



INSTITUTO
FORESTAL
NACIONAL

TETÃ REKUÁI
GOBIERNO NACIONAL
Jajapo nande raperá ko'ágá guive
Construyendo el futuro hoy

Proyecto “Colaboración para los Bosques y la Agricultura”

INFORME TÉCNICO DE CONSULTORÍA

Producto final: Descripción de procesos y métodos utilizados para la reclasificación de “Tierras de cultivo” a “Cultivos Agrícolas”, “Pasturas implantadas” y “Mosaico Agropecuario” de todo el territorio nacional, periodo 2000-2016.

Carlos Antonio Giménez Larrosa

Asistente de Sensores Remotos para apoyo al Sistema Satelital de Monitoreo Terrestre en el Instituto Forestal Nacional

Marzo - 2018

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.....	3
2.2 Categorías definidas por el IPCC	3
2.3 Teledetección.....	4
2.4 Imágenes satelitales	4
2.5 Programa Landsat	5
2.6 Landsat 5 TM	6
2.7 Landsat 8	7
3. METODOLOGÍA.....	8
3.1 Materiales de la línea de base	8
3.2 Materiales utilizados.....	9
3.3 Descripción de los procesos ejecutados	11
3.3.1 Configuración y establecimiento del ambiente de trabajo en la interfaz del software	11
3.1.2 Selección y extracción de datos para la generación de capas editables para los periodos comprendidos entre el 2000 y 2015	12
3.1.3 Generación de capas editables periodo 2015-2016.....	13
3.1.4 Adición y edición de campos a utilizar	14
3.3.3 Inspección visual y reclasificación.....	14
4. RESULTADOS	21
4.1. Clases de cambios IPCC 2000-2016 del Paraguay.....	21
5. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES	31
6. CONCLUSIONES.....	32
7. BIBLIOGRAFÍA	33
ANEXOS	33

1. INTRODUCCIÓN

El rol de los bosques en el ciclo global del carbono es fundamental, ya que funcionan como depósitos de carbono, pero cuando son reemplazados por otros usos este carbono es liberado a la atmósfera contribuyendo al efecto invernadero y al calentamiento global (Gasparri 2010). Sin embargo, la problemática generada por la deforestación y degradación de bosques es bastante compleja, pues en estos se da una variedad de procesos, de los cuales dependen la biodiversidad y consecuentemente la calidad de vida humana asociada a los servicios y beneficios sustentados por los mismos.

Según la FAO 2000, la deforestación se define como “la conversión de bosques a otro uso de la tierra la reducción a largo plazo de la cubierta forestal por debajo del 10%”. Esta definición implica que la pérdida debe ser permanente y que el sitio ha cambiado a otro tipo de uso (agricultura, pastizales, presas, o áreas urbanas).

Según datos recientes sobre el cambio de la cobertura forestal mundial, los bosques tropicales secos de América del Sur tuvieron la tasa más alta del mundo de pérdida de bosques tropicales entre 2000 y 2012, debido a la deforestación en el Chaco del Paraguay, Argentina y Bolivia (Walcott et al. 2015).

De acuerdo con el mapa de cambios de cobertura forestal, Paraguay tenía 20.220.200 ha de bosque en el año 1990 cifra que disminuyó a 17.674.124 ha para el año 2000 (Huang et. al. 2009). El Programa Nacional Conjunto ONU-REDD+ Paraguay junto con el Instituto Forestal Nacional a través del Sistema Satelital de Monitoreo (SSMT) Terrestre ha registrado una superficie total de cambios de 5.631.310 ha para el periodo 2000-2015 en todo el territorio nacional (PNC ONU-REDD+, 2016).

Estos datos arrojan un 31,86 % de conversión de la superficie total de tierras forestales a otros usos en un periodo de 15 años, con un promedio anual de 374.420 ha de conversión tomando como referencia el año 2000. Estas informaciones destacan un alarmante proceso de deforestación que se da sobre todo el territorio nacional, pero con mayor intensidad en la Región Occidental.

El proyecto “Colaboración para los Bosques y la Agricultura” tiene como objetivo, fomentar la coordinación y desarrollar herramientas para crear un ambiente propicio, donde los líderes del mercado puedan desarrollar e implementar compromisos hacia la producción sostenible de carne y soja en el Amazonas, Cerrado y Chaco en Brasil, Argentina y Paraguay; disminuyendo la deforestación.

La presente consultoría es ejecutada a fin de brindar apoyo a las actividades que realiza el INFONA y tienen incidencia en los logros de los resultados del proyecto, como la operatividad de la Dirección del Sistema Nacional de Información Forestal (DSNIF) donde reside el Sistema Satelital de Monitoreo Terrestre (SSMT), para realizar el monitoreo constante de la dinámica de cambio de la cobertura.

Este documento constituye un informe técnico en el cual se presenta a detalle, los procesos y métodos utilizados para la reclasificación de “Tierras de cultivo” (adaptado de IPCC 2003) a “Pasturas implantadas” y “Tierras de cultivo” de todo el territorio Nacional, periodo 2000-2016.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático “*Intergovernmental Panel on Climate Change*” (IPCC, por sus siglas en inglés), es un órgano internacional científico que examina y evalúa la más reciente bibliografía científica, técnica y socioeconómica relacionada con la comprensión del cambio climático y producida en todo el mundo. El IPCC no lleva a cabo investigación alguna ni supervisa los datos o parámetros relativos al clima (IPCC 2017).

2.2 Categorías definidas por el IPCC

La Guía de Buenas Prácticas del IPCC (IPCC 2003), define seis clases que forman base la base de la estimación y reporte de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero derivadas de las activadas de uso del suelo y de los cambios de uso del suelo. Las principales categorías de tierra sobre los inventarios de gases de efecto invernadero (GEI) se detallan como sigue:

Cuadro 1. Categorías del uso de la tierra según IPCC 2003.

Categoría	Breve descripción
Tierras forestales	Toda tierra con vegetación leñosa e inferiores que se espera lleguen a al umbral.
Tierras agrícolas	Tierras de cultivo, labranza y sistemas agroforestales que no lleguen al umbral utilizado para la categoría de tierra forestal

Categoría	Breve descripción
Praderas	Pastizales y tierras de pastoreo que no se consideren tierras agrícolas, además de tierras inferiores al umbral de tierra forestal y que no se espera que rebase.
Humedales	Tierra saturada por agua durante la totalidad o parte del año
Asentamientos	Tierra desarrollada, infraestructura de transporte y asentamientos humanos de todo tamaño.
Otras tierras	Suelo desnudo, roca, hielo y otras tierras no gestionadas que no entran en las categorías anteriores.

Fuente: IPCC 2003.

2.3 Teledetección

Constituye una técnica por medio de la cual se obtiene información útil de un objeto, área o fenómeno, a través del análisis e interpretación de datos de imágenes adquiridas por un equipo que no está en contacto físico con, el objeto, área o fenómeno bajo investigación (IGAC 2007).

Olaya (2011) menciona que la teledetección es una fuente de datos primordial en los SIG, y el verdadero aprovechamiento de los productos actuales de la teledetección solo se da con el concurso de los SIG y sus capacidades de análisis y manejo de datos.

2.4 Imágenes satelitales

León (2002) indica que las imágenes satelitales registran la energía electromagnética de manera electrónica. Estas imágenes están conformadas por cuadros del mismo tamaño llamados píxeles, y que representan la brillantez de cada cuadro correspondiente al terreno mediante un valor numérico o digital (que representa la variación o cuadritos de una imagen forman una malla o raster).

El mismo autor cita alguna de las principales ventajas de las imágenes satelitales como sigue:

- Rapidez, tanto en la periodicidad de la adquisición de nueva información, como en la obtención de la misma por el usuario.
- Bajo costo, sobre todo si se trata de estudiar áreas de gran extensión, ya que en general, las imágenes satelitales son más baratas que la toma de fotos aéreas.
- Accesibilidad a lugares remotos.
- Se pueden realzar características especiales.
- Periodicidad, cada satélite vuelve a pasar por la misma zona en un periodo determinado de tiempo.

2.5 Programa Landsat

El IGAC (Instituto geográfico Agustín Codazzi) 2007, menciona que en julio de 1972 el National Aeronautics and Space Administration (NASA) lanzó el primero de los satélites de observación terrestre, conocidos como Landsat. Desde entonces han sido lanzados 7 más, los primeros conocidos bajo el nombre de Landsat 1, 2, 3, transportaron la tecnología MSS (Multispectral Scanner System), los dos posteriores, Landsat 4 y 5, incorporaron el sensor Thematic Mapper (TM). El Landsat 6 incorporó un sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM) el cual tuvo un lanzamiento fallido en octubre del 1993, finalmente el Landsat 7, lanzado en abril de 1999, tiene un sensor a bordo llamado Enhanced Thematic Plus (ETM+).

Landsat 1,2, 3 estaban equipados con dos instrumentos: un sistema de cámaras llamado Return Beam Vidicon (RBV) y el sensor (MSS). Se suponía que el RBV debía ser el instrumento de mayor relevancia, pero los datos del MSS fueron encontrados superiores (USGS 2013).

Las imágenes Landsat están compuestas por 7 u 8 bandas espectrales, que al combinarse producen una gama de imágenes de color que incrementan notablemente sus aplicaciones. Dependiendo del satélite y el sensor se incluye un canal pancromático y/o uno térmico, así mismo las resoluciones espaciales varían de 15, 30, 60 y 120 m (INEGI s.f.).

Cuadro 2. Características generales de los satélites del programa Landsat.

Satélite	Sensor	Lanzamiento (Fin de operación)
Landsat 1	RBV	23/07/72
	MSS	
Landsat 2	RBV	22/01/75
	MSS	
Landsat 3	RBV	05/03/78
	MSS	
Landsat 4	MSS	16/07/82 Año 1983
	TM	
Landsat 5	MSS	01/03/1984 05/06/2013
	TM	
Landsat 6	ETM Lanzamiento fallido	05/10/93 05/10/93
Landsat 7	ETM +	15/04/99
Landsat 8	OLI	02/2013
	TIRS	

Fuente: Elaboración propia en base a USGS (2013).

2.6 Landsat 5 TM

El satélite Landsat 5 fue lanzado el 1 de marzo de 1984 y dado de baja el 5 de junio de 2013, convirtiéndose así en el satélite de observación de la Tierra que más tiempo ha estado operativo. Sus aplicaciones se extienden a campos como la detección de cambios globales, agricultura, calidad del agua y administración de recursos (Geocento 2015).

Cuadro 3. Características del Satélite LANDSAT-5.

Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución (metros)
Banda 1 – Azul	0.45 - 0.52	30
Banda 2 – Verde	0.52 – 0.60	30
Banda 3 – Rojo	0.63 – 0.69	30
Banda 4- Infrarrojo cercano 1	0.76 – 0.90	30
Banda 5 – Infrarrojo cercano 2	1.55 – 1.75	30
Banda 6 – Infrarrojo cercano medio	10.4 – 12.5	120
Banda 7 – Infrarrojo térmico	2.08 – 2.35	30

Fuente: USGS (2013).

2.7 Landsat 8

El Landsat 8 fue lanzado en febrero del 2013 y declarado operacional en mayo de mismo año, fecha en la que la NASA cede el control al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) quien se encarga del control del satélite, la generación y el almacenamiento de los datos (USGS 2013).

Según el mismo autor el LANDSAT 8 incorpora dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI), y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS). Las imágenes LANDSAT 8 obtenidas por los sensores (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda 1 (azul-profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda 9 es útil para la detección de cirrus, la banda 8 (pancromática) posee una resolución de 15 m, las bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 m de resolución.

Cuadro 4. Características del Satélite LANDSAT-8.

Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución (metros)
Banda 1 – Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
Banda 2 – Azul	0.45 – 0.51	30
Banda 3 – Verde	0.53 – 0.59	30
Banda 4- Rojo	0.64 – 0.67	30
Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 – 0.88	30
Banda 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Banda 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Banda 8 – Pancromático	0.50 – 0.68	15
Banda 9 - Cirrus	1.36 – 1.38	30
Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
Banda 11 – Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

Fuente: USGS (2013).

3. METODOLOGÍA

3.1 Materiales de la línea de base

A fin de elaborar el ‘Mapa de cambios IPCC del Paraguay para los períodos 2000-2005-2011-2013-2015-2016’, fueron adaptados los criterios definidos por el documento ‘Guía de Buenas Prácticas del IPCC 2003’, los cuales se refieren a seis clases correspondientes a categorías de uso de suelo. A partir de dichas clases el INFONA definió las categorías generales de uso de la tierra, así como también las categorías de cambio de uso las cuales se detallan en el cuadro 5 (INFONA 2014).

Cuadro 5. Categorías de cambio de uso.

