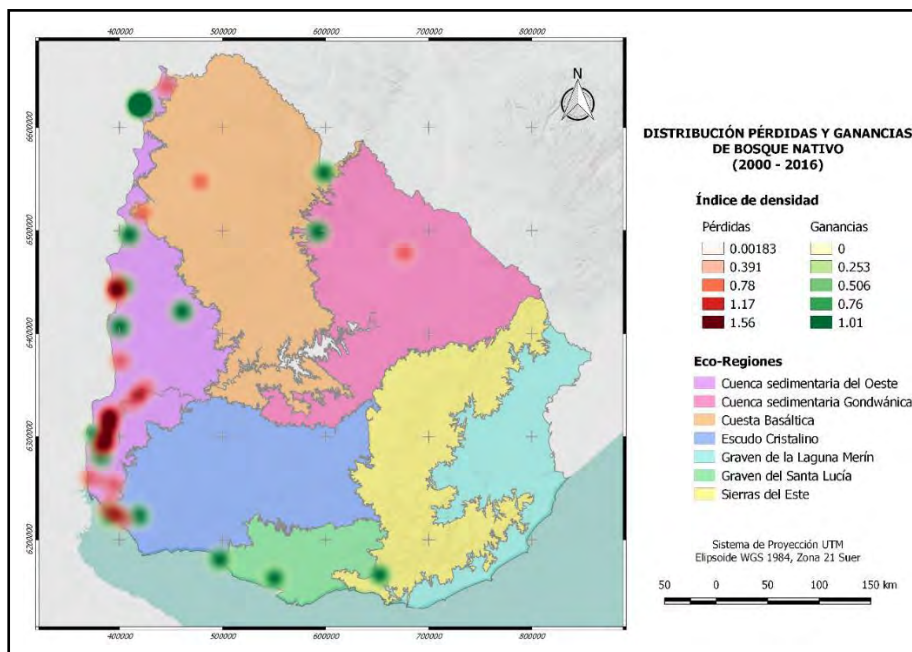


Figura 5. Índice de densidad de pérdida y ganancia por Eco-Región (2000- 2016).

