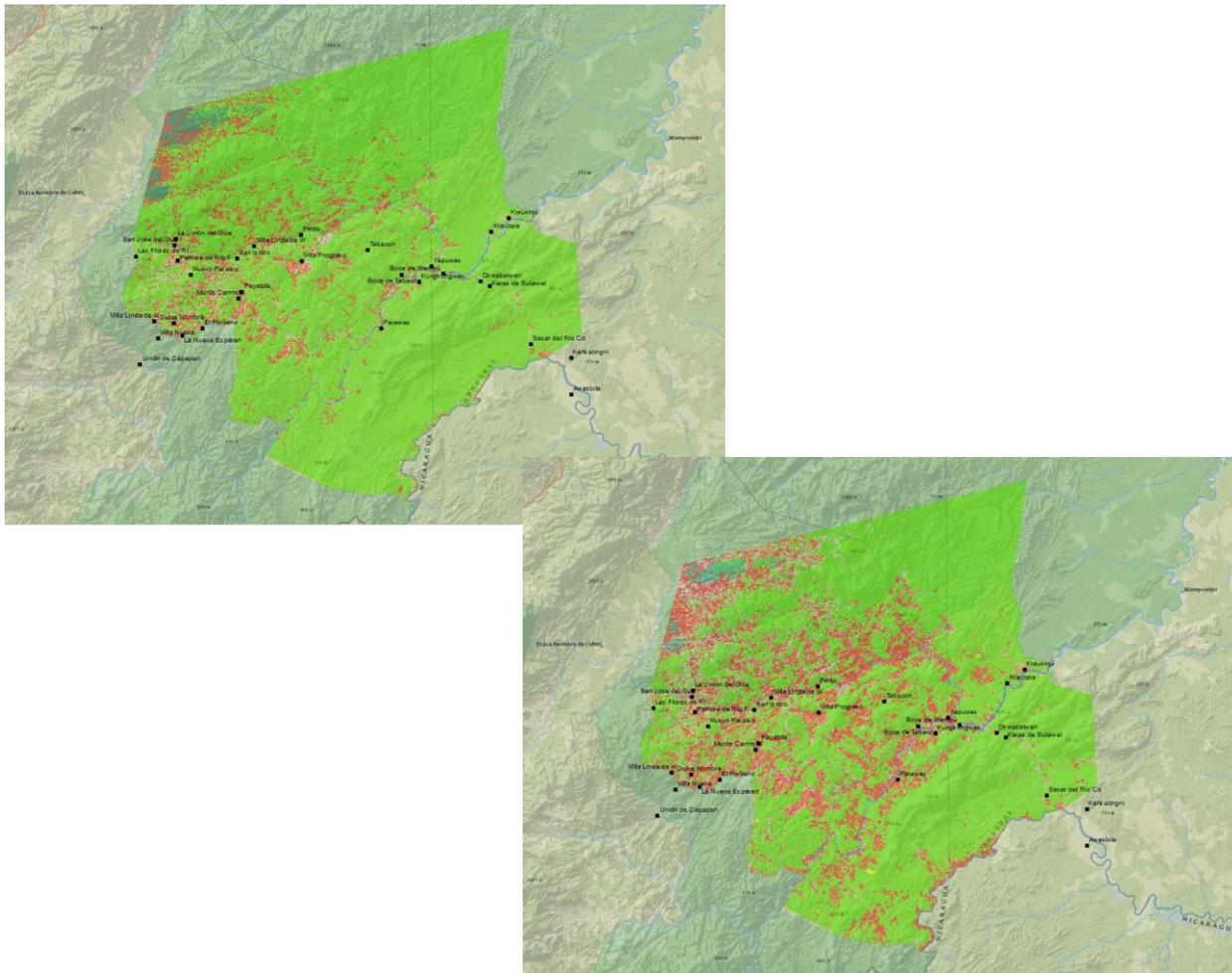




ESTUDIO MULTITEMPORAL DE LA PARTE SUR DE LA BIOSFERA RÍO PLÁTANO Y LA BIOSFERA TAWAHKA ASANGNI 2010-2017 INFORME FINAL DE CONSULTORIA



Por:
Alexander J. Hernández C. PhD
Especialista en Sistemas de Información
Geográfica y Teledetección

RESUMEN EJECUTIVO

Se realizó una actualización del estudio multitemporal de los recursos forestales para la Reserva Tawahka y Zona Sur de la Biósfera de Río Plátano, Honduras. Datos del sensor Landsat-8 OLI, y tecnología de percepción remota fueron utilizados para cubrir el período del 2010 al 2017. La clasificación de usos de la tierra fue realizada con algoritmos de simulación ecológica basados en Random Forests en la plataforma planetaria de archivo y geoprocésamiento basado en la nube Google Earth Engine. La validación independiente de los resultados de clasificación arrojó que la exactitud general del modelo desarrollado fue superior al 90%. Una vez determinadas las existencias forestales para ambas zonas de interés para los años 2010 y 2017 se procedió a generar un análisis de tierras con usos persistentes y tierras con transición. La base de datos utilizada para el análisis multitemporal consistió del estudio realizado para ICADE en el año 2010. En este sentido las clases de cobertura para el año 2017 tomó como base el resultado de ICADE en 2010 y PROBAP en 2005 con la excepción que se agregó una clase nueva que indica los terrenos recién deforestados.