Categoría de cambio	Breve descripción
Cobertura forestal a Tierra de cultivo	Cambios que se dan en una cobertura forestal definida a tierras de cultivo y labranza incluyéndose aquellas tierras destinadas a actividades ganaderas.
Cobertura forestal a Asentamientos humanos	Cambios que se dan en una cobertura forestal definida a toda tierra desarrollada, con inclusión de infraestructuras de transporte y asentamientos de todo tamaño.
Cobertura forestal a Humedales	Cambios que se dan de una cobertura forestal definida a tierras cubiertas o saturadas por agua durante la totalidad o parte del año.
Cobertura forestal a Otras tierras	Aquellos cambios que se dan de una cobertura forestal definida a principalmente áreas no gestionadas que no entran dentro de ninguna de las categorías mencionadas.
Campos naturales a Humedales	Pastizales naturales o campos naturales a humedales
Humedales a tierras de cultivo	Cambios de tierra cubierta o saturada por agua durante la totalidad o parte del año a tierras agrícolas.

Fuente: Elaboración propia en base a INFONA (2014).

Para la elaboración del mencionado mapa fueron generados los archivos vectoriales para cada periodo, utilizando la metodología combinada de clasificación de coberturas de la tierra (mediante muestras de entrenamiento y agrupación de píxeles

basados en su respuesta espectral) para lo cual fue empleada la plataforma Google Earth Engine (GEE), procedimientos de segmentación utilizando el software Monteverdi y cálculos de estadísticas de zonas, mediante el cálculo de “mayoría” por segmentos utilizando el software ArcGIS (PNC ONU REDD+ 2015).

Cabe mencionar que, para la clasificación de coberturas realizadas en dicho trabajo, fueron descargadas imágenes clasificadas mediante GEE y fue elaborado un mosaico multitemporal, en donde las imágenes consideradas fueron de un porcentaje de nubes menor al 10 %. Las imágenes seleccionadas corresponden a un mosaico de 9 bandas para los años 2000, 2005 y 2011; 2011, 2013 y 2015. Fueron utilizadas 3 bandas por año; RGB: 5, 4, 3 para el periodo 2000-2013 en función a las características de las imágenes Landsat 5 (PNC ONU REDD+ 2015). Así también a partir del año 2015 fueron utilizadas imágenes del satélite Landsat 8 con una configuración RGB: 5, 6,4.

3.2 Materiales utilizados

Para la reclasificación de la categoría ‘Tierras de cultivo’ a ‘Pasturas implantadas’ y ‘Cultivos agrícolas’, fueron utilizados los shapefiles del Mapa de Cambios correspondiente a los periodos 2000-2005, 2005-2011, 2011-2013. 2013-2015. Sin embargo, para el periodo 2015-2016 fue necesaria la clasificación directa de los cambios según la metodología utilizada para los periodos anteriores con la diferencia de que fueron añadidas las clases correspondientes a la diferenciación de ‘Tierras de cultivo’ en ‘Pasturas implantadas’, ‘Cultivos agrícolas’ y ‘Mosaico agropecuario’. La reclasificación de las coberturas fue realizada en base a los mosaicos mencionados anteriormente.

Adicionalmente se utilizó el programa Google Earth Pro, el cual cuenta con imágenes satelitales de alta resolución con amplia variación temporal, así como también el mapa base (Base Map) del software ArcGIS el cual cuenta con las mismas características, teniendo en cuenta siempre aquellas imágenes que correspondían al periodo estudiado de manera a verificar zonas que puedan presentar un mayor grado de dificultad en la identificación de coberturas.

El software utilizado para la reclasificación fue ArcGIS, específicamente en su herramienta ArcMap 10.1, en donde fueron agregadas las capas de mosaico en formato raster y las capas vectoriales de la línea de base anteriormente mencionada. Además, se utilizó una grilla para dividir el territorio nacional en cuadrantes de 100x100 km a modo de facilitar el trabajo y la presentación de resultados. La Región Occidental se encuentra dividida en 34 cuadrantes según la grilla utilizada y la Región Oriental está dividida en 27 cuadrantes.

Los mosaicos utilizados fueron constituidos por imágenes que corresponden al Programa Landsat, en los cuadros 5 y 6 se detallan las imágenes por año, indicándose rango de fechas y bandas utilizadas para los períodos estudiados.

Cuadro 5. Imágenes Landsat utilizadas para el periodo 2000-2005-2011.

Satélite	Sensores	Año	Rango de fechas	Bandas
Región Occidental				
Landsat 5	MMS/TM	2000	01/01 al 30/09	4, 5, 3
		2005	01/01 al 30/11	
		2011	01/05 al 30/11	
Región Oriental				
Landsat 5	MMS/TM	2000	01/05 al 30/10	4, 5, 3
		2005	01/04 al 30/10	
		2011	01/04 al 30/10	

Fuente: PNC ONU REDD+ (2015).

Cuadro 6. Imágenes Landsat utilizadas para el periodo 2011-2013-2015-2016.

Satélite	Sensores	Año	Rango de fechas	Bandas
Región Occidental				
Landsat 5	MMS/TM	2011	01/05 al 30/11	4, 5, 3
		2013	01/06 al 30/11	
Landsat 8	OLI/TIRS	2015	01/05 al 30/11	5,6,4
		2016	06/16 a 08/16	
Región Oriental				
Landsat 5	MMS/TM	2011	01/04 al 30/10	4, 5, 3
		2013	01/05 al 30/10	
Landsat 8	OLI/TIRS	2015	01/03 al 31/12	5, 6, 4
		2016	06/16 a 08/16	

Fuente: PNC ONU REDD+ (2015).

3.3 Descripción de los procesos ejecutados

Es importante aclarar que los procesos descriptos adelante, fueron utilizados para la reclasificación tanto de la Región Occidental como de la Región Oriental. Es así que dichos procesos fueron replicados exactamente en la clasificación por separado de las dos regiones y para cada periodo a excepción del periodo 2015-2016 como se detallará posteriormente.

3.3.1 Configuración y establecimiento del ambiente de trabajo en la interfaz del software

Una vez agregadas las capas en ArcMap, se realizó una copia de la capa original de la línea de base la cual correspondían, en este caso, a los segmentos vectoriales del Mapa de Cambios de cada periodo y región (figura 1).

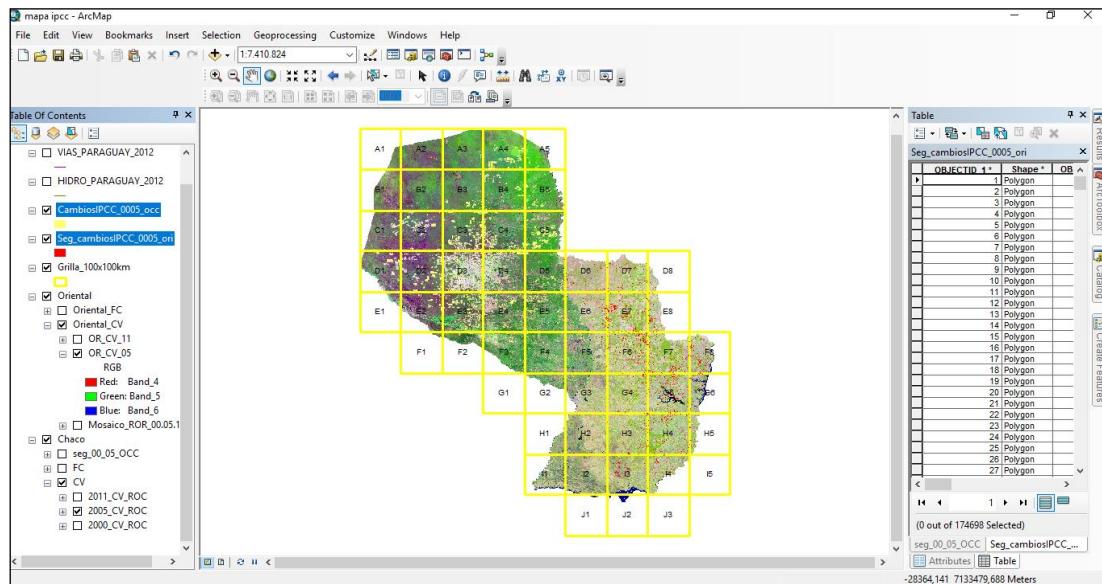


Figura 1. Imagen una vez agregadas las capas en la plataforma de ArcMap, software ArcGIS.

3.1.2 Selección y extracción de datos para la generación de capas editables para los períodos comprendidos entre el 2000 y 2015

Se procedió a la selección y extracción de los datos correspondientes a todos los registros de la clase “Cambios Cobertura Forestal a Tierras de cultivo 2000-2015” del campo “Clases_IPCC”, mediante la herramienta *Seleccionar por Atributos* y *Exportar datos* (figura 2).

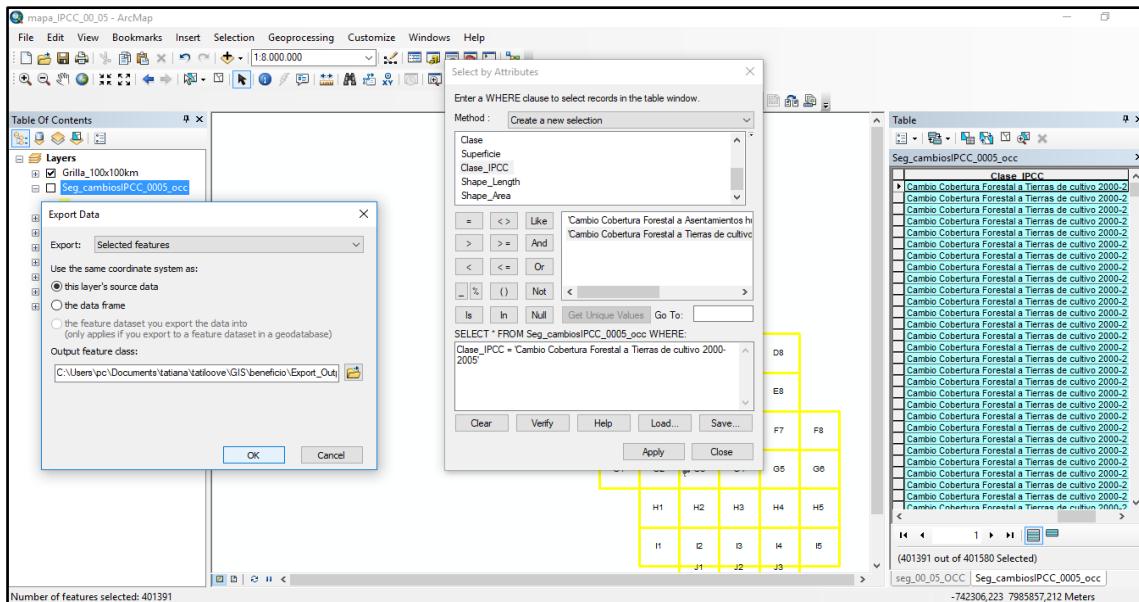


Figura 2. Imagen del proceso de selección, extracción de registros y creación de la nueva capa a partir de estos, Región Occidental.

Para el caso de la Región Oriental la selección y extracción de datos fue a partir de las clases ‘Cambios Cobertura Forestal a Tierras de cultivo 2000-2015’ y ‘Cambios Humedales a Tierras Cultivo 2000-2015’ (figura 3).

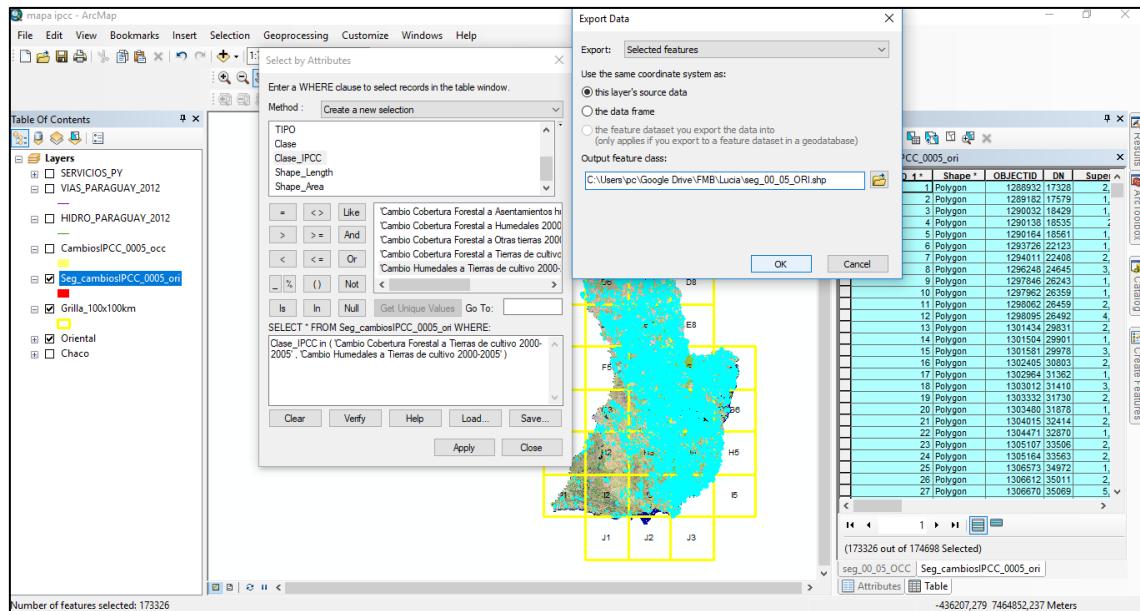


Figura 3. Imagen del proceso de selección, extracción de registros y creación de la nueva capa a partir de estos, Región Oriental.