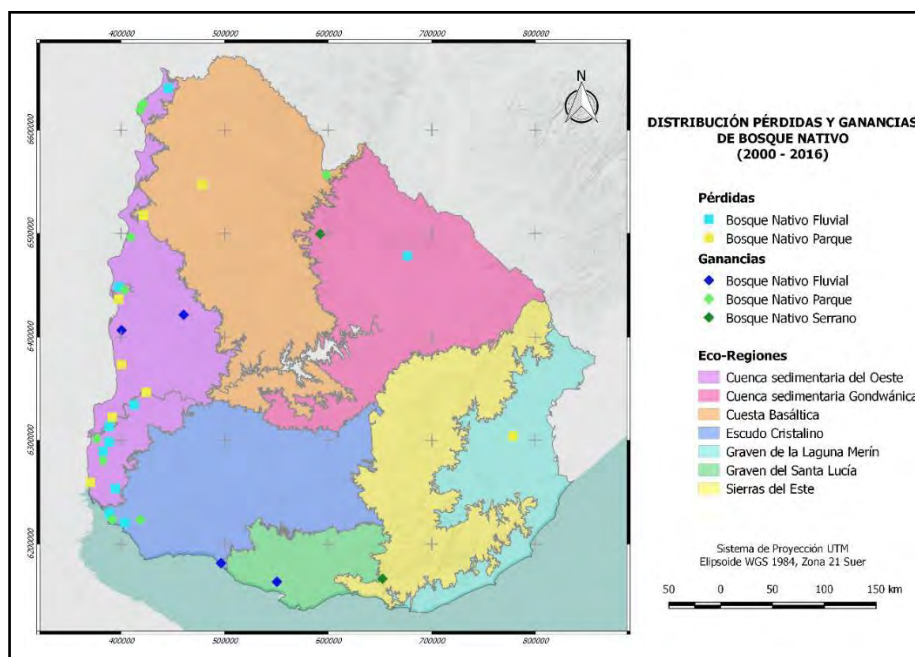


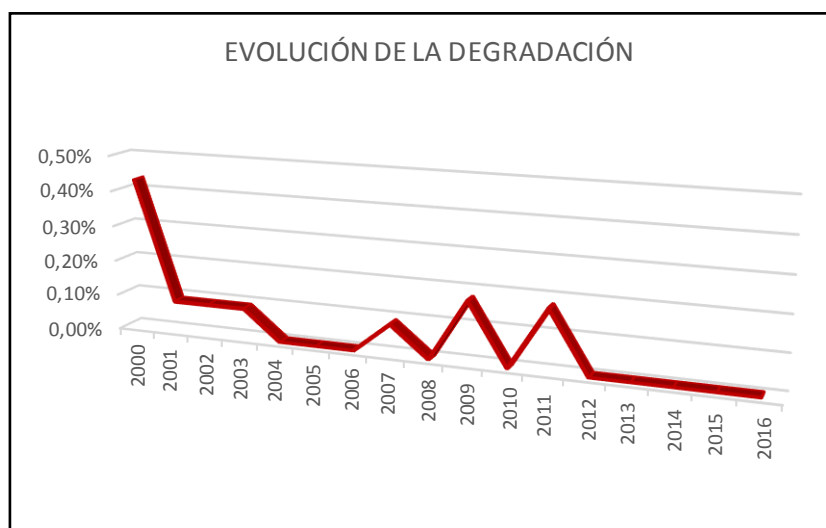
Figura 6. Distribución de parcelas de pérdida y ganancia por tipo de Bosque Nativo y Eco-Región.

Por otro lado, si analizamos lo que sucede por cada tipo de Bosque Nativo asociado a los departamentos, vemos que las pérdidas del Bosque Nativo Fluvial se concentran en los departamentos de Soriano y Colonia y las del Bosque Nativo Parque en el departamento de Río Negro y Salto. En cuanto a las ganancias se observa que se concentran en los departamentos de Paysandú y Artigas.

3.3. ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN

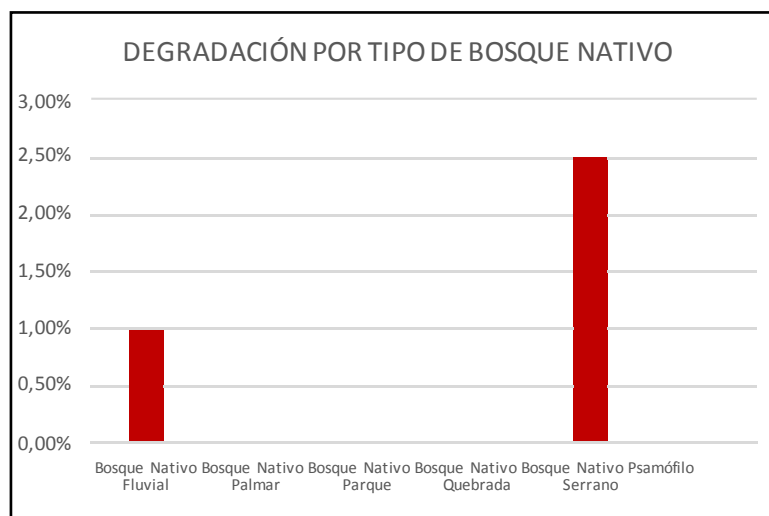
La degradación que se analiza a continuación refiere únicamente a parcelas cuya clasificación cambió de Bosque Nativo a Mezcla de Especies (Nativas y Exóticas), consecuencia del establecimiento de plantaciones comerciales, sin que necesariamente generen una pérdida de cobertura del Bosque Nativo. En ningún caso hace referencia a invasión por exóticas como pueden ser *Ligustrum sp.* o *Gleditsia triacanthos*, ni a otros procesos de degradación como pueden ser incendios o cortas que podrían ser detectadas con esta herramienta.

En cuanto a los casos de degradación de este tipo, debido a los cambios que encontramos donde el Bosque Nativo pasa a registrarse como Mezcla con especies exóticas, se observa que dichos cambios empiezan a aparecer en el año 2000, por lo que se toma como base para el análisis el uso inicial de las parcelas, donde tenemos 1.159 parcelas de Bosque Nativo previas año 2000. De estas parcelas solo 13 presentan este cambio, lo que representa el 1,12%. Mientras que de las 46 parcelas que presentaron algún tipo de cambio en todo el periodo, el 28 % se debieron a degradación. A su vez, se observa que la mayoría de estos cambios tuvieron lugar en el año 2000 y tras un descenso en los años siguientes vuelven a aumentar, aunque en menor escala, entre el 2009 y 2011.



Gráfica 8. Degradación anual entre los años 2000 y 2016 en porcentaje.

Si se analiza la degradación y observamos el número de muestras de Bosque Nativo en cada subtipo (Gráfica 9), se observa que el Bosque Nativo Serrano y el Fluvial son los tipos de bosque que presentan degradación, registrando un porcentaje de 2,53% y 0,93% respectivamente. Estos se concentran principalmente en los departamentos de Rocha y Rivera y en menor medida en Lavalleja y Cerro Largo.



Gráfica 9. Degradación por tipo de Bosque Nativo (2000 – 2016).

En la siguiente tabla se muestra que el error relativo de las estimaciones de degradación, es alto y en el caso del fluvial se encuentran por encima del 100%. Es decir, que con estos resultados no es posible afirmar que el área de degradación es estadísticamente significativa, con una confianza del 95%.

Tipo de Bosque	Área (ha)	Porcentaje	Límite Inferior 95%	Límite Superior 95%	Err. Relativo
Fluvial	6.300	0,93	0,24	1,61	73,7%
Serrano	5.400	2,53	0,53	4,51	78,9%

Tabla 8: Área y porcentaje de degradación por tipo de Bosque.

Por otro lado, el análisis por Eco-Regiones muestra que la mayoría de procesos de degradación se concentran en la Cuenca sedimentaria Gondwánica (2,72%) y en las Sierras del Este (2,31%).

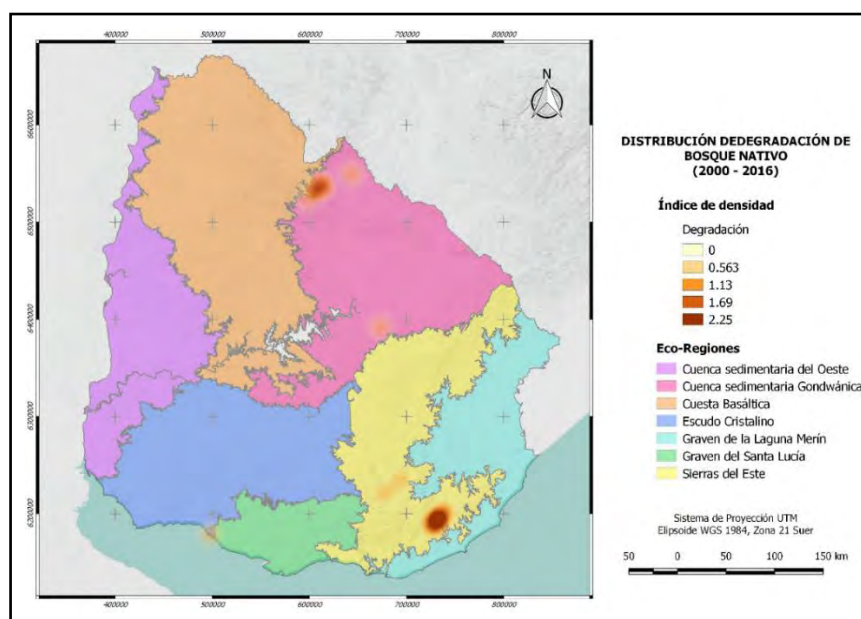


Figura 9. Distribución de la degradación por Eco-Región (2000 – 2016).

4. CONCLUSIONES

En base al análisis de los datos generados con la herramienta Collect Earth, observamos que las estimaciones de los usos del suelo son válidas estadísticamente, presentando para el Bosque Nativo una superficie estimada de 1.023.300 ha con un error relativo de 5,6%, coherente con la cartografía de Bosque Nativo Nacional obtenida por medio de una clasificación supervisada de escenas de Sentinel 2. A su vez, esta herramienta puede ayudar a estimar la dinámica asociada al Bosque Nativo permitiendo afirmar con un error de 28,8% que el 3,9% del Bosque Nativo del Uruguay ha sufrido algún tipo de cambio entre el 2000 y el 2016. De estos cambios un 2,7% son por pérdida o degradación mientras que un 1,3% es por expansión.

El Bosque Nativo Fluvial y de Parque son los tipos que presentan mayores pérdidas, principalmente por sustitución con Tierras de Cultivo y Pasturas Implantadas. La pérdida de superficie del Bosque Nativo Fluvial se puede explicar por la expansión de la agricultura de secano, debido a factores nacionales e internacionales que indujeron al aumento del área sembrada.

El análisis por Eco-Regiones muestra que la mayor pérdida neta total sucede en la Cuenca sedimentaria del Oeste (4,88%) afectando principalmente al Bosque Nativo Fluvial, donde se ubican tipos de suelo de alta fertilidad y gran potencial productivo, en relación al promedio del país.

Por otra parte, se observa que el Bosque Nativo de Quebrada no presentan cambios en el período de referencia por lo que se entiende que la magnitud de su superficie se encuentra estable. El Bosque Nativo Palmero y Psamófilo, si bien tampoco presentan cambios, no podemos afirmar con exactitud que se encuentren estables debido a que presentan muy pocas muestras debido a su escasa distribución geográfica.