A partir de los datos seleccionados fueron creadas las capas que contendrían exclusivamente, registros de la clase ‘Cambios Cobertura Forestal a Tierras de cultivo 2000-2015’ en el caso de la Región Occidental y para la Región Oriental registros de las clases ‘Cambios Humedales a Tierras Cultivo 2000-2015’ y ‘Cambios Cobertura Forestal a Tierras de cultivo 2000-2015’.

3.1.3 Generación de capas editables periodo 2015-2016

Para dicho periodo no se contaba con la clasificación de los cambios según la metodología IPCC 2003, por lo que, primeramente, se unificaron los segmentos correspondientes a los cambios según la clasificación de coberturas del territorio nacional, esto a causa de que los resultados de esta se dividen en las grillas mencionadas anteriormente, por lo que hay que unirlas a fin de obtener una capa para cada región.

La cobertura mencionada corresponde a ‘Bosque estable’, ‘No bosque estable’ y ‘Cambios’. Ésta última clase fue extraída para su edición y posterior clasificación dentro de las categorías del IPCC.

Se procedió a la selección de los datos de cada grilla, según el valor del campo ‘majority’, el cual en este caso, correspondía a ‘3’, valor de los cambios para el periodo. Posteriormente, los datos fueron exportados y fusionados mediante la herramienta ‘Merge’, para obtener finalmente la capa de cada región para el mencionado periodo.

3.1.4 Adición y edición de campos a utilizar

El trabajo de reclasificación fue realizado en esta etapa, la cual se centró principalmente en la edición de las capas generadas anteriormente. A la tabla de atributos de dichas capas fue agregado un nuevo campo nombrado “reclas”, en el cual se registraron los cambios de clasificación a medida que estos iban siendo verificados, de acuerdo al grado de dificultad que requería su identificación. Este proceso fue ejecutado idénticamente sobre las dos capas (figura 4).

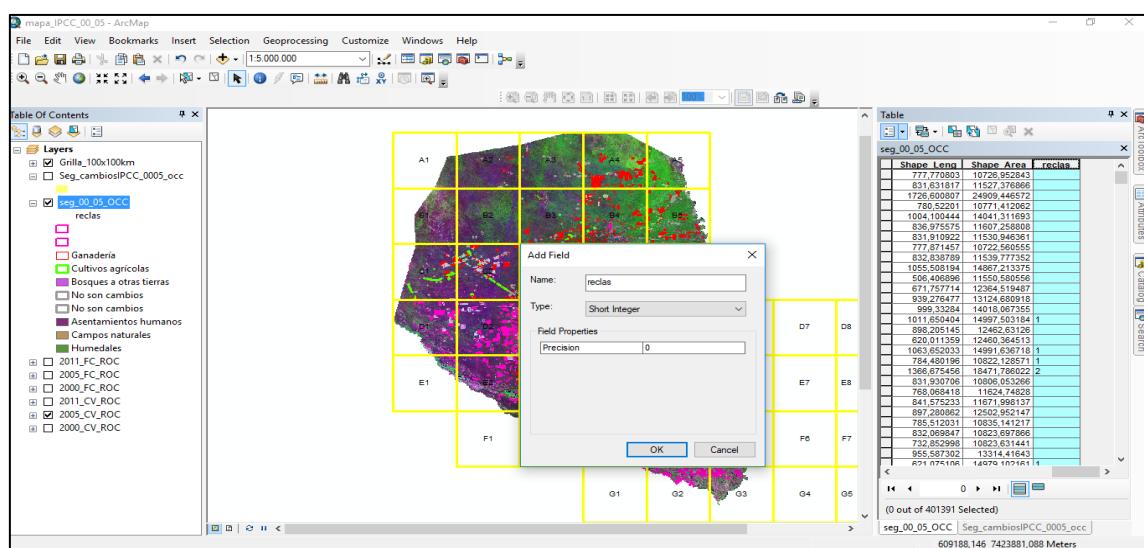


Figura 4. Imagen del proceso de edición de la capa ‘seg_05_11_OCC’ para la posterior reclasificación.

3.3.3 Inspección visual y reclasificación

Finalmente se procedió a la reclasificación propiamente dicha, en donde, el trabajo consistió en la interpretación visual de la clasificación original de la línea de base y la comparación con las imágenes satelitales de modo a verificar el cambio registrado y el uso actual al cual fue transformada la cobertura forestal.

Una vez verificado el cambio, se determinó el tipo al cual correspondía este con lo cual se procedió a la edición manual de los registros de la tabla de atributos mediante la herramienta *Editar características* (figura 5).

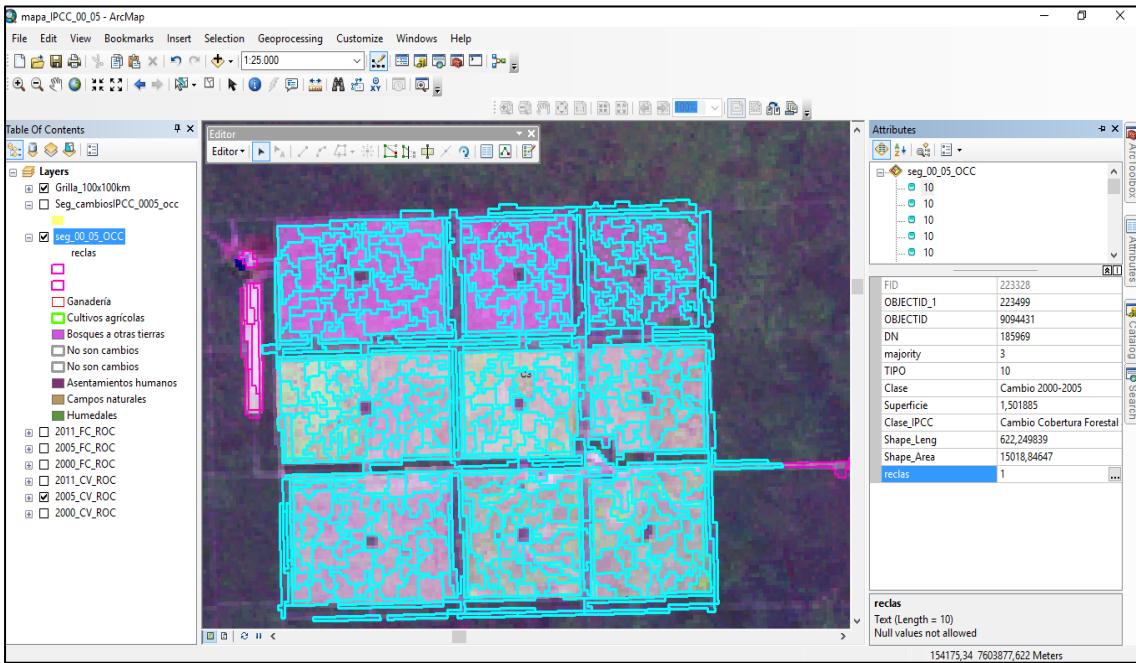


Figura 5. Imagen del proceso de verificación y reclasificación a ‘Pasturas implantadas’ Región Occidental.

Para la edición de los registros del campo “reclas” fueron asignados códigos del 1 al 8, los cuales corresponden a los tipos de cambios de cobertura identificados y fueron adaptados a partir de las categorías de cambio de uso utilizadas para elaborar la línea de base (Cuadro 6).

Cuadro 6. Códigos utilizados para la reclasificación según coberturas identificadas.

Categorías de Cambios – Campo ‘reclas’.	Código
Cambio Tierra Forestales a Pasturas implantadas	1
Cambio Tierras Forestales a Cultivos agrícolas	2
Cambio Tierras Forestales a Otras tierras	3
Cambios que no son cambios	4
Cambio Tierras Forestales a Asentamientos Humanos	5
Cambio Tierras Forestales a campos naturales	6
Cambio Tierras Forestales a Humedales	7
Cambio Tierras Forestales a Mosaicos agropecuarios	8

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6 Imagen satelital utilizada en el proceso de verificación y reclasificación a ‘Pasturas implantadas’ Región Occidental.

En la figura 6 se puede observar la forma y distribución de las tierras destinadas a ganadería, éstas adoptan generalmente formas de polígonos regulares en la región Occidental, con una distribución bastante ordenada en gran parte del territorio de la misma, aglomerándose en mayor medida en la zona del Chaco central.

En el caso de la región Oriental esta misma clase presenta una distribución menos ordenada y asimétrica, así también, no es tan común que adopten formas poligonales regulares, este tipo de tierras se concentra en los departamentos de Concepción y Amambay en el caso de la Región Oriental (figura 7).

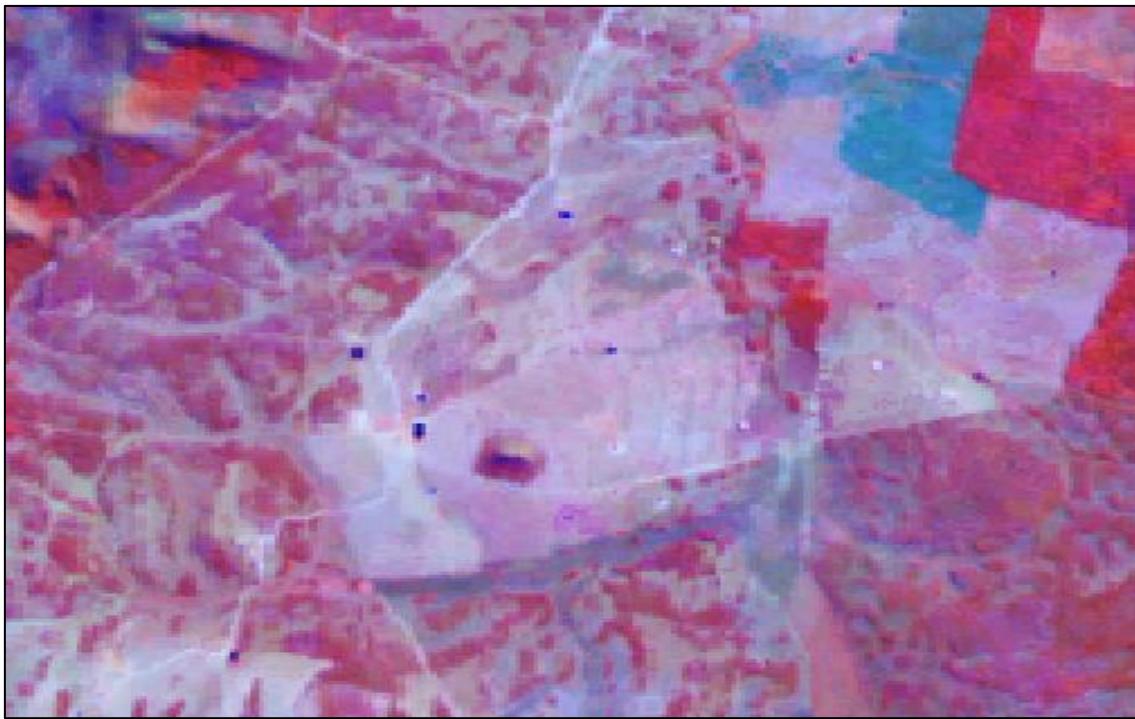


Figura 7. Imagen del proceso de verificación y reclasificación a ‘Pasturas implantadas’, Región Oriental.

En cuanto a los cultivos agrícolas, existen grandes diferencias entre las dos regiones en cuanto a la forma y tamaño, así como también, un enorme contraste entre las superficies habilitadas para cada región de esta clase de uso del suelo.

En general, en la región Occidental, la agricultura no presenta una gran extensión, en comparación con la ganadería. Es común encontrar a esta clase en el Chaco Central y bajo Chaco, principalmente en los departamentos de Boquerón y Presidente Hayes (figura 8).

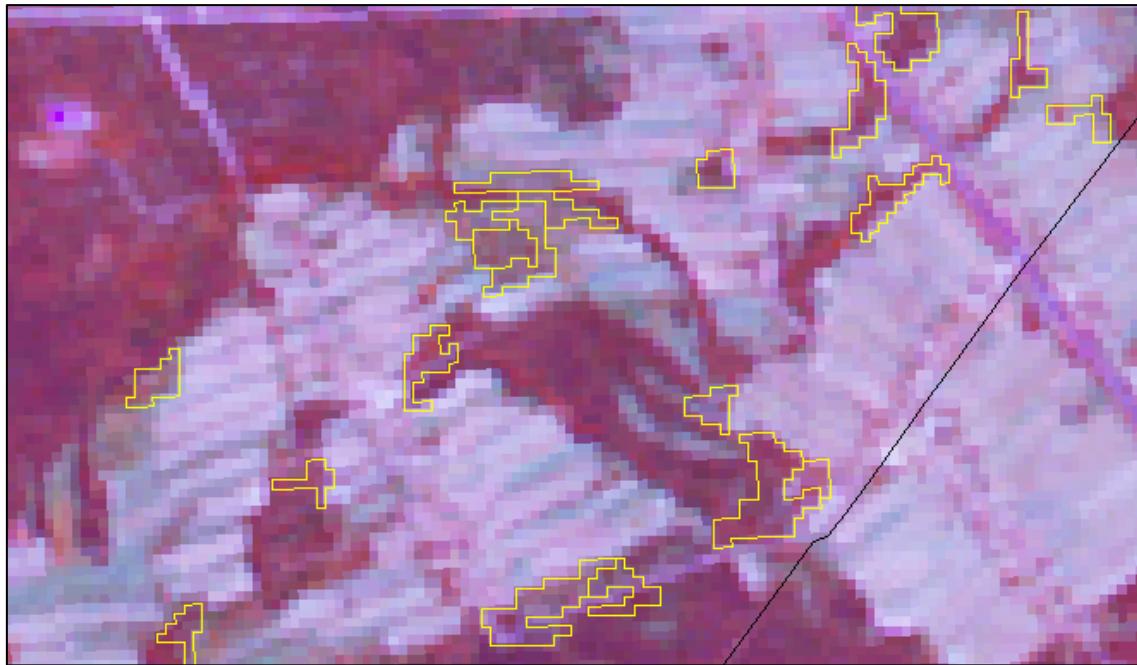


Figura 8. Imagen satelital del proceso de verificación y reclasificación a ‘Cultivos agrícolas’ Región Occidental.

Se pudo notar que las áreas habilitadas en esta región, generalmente van acompañadas o asociadas a la producción ganadera, además la superficie por unidad productiva es mucho menor que en la región Oriental, así como también son bastante aisladas, es decir no hay territorios de gran extensión a los que se los pueda clasificar de zona agrícola o exclusivamente agrícola (figura 9).

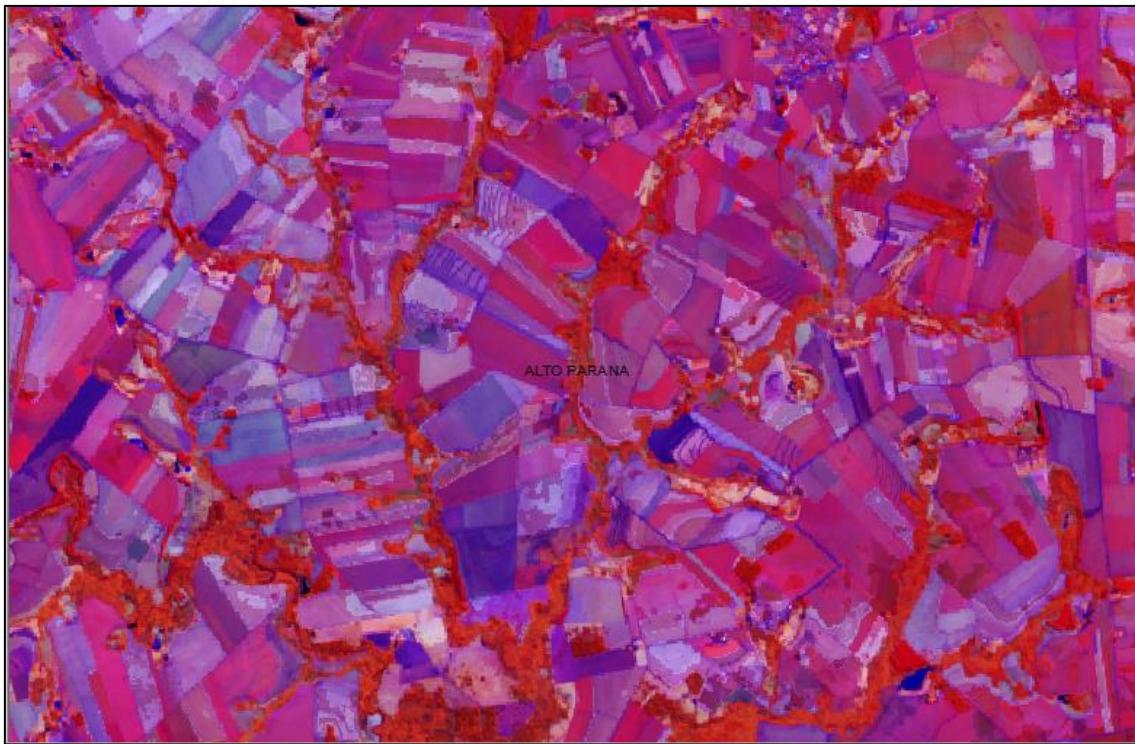


Figura 9. Imagen satelital del proceso de verificación y reclasificación a ‘Cultivos agrícolas’ Región Oriental.

A partir del periodo 2005-2011 en adelante fue añadida la clase ‘Mosaico agropecuario’, la cual fue implementada para la región Oriental. A razón de que en estas zonas se hace muy difícil la distinción entre las clases ‘Pasturas implantadas’ y ‘Cultivos agrícolas’, en especial a lo que respecta la Región Oriental, en donde constantemente, en dichas zonas se habilitan terrenos, ya sea para cultivos o ganadería, actividades que a su vez se encuentran aglomeradas y a causa de la escala de trabajo y principalmente resolución espacial de las imágenes utilizadas (30x30m), hacen que el trabajo de interpretación y reclasificación lleve una cantidad considerable de tiempo.

El patrón principal por el cual se distingue esta clase es el de la aglomeración de las actividades mencionadas anteriormente. En la figura 10 se puede observar pequeñas superficies de ambas clases en una misma zona productiva, es decir el tamaño de las unidades de producción y la diversidad de actividades son características de estas zonas que podrían considerarse rururbanas.



Figura 10. Imagen del proceso de verificación y reclasificación a ‘Mosaico agropecuario’ Región Oriental.

Es importante mencionar que posterior finalización de la reclasificación a nivel nacional, fue realizada una revisión del trabajo a nivel regional para cada periodo, a fin de identificar posibles errores de interpretación, con lo que fueron realizadas correcciones sobre las capas finales de manera a tener una mayor precisión y calidad en el análisis realizado.

4. RESULTADOS

Se presentan los resultados de la reclasificación del mapa la línea de base periodo 2000-2015 según las categorías del IPCC, así como también los resultados de la clasificación mediante la misma metodología del periodo 2015-2016.

Como se ha mencionado anteriormente los datos de la línea de base del periodo 2000-2015 fueron constituidos por segmentos de cambios extraídos de las clases ‘Cambios Cobertura Forestal a Tierras de cultivo’ y ‘Cambios Humedales a Tierras Cultivo’ es decir no fue reclasificada la totalidad de los cambios, como lo fue para periodo 2015-2016, del cual no se contaba una clasificación según las categorías del IPCC 2003.

Sin embargo, la totalidad de los datos presentados fueron analizados en conjunto teniendo en cuenta que, la categoría ‘Cambios Cobertura Forestal a Tierras de cultivo’ constituye el 97,38% del total de cambios registrados según Programa Nacional Conjunto ONU-REDD+ Paraguay (2016) y que en el presente trabajo se realizó una reclasificación según la misma metodología.

Es así que para el presente análisis se tuvo en cuenta el área reclasificada a partir de la línea de base y la clasificación completa de los cambios del periodo 2015-2016.

4.1. Clases de cambios IPCC 2000-2016 del Paraguay

Fueron clasificadas una superficie total de 5.784.070,40 ha de las cuales el 87,85% corresponde a la categoría ‘Pasturas implantadas’ seguida por el 9,95% de la categoría ‘Cultivos agrícolas’ y 1,61% de ‘Mosaicos agrícolas’, con lo que el porcentaje restante corresponde a otros tipos de uso como se detalla en el cuadro 7.

Cuadro 7. Superficies de cambios por clase a nivel nacional y regional del 2000 al 2016.

Categoría de cambio	Superficie Región Occidental (ha)	Porcentaje Región Occidental (%)	Superficie Región Oriental (ha)	Porcentaje Región Oriental (%)	Paraguay	Porcentaje Paraguay (%)
Cambios de Tierra Forestales a Pasturas implantadas	4.652.418,29	99,13	428.917,47	39,31	5.081.335,76	87,85
Cambios de Tierras Forestales a Cultivos agrícolas	11.786,24	0,25	563.880,21	51,68	575.666,45	9,95
Cambio de Tierras Forestales a Mosaico agropecuario	0,00	0,00	93.214,41	8,54	93.214,41	1,61
Cambios de Tierras Forestales a campos naturales	12.386,24	0,26	1.163,09	0,10	13.549,33	0,23
Cambio de Tierras Forestales a Humedales	7.009,02	0,14	1.896,19	0,17	8.905,21	0,15
Cambios de Tierras Forestales a Asentamientos Humanos	5.689,26	0,12	362,34	0,03	6.051,60	0,10
Cambios que no son cambios	3.510,40	0,07	1.615,34	0,14	5.125,74	0,08
Cambios de Tierras Forestales a Otras tierras	196,41	0,004	25,49	0,002	221,90	0,0038
Total general	4.692.995,86	100	1.091.074,54	100	5.784.070,40	100

A nivel regional se destaca la categoría ‘Pasturas Implantadas’, la cual presentó un importante porcentaje de cambios en ambas regiones del país, principalmente en la Occidental con un 99,1 % de la superficie total de cambios para la región, mientras que en la Oriental fue la segunda categoría en términos de superficie, luego de ‘Cultivos Agrícolas’ la cual presentó el 51,6 % de superficie de cambios para dicha región.

En la figura 11 se puede observar el comportamiento de las categorías en ambas regiones según la superficie de cambios que representaron las mismas durante el periodo 2000-2016. En la misma se hace notable nuevamente, la gran diferencia en términos de superficie de la categoría ‘Pasturas implantadas’ con las demás.

Dicha diferencia se debe principalmente al predominio de esta en la Región Occidental, en la cual, a causa de limitaciones de uso por factores climáticos y de infraestructura, esta actividad ha sido la opción más rentable históricamente. Hay que mencionar qué, existen también factores legales que han restringido la transformación de bosques en la Región Oriental tales como la Ley de Deforestación Cero, por lo que, en la última década la habilitación de terrenos productivos se volcado fuertemente al Chaco.

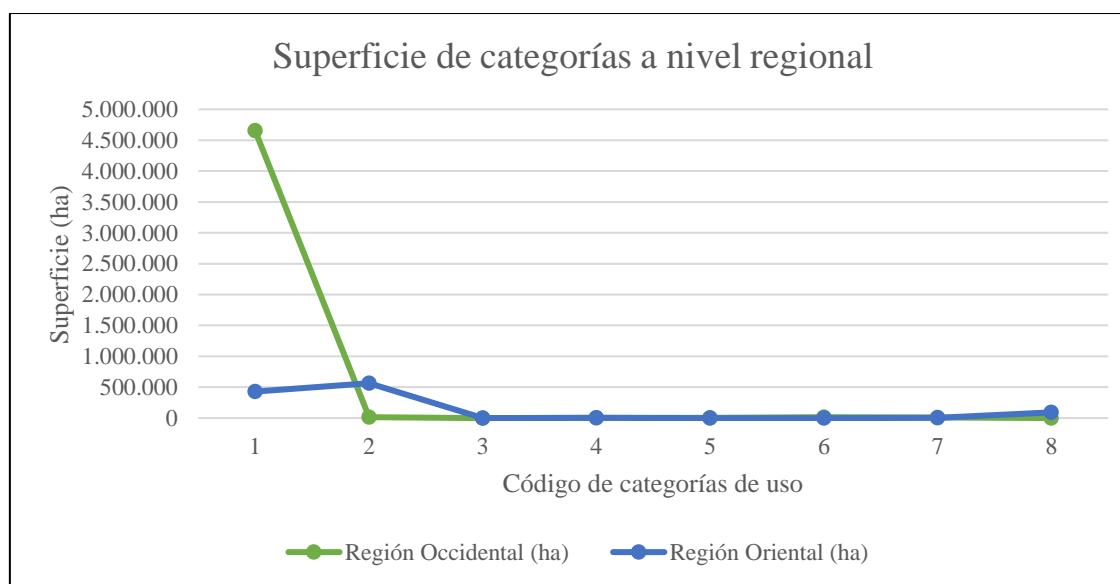


Figura 11. Superficie de cambios por clase a nivel regional periodo 2000-2016

*Código de categorías de uso: (1) Cambios de Tierra Forestales a Pasturas Implantadas, (2) Cambios de Tierras Forestales a Cultivos agrícolas, (3) Cambios de Tierras Forestales a Otras tierras (4) Cambios que no son cambios, (5) Cambios de Tierras Forestales a Asentamientos Humanos, (6) Cambios de Tierras Forestales a Campos naturales, (7) Cambio Tierras Forestales a Humedales, (8) Cambios de Tierras Forestales a Mosaico Agropecuario

En relación a la superficie de cambios por periodo fue el 2005-2011 el que presentó la mayor superficie de cambios, con 2.607.570,38 ha, sin embargo, fue el periodo 2011-2013 el que presentó la superficie anual de cambios más alta con unas 505.603,46 ha anuales, descartando así una relación entre la cantidad de tiempo y la superficie transformada (Cuadro 8).