Por otro lado, las ganancias de Bosque Nativo se concentran en Paysandú y Artigas (Parque y Fluvial) y en menor medida en Maldonado y Tacuarembó (Serrano). En este sentido también se observan ganancias en el Bosque Nativo Parque en Colonia y Soriano, donde por otro lado se registran la mayoría de pérdidas y la presencia de Especies Exóticas Invasoras. Por lo tanto, no podemos descartar que la ganancia en estos casos no esté asociada a la expansión de EEI en asociación con especies nativas.

El análisis permite sacar algunas conclusiones respecto a la degradación, pero es importante destacar que el diseño del formulario para la obtención de datos no tenía el objetivo estudiar la degradación en sentido amplio. Sin embargo, el formulario utilizado y el análisis posterior de los datos permitió inferir la pérdida de calidad del Bosque Nativo.

El Bosque Nativo Serrano es el que presenta mayor presencia de degradación por las plantaciones comerciales de especies forestales no nativas debido a la poca distancia con el límite del Bosque Nativo, proceso que también se encuentra en el Bosque Nativo Fluvial. Como es de esperar, se concentra en la Cuenca Sedimentaria Gondwanica y en las Sierras del Este (departamentos de Rivera y Rocha), en donde la forestación comercial ha tenido un fuerte desarrollo en la última década.

Este tipo de degradación condiciona la dinámica natural del Bosque Nativo, interfiere con la superficie potencial de expansión y genera fragmentación del ecosistema boscoso. Si bien, en el artículo 10 del Decreto n° 849/988 de 1989 sobre Disposiciones Relativas al Combate de Incendios Forestales, se especifica que se mantenga una distancia de 20 metros de ancho como

mínimo con el Bosque Nativo, muchas veces no se cumple y existe competencia interespecífica. Por ejemplo, especies comerciales que generan sombra sobre las especies nativas, por la clara diferencia de altura que desarrollan.

En resumen, los datos de Collect Earth son una aproximación que genera información de relevancia sobre la dinámica del bosque y la interacción con los sistemas productivos más importantes a nivel país. Si bien las estimaciones son significativamente distintas de cero al 95% de confianza, en la mayoría de los casos el tamaño de muestra no es suficiente para realizar afirmaciones precisas (con un margen de error bajo) sobre la magnitud de los cambios. Es decir, la herramienta de monitoreo es interesante y permite identificar cambios dentro del Bosque Nativo, pero sería útil adaptar la metodología para lograr una mejor representatividad. Por ejemplo, para mejorar la expansión de las parcelas y los cálculos de superficies asociadas, se podría realizar un muestreo estratificando por tipo de Bosque Nativo y así bajar la incertidumbre asociada. Otro ajuste posible sería la modificación del formulario para identificar otros ejemplos de degradación, como la invasión por exóticas como *Ligustrum sp.* o *Gleditsia triacanthos*.

A los efectos del proyecto REDD+, este análisis es un primer paso para estudiar la dinámica del Bosque Nativo en el Uruguay. Este paso está siendo complementado en el marco del proyecto REDD+ con la elaboración de un mapa multitemporal que nos permitirá, con mayor confianza, establecer cuáles han sido los procesos de cambio en el bosque nativo en el periodo 2000 a 2016.

5. BIBLIOGRAFÍA

Adia Bey [et al.], 2015. ***Collect Earth User Manual: A guide to monitoring land use change and deforestation with free and open-source software***. Roma. FAO - Open Foris Initiative.

Adia Bey [et al.], 2016. ***Collect Earth: Land Use and Land Cover Assessment through Augmented Visual Interpretation***. Remote Sensig.

Andrés Castagna, 2018. ***Informe de depuración y análisis de la base de datos generada por el relevamiento de Usos de la Tierra y Cambios en el Uso de la Tierra (LULUCF) en Uruguay, a través de Collect Earth para el período 2000 – 2016 y construcción de la matriz de uso y cambio de uso 2012 – 2014***. Proyecto URU/18/G31. Montevideo.

MGAP – MVOTMA, 2017. ***Informe de finalización del relevamiento de Usos de la Tierra y Cambios en el Uso de la Tierra (LULUCF) en Uruguay, a través de Collect Earth para en el período 2000 – 2016***. Montevideo

Eduardo Errea [et al.], 2011. ***Transformaciones en el agro uruguayo: nuevas instituciones y modelos de organización empresarial***. Montevideo. Universidad Católica del Uruguay.

DIEA, 2016. ***Anuario Estadístico Agropecuario***. Montevideo. MGAP