Cuadro 8. Superficies de cambios por periodo

Periodo de cambio	Superficie (ha)	Porcentaje de pérdida por periodo (%)	Superficie anual de cambios (ha/año) *	Tasa de pérdida annual (%)**
2000-2005	1.289.321,66	22,29	257.864,33	1,16
2005-2011	2.607.570,38	45,08	434.595,06	1,96
2011-2013	1.011.206,92	17,48	505.603,46	2,28
2013-2015	706.618,66	12,22	353.309,33	1,59
2015-2016	169.352,78	2,93	169.352,78	0,76
Total general	5.784.070,40	100	361.504,4	7,75

* La superficie anual de cambio ha sido calculada en base a la superficie de cambio de cada periodo

** La tasa de pérdida fue calculada en base a la estimación de cobertura boscosa para el año 2000 PNC ONU-REDD+ (2016)

En la figura 12 se puede comparar la tendencia de la superficie de cambios de la Región Occidental con la del total general a lo largo del periodo estudiado, se observa una relación entre las mismas debida a la superficie de cambios registrada en el Chaco, la cual tiene una fuerte influencia de la categoría ‘Pasturas Implantadas’.

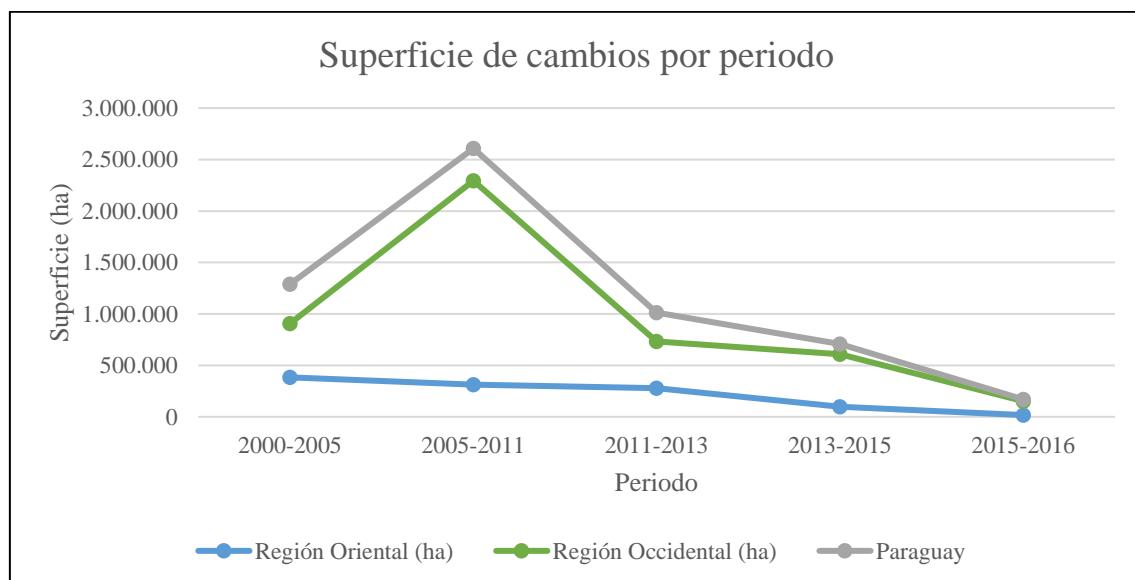


Figura 12. Superficie de cambios por clase a nivel regional periodo 2000-2016

En la figura 13 se puede observar la tendencia de la superficie anual de cambio por periodo, en la cual se demuestra un aumento progresivo en los primeros tres periodos, alcanzando su pico en el periodo 2011-2013 con unas 505.603,46 ha/año, para luego disminuir nuevamente, hasta llegar a 169.352,78 ha/año en el periodo 2015-2016.

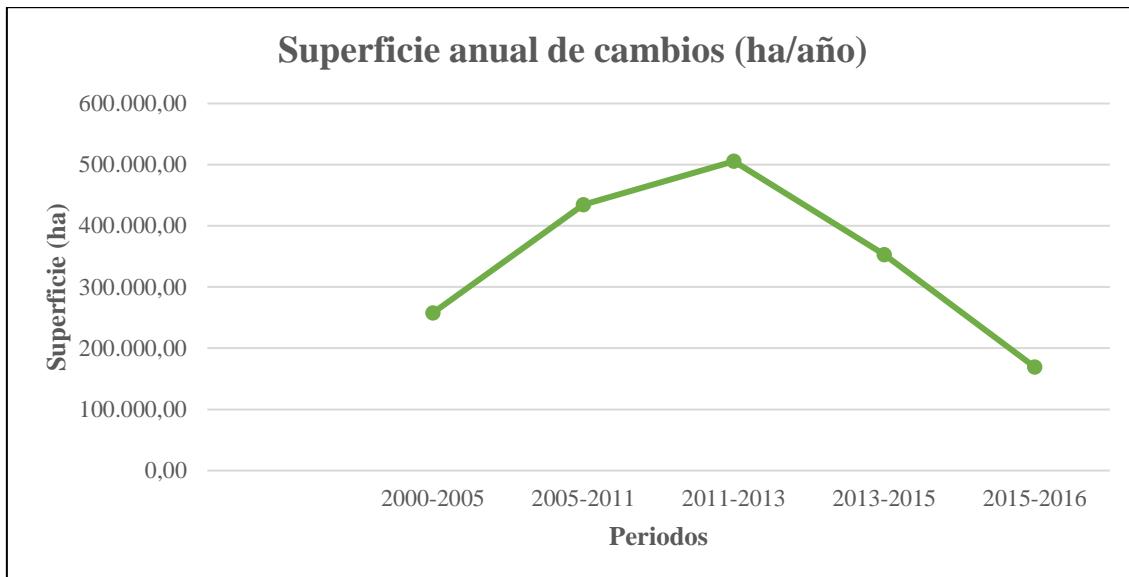


Figura 13. Superficie anual de cambios por periodo.

En el cuadro 9 se presentan los resultados de superficie de cambios por periodo tanto a nivel regional como nacional.

Cuadro 9. Superficies de cambios por clase a nivel regional y nacional

	Clases de cambio IPCC 2000-2016 del Paraguay	Superficie (ha)			Porcentaje (%)
		Region Occidental	Region Oriental	Paraguay	
2000-2005	Cambios de Tierra Forestales a Pasturas implantadas	891.526,67	138.639,92	1.030.166,59	79,90
	Cambios de Tierras Forestales a Cultivos agrícolas	6.306,05	243.634,96	249.941,01	19,39
	Cambios de Tierras Forestales a Otras tierras	89,03	-	89,03	0,01
	Cambios que no son cambios	3.212,99	951,01	4.164,00	0,32
	Cambios de Tierras Forestales a Asentamientos Humanos	1.354,22	98,59	1.452,81	0,11
	Cambios de Tierras Forestales a campos naturales	1.412,98	94,52	1.507,50	0,12
	Cambio Tierras Forestales a Humedales	1.976,65	24,07	2.000,72	0,16
	Totales	905.878,59	383.443,07	1.289.321,66	100

Clases de cambio IPCC 2000-2016 del Paraguay	Superficie (ha)			Porcentaje (%)	
	Region Occidental	Region Oriental	Paraguay		
2005-2011	Cambios de Tierra Forestales a Pasturas implantadas	2.288.307,74	107.227,44	2.395.535,18	91,87
	Cambios de Tierras Forestales a Cultivos agrícolas	3.664,84	144.642,51	148.307,35	5,69
	Cambios de Tierras Forestales a Otras tierras	-	5,00	5,00	0,0002
	Cambios que no son cambios	42,82	377,20	420,02	0,02
	Cambios de Tierras Forestales a Asentamientos Humanos	390,88	6,54	397,42	0,02
	Cambios de Tierras Forestales a campos naturales	961,42	296,03	1.257,45	0,05
	Cambio de Tierras Forestales a Humedales	796,93	121,17	918,10	0,04
	Cambio de Tierras Forestales a Mosaico agropecuario	-	60.729,86	60.729,86	2,33
	Totales	2.294.164,63	313.405,75	2.607.570,38	100

	Clases de cambio IPCC 2000-2016 del Paraguay	Superficie (ha)			Porcentaje (%)
		Region Occidental	Region Oriental	Paraguay	
2011-2013	Cambios de Tierra Forestales a Pasturas implantadas	722.414,16	145.974,41	868.388,57	85,88
	Cambios de Tierras Forestales a Cultivos agrícolas	1.462,85	105.101,93	106.564,79	10,54
	Cambios de Tierras Forestales a Otras tierras	81,51	17,81	99,32	0,01
	Cambios que no son cambios	138,92	136,77	275,69	0,03
	Cambios de Tierras Forestales a Asentamientos Humanos	3.263,99	102,08	3.366,07	0,33
	Cambios de Tierras Forestales a campos naturales	3.429,50	686,71	4.116,21	0,41
	Cambio de Tierras Forestales a Humedales	1.110,95	1.053,60	2.164,55	0,21
	Cambio de Tierras Forestales a Mosaico agropecuario	-	26.231,71	26.231,71	2,59
	Totales	731.901,89	279.305,03	1.011.206,92	100

	Clases de cambio IPCC 2000-2016 del Paraguay	Superficie (ha)			Porcentaje (%)
		Region Occidental	Region Oriental	Paraguay	
2013-2015	Cambios de Tierra Forestales a Pasturas implantadas	598.722,54	29.700,52	628.423,06	88,93
	Cambios de Tierras Forestales a Cultivos agrícolas	261,27	62.737,12	62.998,38	
	Cambios de Tierras Forestales a Otras tierras	17,08	-	17,08	0,002
	Cambios que no son cambios	108,07	93,74	201,82	0,03
	Cambios de Tierras Forestales a Asentamientos Humanos	640,56	30,43	670,99	0,09
	Cambios de Tierras Forestales a campos naturales	6.051,89	22,70	6.074,59	0,86
	Cambio de Tierras Forestales a Humedales	3.052,45	10,63	3.063,08	0,43
	Cambio de Tierras Forestales a Mosaico agropecuario	-	5.169,66	5.169,66	0,73
	Totales	608.853,86	97.764,80	706.618,66	100

	Clases de cambio IPCC 2000-2016 del Paraguay	Superficie (ha)			Porcentaje (%)
		Region Occidental	Region Oriental	Paraguay	
2015-2016	Cambios de Tierra Forestales a Pasturas implantadas	151.447,18	7.375,18	158.822,36	93,78
	Cambios de Tierras Forestales a Cultivos agrícolas	91,22	7.763,69	7.854,92	4,64
	Cambios de Tierras Forestales a Otras tierras	8,79	2,68	11,47	0,01
	Cambios que no son cambios	7,59	56,62	64,21	0,04
	Cambios de Tierras Forestales a Asentamientos Humanos	39,62	124,70	164,31	0,10
	Cambios de Tierras Forestales a campos naturales	530,45	63,12	593,58	0,35
	Cambio de Tierras Forestales a Humedales	72,03	686,72	758,76	0,45
	Cambio de Tierras Forestales a Mosaico agropecuario	-	1.083,17	1.083,17	0,64
	Totales	152.196,89	17.155,89	169.352,78	100

5. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

Es importante mencionar que todos aquellos cambios que constituyeron infraestructura tipo caminos, tajamares, tanques australianos y otros fueron clasificados dentro de la categoría de uso sea cultivo o ganadería, teniendo en cuenta el fin para el cual fueron implementadas.

Los cambios en la zona de la ecorregión Médanos del Chaco en su mayoría fueron clasificados dentro de la categoría ‘Campos Naturales’ a menos que haya sido evidente su pertenencia a otra categoría.

Las zonas en donde se dan los Mosaicos agropecuarios, fueron las que presentaron el mayor grado de dificultad con respecto a la interpretación y reclasificación debido al reducido tamaño y forma variable de las unidades productivas, además de la aglomeración existente.

Además, hay que mencionar que las imágenes de alta resolución se hacen fundamentales como respaldo al no contar con datos de campo que sirvan de apoyo a los datos generados por los sensores remotos, en especial en trabajos que requieren de un alto grado de precisión. Así como también un conocimiento previo de la herramienta y en especial en lo que respecta a las respuestas espectrales de las diferentes coberturas y su contextualización.

Se recomienda someter el presente trabajo a una evaluación de exactitud a fin de validar los resultados del mismo, de manera a poder identificar posibles errores y dificultades en la clasificación de las diferentes clases, así como también para poder utilizarlos en trabajos posteriores y afinar futuras metodologías de mapeo.

Sería interesante apoyar la realización de investigaciones sobre análisis de los valores de reflectancia de las diferentes categorías, de manera a obtener rangos aproximados validables para agilizar los procesos de clasificación. Así como también sobre la posibilidad de realizar clasificaciones por períodos de sequía y lluvias generalmente bastante marcados en la Región Occidental de manera a obtener mosaicos lo más homogéneos posible.

6. CONCLUSIONES

En términos de superficie de cambios, fueron cuantificadas y clasificadas unas 5.784.070,40 ha para el periodo 2000-2016, el 87,85% de estas corresponde a la categoría ‘Pasturas implantadas’ seguida por el 9,95% de la categoría ‘Cultivos agrícolas’ y 1,61% de ‘Mosaicos agrícolas’, el porcentaje restante lo constituyeron las demás categorías de uso con un total menor al 1% de la superficie clasificada.

Se destaca de entre las demás la categoría ‘Pasturas implantadas’, al presentar esta una marcada influencia sobre el total de los resultados tanto a nivel regional como nacional. Sin embargo, esto denota una situación alarmante de deforestación y conversión de bosques en especial en la Región Occidental.

Es importante mencionar la utilidad de la metodología implementada, tanto en los trabajos que preceden a este, los cuales se centraron en la generación de los datos para la clasificación, como en esta etapa del trabajo que resulta en obtener información reciente y periódica sobre las transformaciones que sufre el territorio. Sobre este punto se hace visible la importancia de programas como LANDSAT el cual provee de datos remotos de manera gratuita y con una resolución temporal que hace posible un monitoreo periódico y relativamente breve dependiendo de la clemencia nada más que del clima.

Se hace imprescindible contar con este tipo de herramientas de monitoreo, en especial en lo que respecta al Paraguay en su carácter de productor de alimentos y consecuentemente dependiente del uso del territorio, con lo que es imperante la disponibilidad de información precisa y actualizada sobre los usos y coberturas que dispone, de manera que puedan ser tomadas decisiones fundamentadas en bases técnicas para un uso racional de sus recursos.

Finalmente se debe mencionar que la presente consultoría ha constituido principalmente una herramienta de profundo aprendizaje y ha fomentado el interés en la investigación y generación de datos e informaciones de relevancia, a través de las diversas metodologías y procesos que se fueron dilucidando con el transcurso de la misma.

7. BIBLIOGRAFÍA

IPCC.2003. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS. Consultado el 21 ago. 2017. Disponible en <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf/spanish/full.pdf>

Programa Nacional Conjunto ONU-REDD + Paraguay. 2016. Documento técnico para la elaboración de mapas de deforestación histórica del Paraguay, Periodo 2000-2015. Instituto Forestal Nacional/Sistema Satelital de Monitoreo Terrestre

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2000. El Futuro de Nuestra Tierra: Enfrentando el Desafío: La Necesidad de un Enfoque Integrado. (en línea). Roma. Consultado 22 ago. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/004/x3810s/x3810s05.htm>

Gasparri, I. 2010. Efecto del cambio de uso de la tierra sobre la cobertura vegetal y dinámica de biomasa del chaco semiárido argentino. Tesis de Doctorado en Biología. Universidad Nacional de Tucumán. Consultado el 22 ago. 2017. Disponible en <http://www.scielo.org.ar/pdf/pys/v17n2/v17n2a07.pdf>

Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice y J. R. G. Townshend. High Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Science, vol. 342 (2013). Consultado el 22 ago. 2017 Disponible de <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.

Huang, C; Kim, S; Song, K; Townshend, J; Davis, P; Altstatt, A; Rodas, O; Yanosky, A; Clay, R; Tucker, C; Musinsky, J. 2009. Assessment of Paraguay's cover change using Landsat observations. Elsevier, Global and Planetary Change, vol 67: 1-12.

IGAC. 2007. Mejora de los sistemas de cartografía del territorio colombiano. Bogotá, Colombia. 104 p. Consultado el 22 ago. 2017 Disponible en http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_10.pdf

INEGI-Instituto Mexicano de Estadística y Geografía s.f. Aspectos técnicos de las imágenes LANDSAT. (en línea). MX. Consultado 22 ago. 2017. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/sistemainformaciongeografica.pdf>

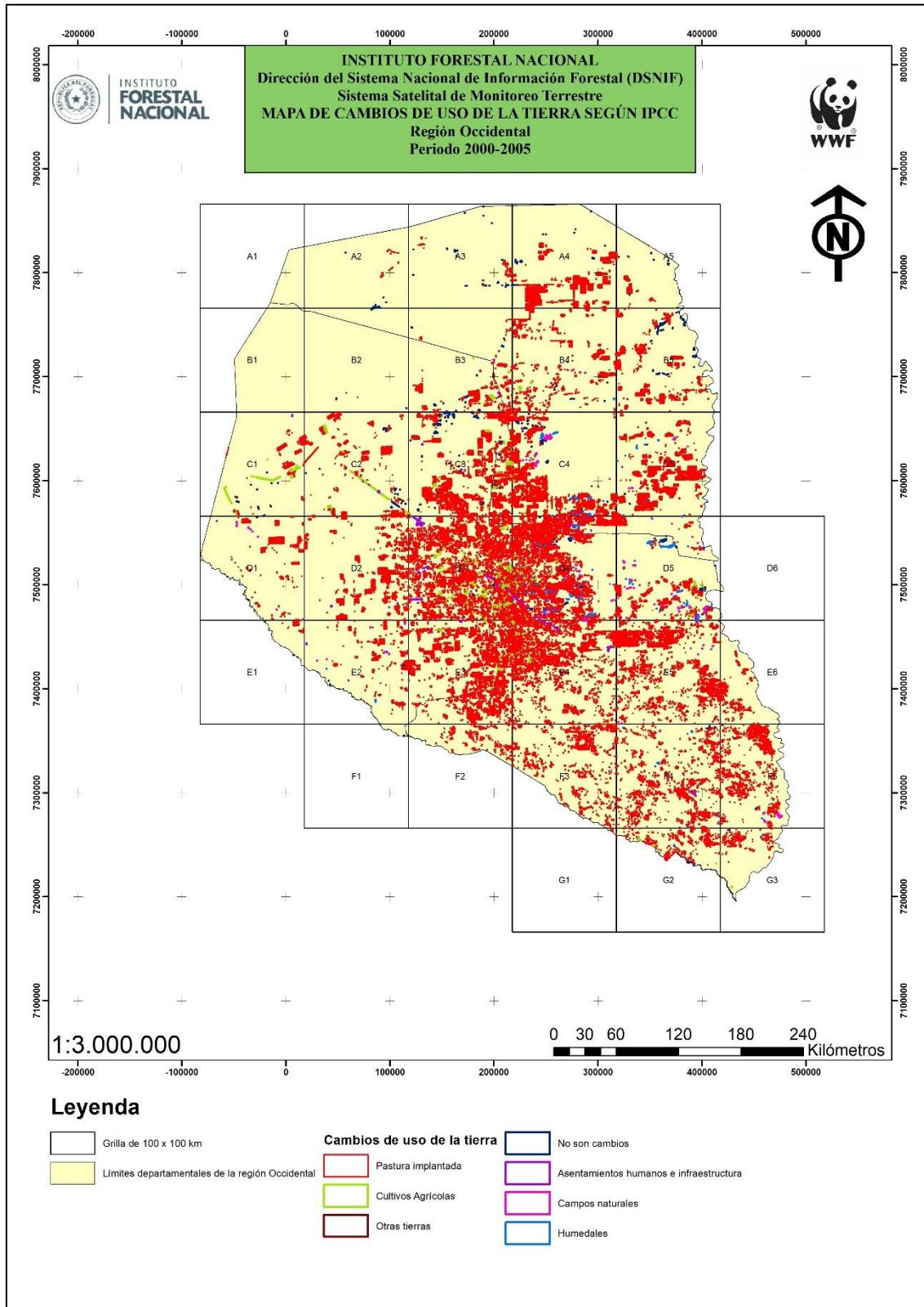
Olaya, V. 2011. Sistemas de Información Geográfica. Versión 1.0. 915 p. Consultado el 20 dic. de 2016. Disponible en ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro_SIG.pdf

U.S. Geological Survey. 2013. Descripción del proyecto Landsat (en línea). Consultado 23 ago. 2017. Disponible en <https://landsat.usgs.gov/landsat-5-history>

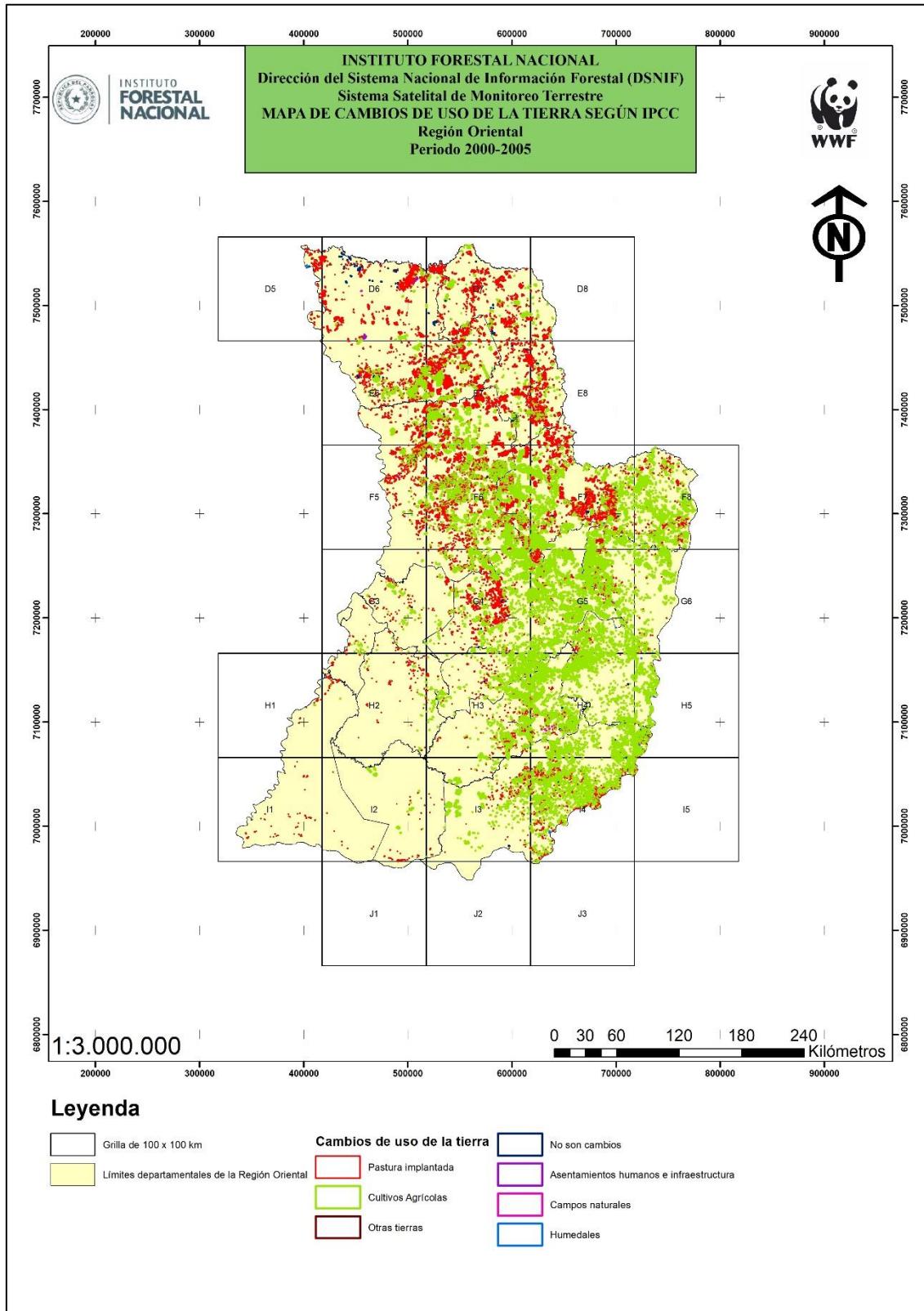
Walcott, J., J. Thorley, V. Kapos, L. Miles, S. Woroniecki y R. Blaney. 2015. Mapeo de los beneficios múltiples de REDD+ en Paraguay: utilización de la información espacial para apoyar la planificación del uso de la tierra. Cambridge: UNEP-WCMC. Consultado el 22 ago. 2017. Disponible en http://www.infona.gov.py/application/files/1514/5433/4087/Mapeo_de_beneficios_multiples.pdf

ANEXOS

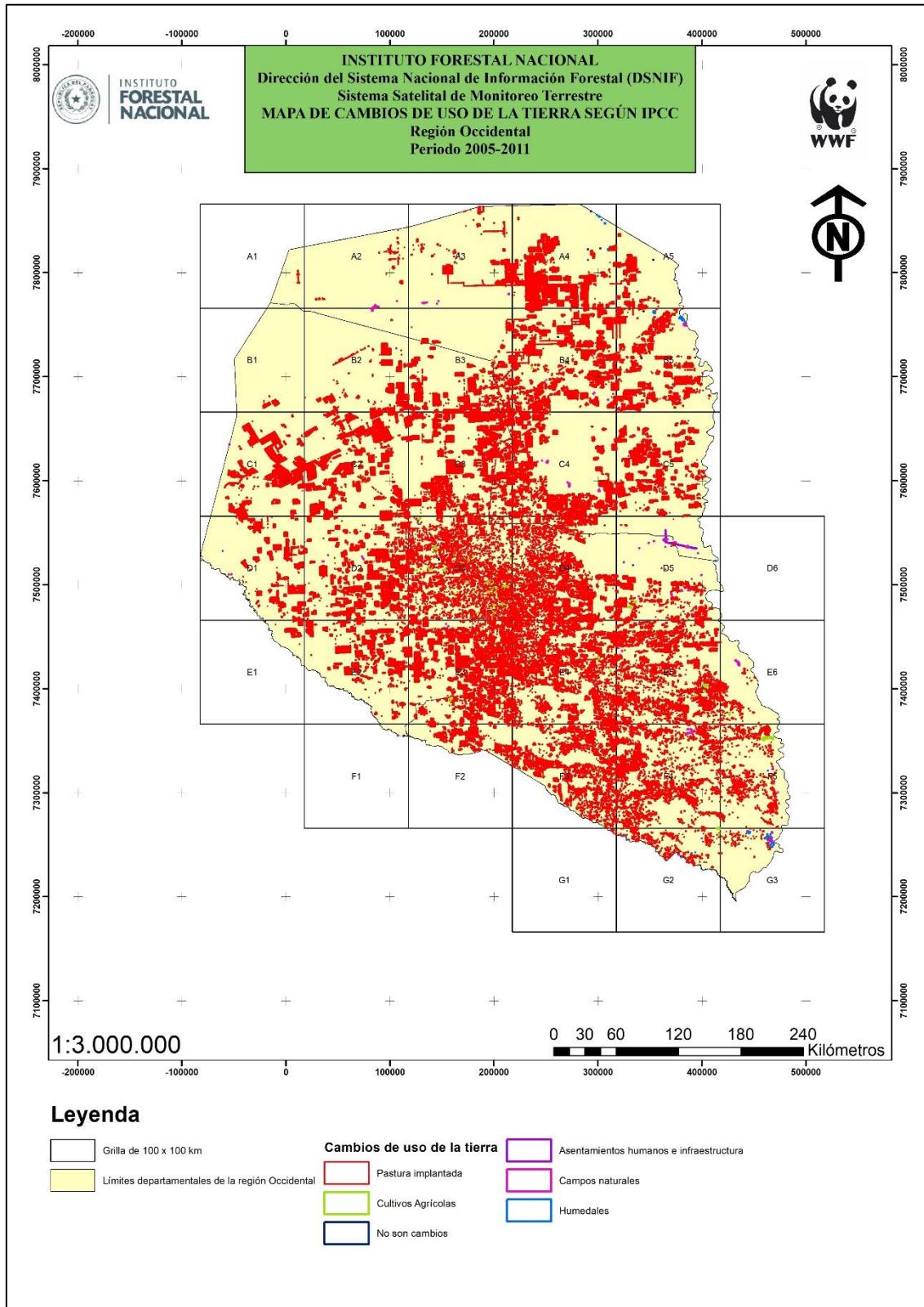
Anexo 1. Mapa de Cambios de uso de la tierra según IPCC periodo 2000-2005 (Región Occidental)



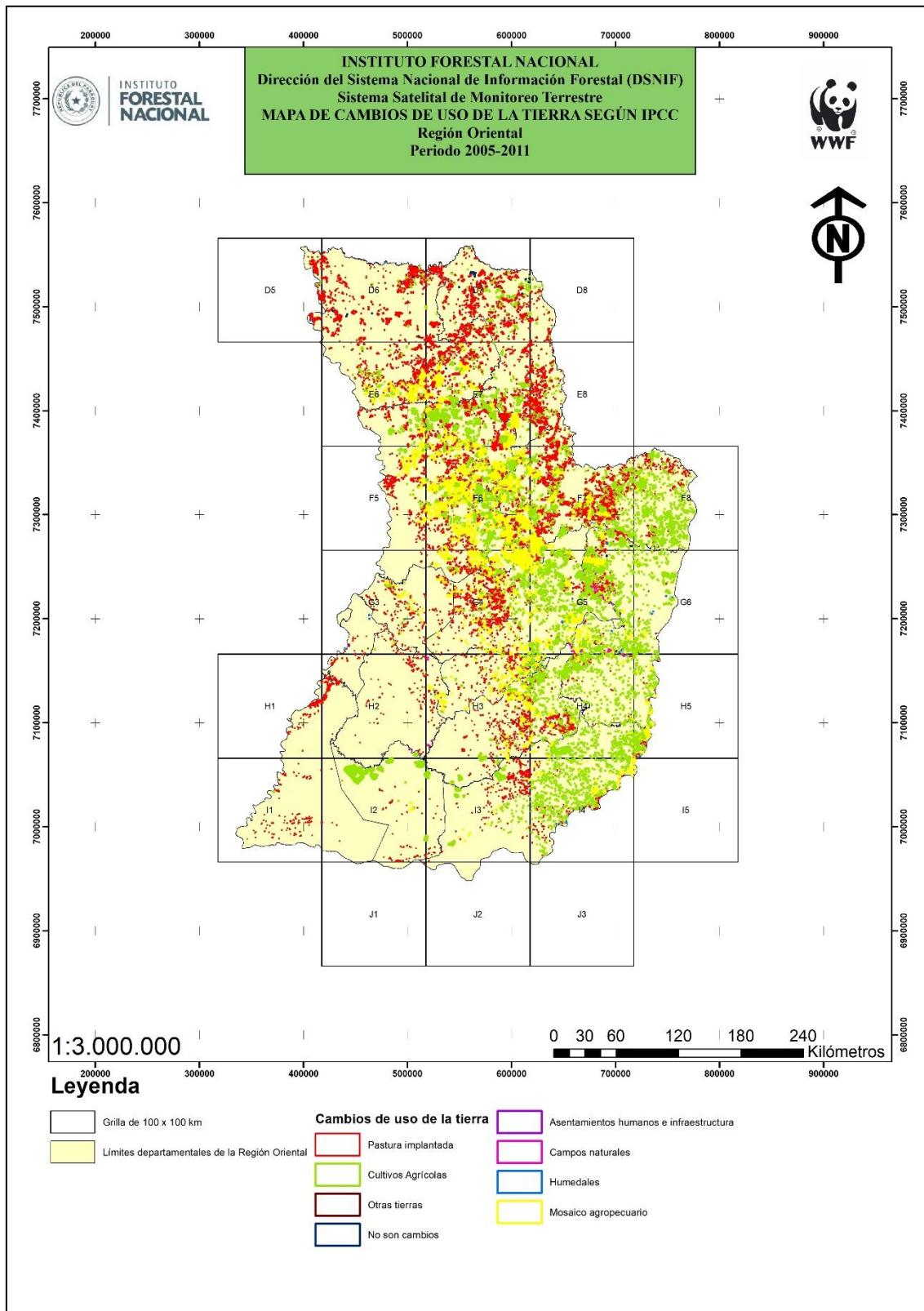
Anexo 2. Mapa de Cambios de uso de la tierra según IPCC periodo 2000-2005 (Región Oriental)



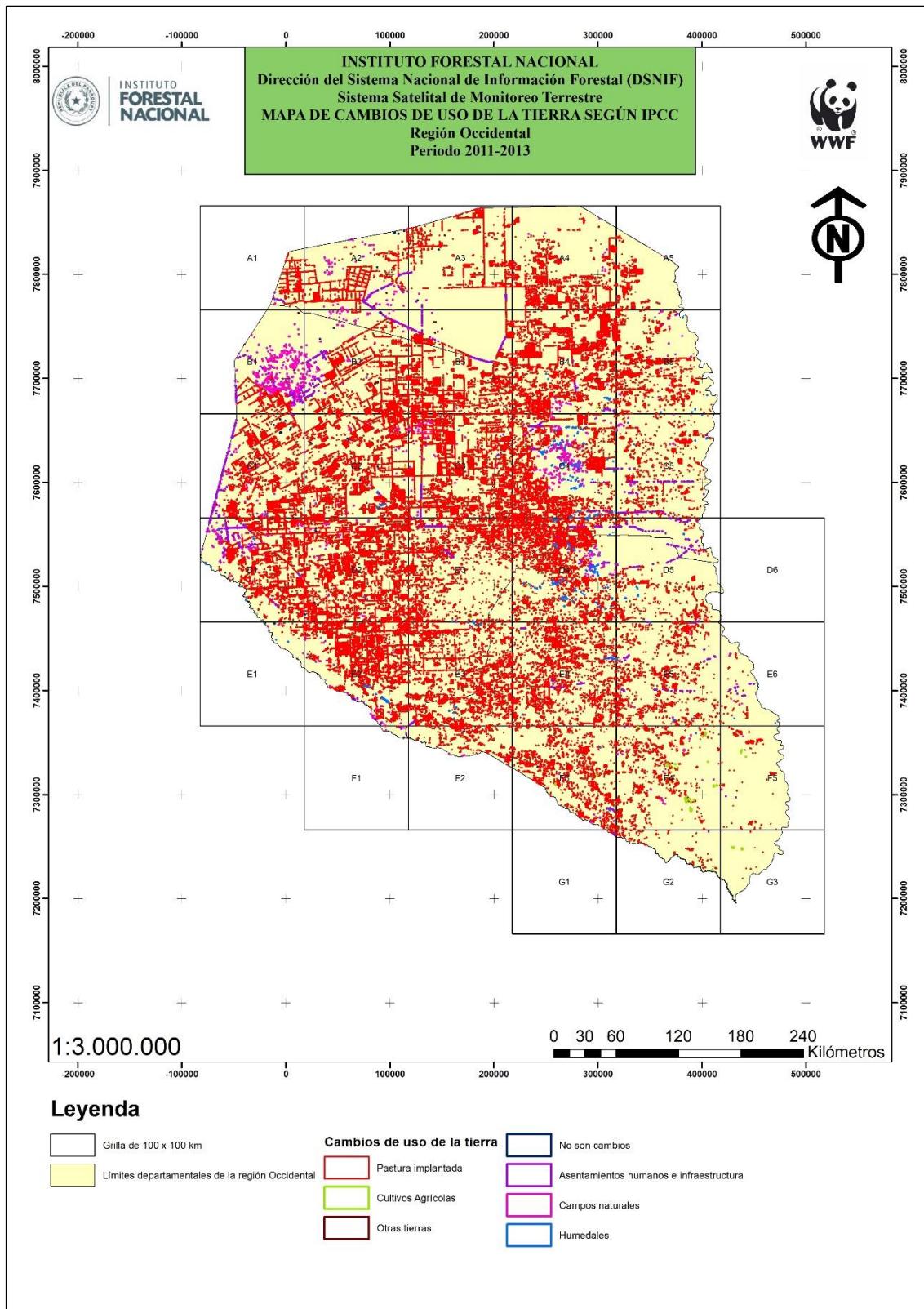
Anexo 3. Mapa de Cambios de uso de la tierra según IPCC periodo 2005-2011 (Región Occidental)



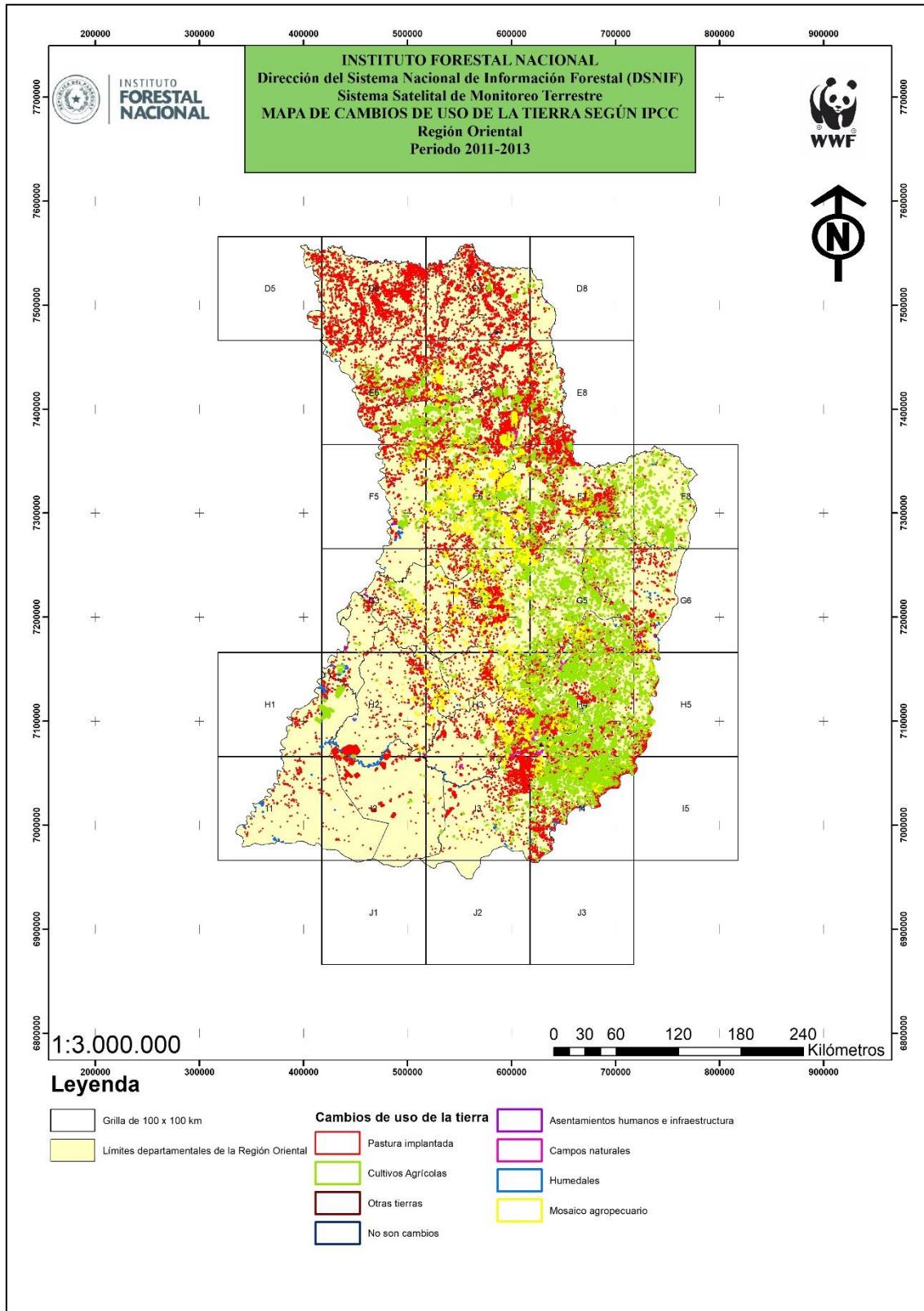
Anexo 4. Mapa de Cambios de uso de la tierra según IPCC periodo 2005-2011 (Región Oriental)



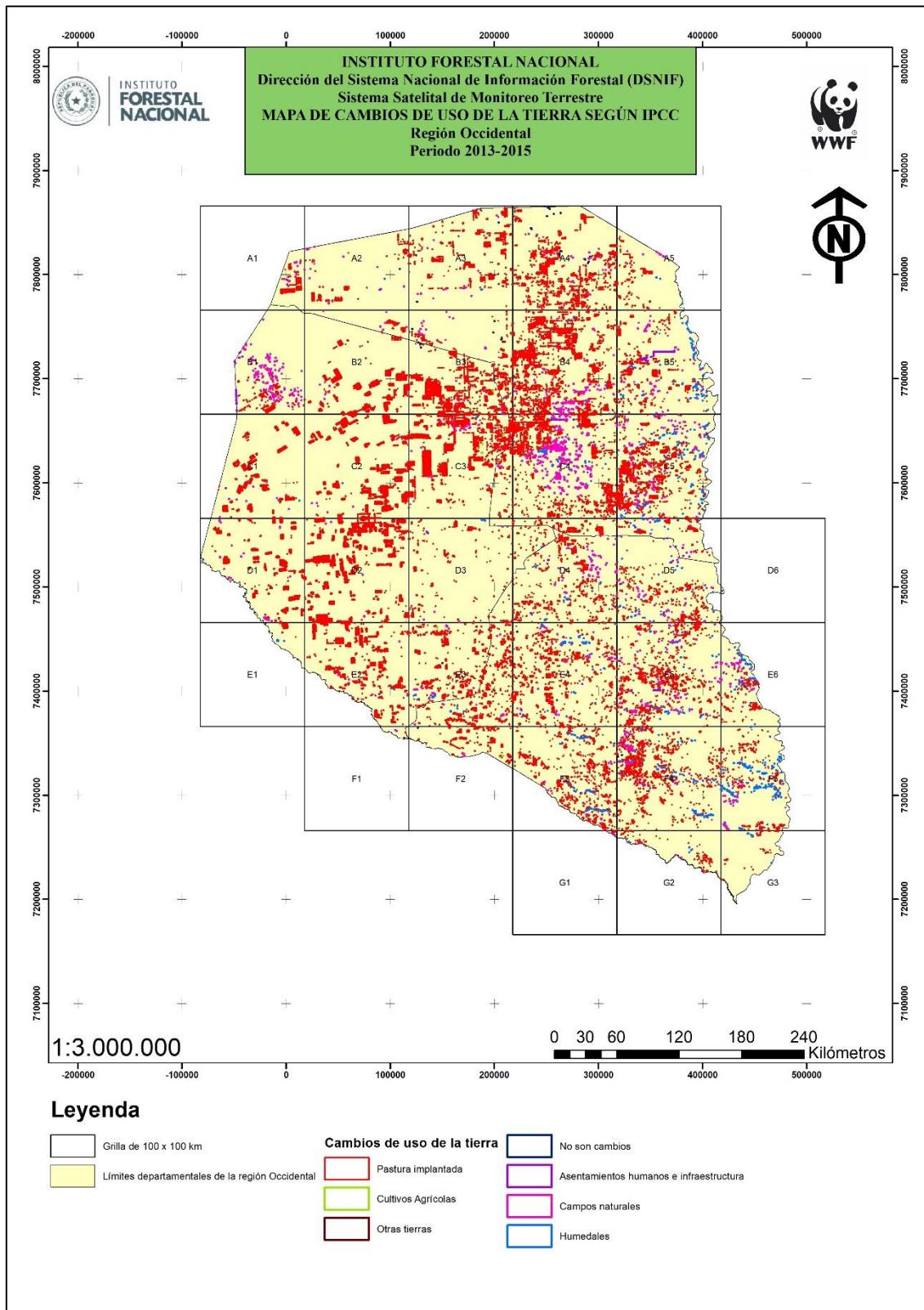
Anexo 5. Mapa de Cambios de uso de la tierra según IPCC periodo 2011-2013 (Región Occidental)



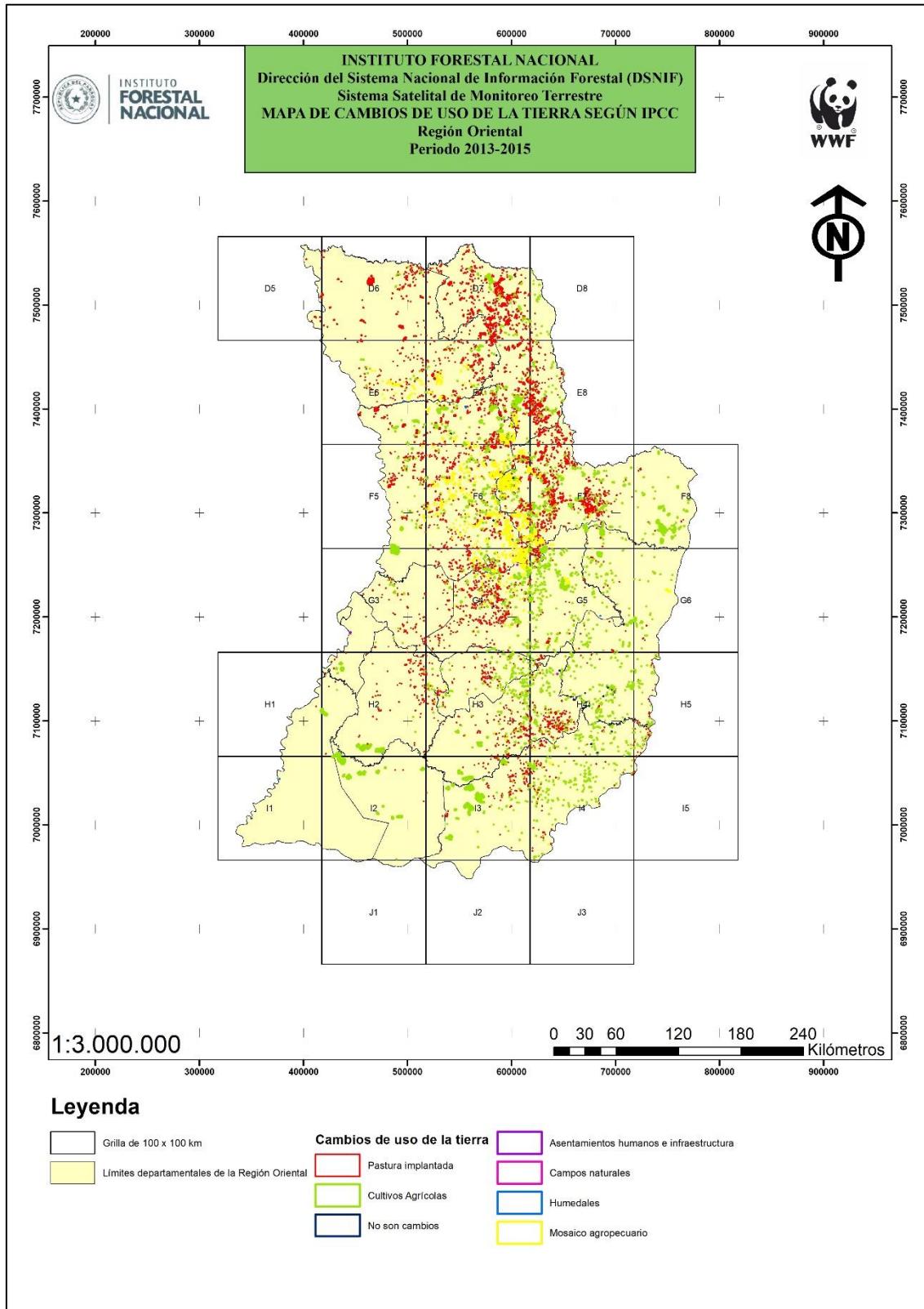
Anexo 6. Mapa de Cambios de uso de la tierra según IPCC periodo 2011-2013 (Región Oriental)



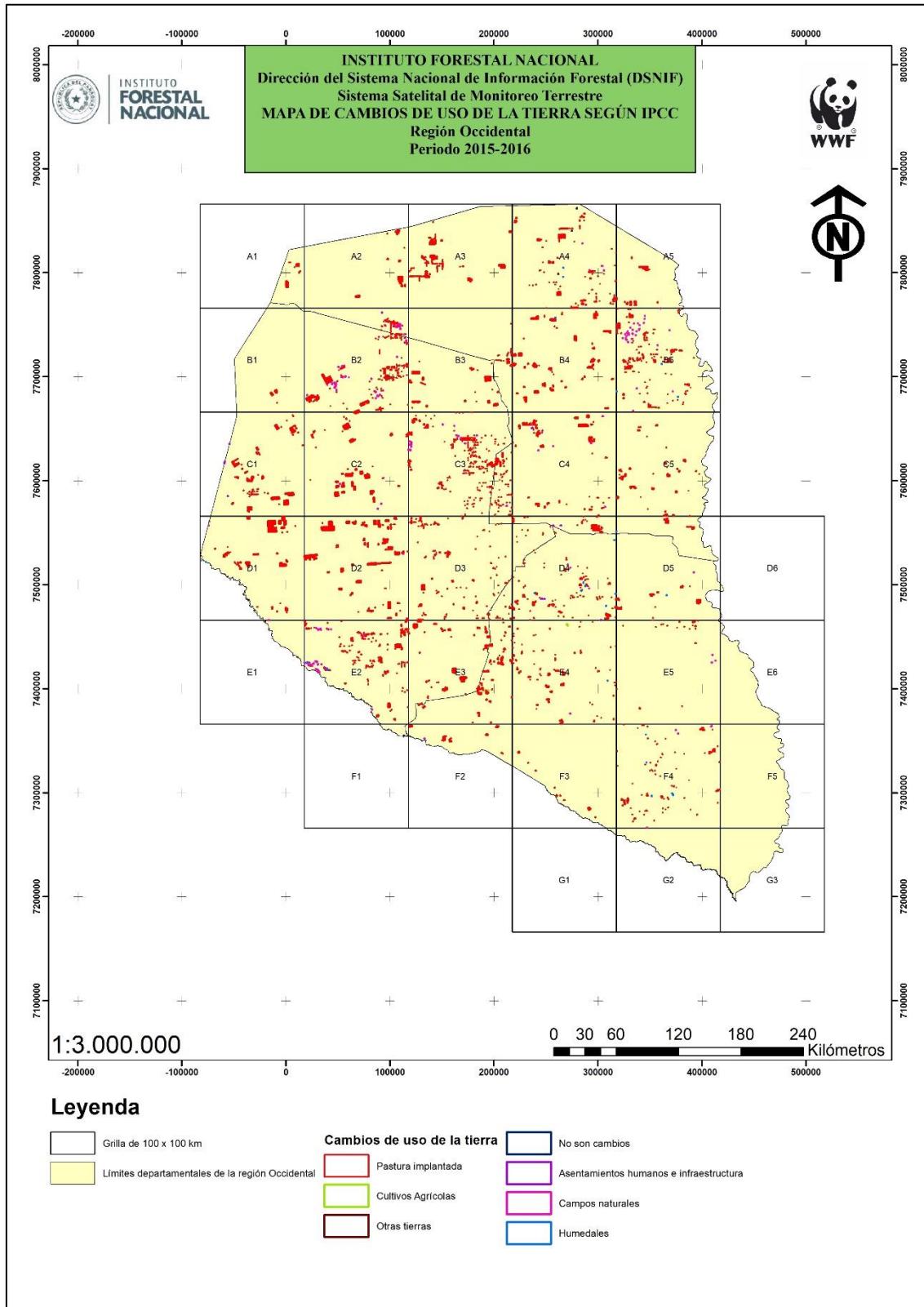
Anexo 7. Mapa de Cambios de uso de la tierra según IPCC periodo 2013-2015 (Región Occidental)



Anexo 8. Mapa de Cambios de uso de la tierra según IPCC periodo 2013-2015 (Región Oriental)



Anexo 9. Mapa de Cambios de uso de la tierra según IPCC periodo 2015-2016 (Región Occidental)



Anexo 10. Mapa de Cambios de uso de la tierra según IPCC periodo 2015-2016
(Región Oriental)