Este análisis produjo a su vez un estimado de las ganancias y pérdidas en recursos forestales para ambas áreas. Se determinó que los bosques latifoliados ocupan el 76.4% de la extensión territorial de la reserva Tawahka mientras que este mismo tipo de bosque cubre el 67.9% de la zona sur de Río Plátano. Los bosques de conífera ocupan el 1.9% de la superficie de Río Plátano. En cuanto al análisis multitemporal se identificó que el 19.2% (48175 hectáreas) de las tierras en Tawahka sufrieron cambios de uso o transiciones del 2010 al 2017. Dentro de estas transiciones la dinámica más significativa fue la sustitución de bosque latifoliado por usos agropecuarios que contabilizaron 27385 hectáreas lo que equivale al 57% de las tierras en transición. Sin embargo, en Tawahka también se observaron cambios positivos para la conservación ya que aproximadamente 1970 hectáreas pasaron de un uso agropecuario a bosque secundario.

Para el caso de la zona sur de Río Plátano se determinó que el 20.9% (30368 hectáreas) de la extensión territorial correspondía a tierras en transición. A diferencia de Tawahka, la conversión de bosques latifoliados y de conífera a sistemas agropecuarios representó un 48% del total de las tierras en transición. En el aspecto semi-positivo se puede indicar que la recuperación de tierras que fueron inicialmente deforestadas y luego

dejadas en descanso (transición de Latifoliado en 2010 a Secundario en 2017) fue del 35% del total de las tierras en transición. Del análisis de cambios se determinaron también las tasas de deforestación en ambos tipos de bosque. La tasa global de deforestación en Tawahka fue del 2.28% anual mientras que para la zona sur de Río Plátano fue de 3.12%. Tasas de deforestación por tipo de zona fueron calculadas para la reserva Tawahka tomando en cuenta la zonificación hecha por ICADE. Los resultados demuestran que absolutamente todos los ecosistemas forestales han sufrido alteraciones a consecuencia del incremento de los sistemas agropecuarios.

Finalmente se proporcionan conclusiones y recomendaciones de este estudio que se espera coadyuven al manejo que ICADE está ejecutando en estas zonas de conservación de interés tanto nacional como global.

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	I
CONTENIDO	III
LISTA DE CUADROS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
1. PRESENTACIÓN.....	1
2. INTRODUCCIÓN	1
3. OBJETIVOS.....	2
4. MATERIALES Y METODOS	3
4.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	3
4.2 TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES	4
4.3 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS PARA LA CLASIFICACIÓN.....	6
4.4 CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA AÑO 2017.....	7
4.4.1 Variables a utilizar.....	7
4.4.2 Clasificación de los patrones de uso de la tierra.....	8
4.4.3 Validación de la Clasificación.....	8
4.5 DETECCIÓN DE CAMBIOS	9
4.5.1 Cálculo de tasas de deforestación	9
4.6 ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE ECOSISTEMAS	10
4.7 CORRECCIÓN DE SUPERFICIES	10
5. RESULTADOS	11
5.1 MAPA DE USO ACTUAL Y EXISTENCIAS RESERVA TAWAHKA.....	11
5.2 DINÁMICA DE USO EN LA RESERVA TAWAHKA.....	14
5.3 TASAS DE DEFORESTACIÓN GLOBALES Y ZONALES EN LA RESERVA TAWAHKA	21
5.4 MAPA DE USO ACTUAL Y EXISTENCIAS ZONA SUR BIÓSFERA RIO PLÁTANO	23
5.5 DINÁMICA DE USO EN LA ZONA SUR DE LA BIÓSFERA RIO PLÁTANO.....	26
5.6 TASAS DE DEFORESTACIÓN EN LA ZONA SUR DE LA BIÓSFERA RIO PLÁTANO	29
5.7 VALIDACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN 2017.....	32
5.8 ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE ECOSISTEMAS	33
5.9 DINÁMICA EN LAS COMUNIDADES DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	36
6. CONCLUSIONES	42
7. RECOMENDACIONES Y RUTA A SEGUIR:.....	46
8. LITERATURA CONSULTADA	46
9. BASE DE DATOS SIG E IMÁGENES.....	47

LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Coordenadas de la parte sur de Biósfera Río Plátano.....	3
Tabla 2. Detalle del número de muestras recolectadas por tipo de uso para la clasificación 2010	6
Tabla 3. Existencias en usos de la tierra año 2017 – Reserva Tawahka.....	13
Tabla 4. Dinámica en la Reserva Tawahka: 2010 - 2017	16
Tabla 5. Detalle de las tierras en transición. Reserva Tawahka: 2010-2017	17
Tabla 6. Ganancias y Pérdidas en Reserva Tawahka en el contexto de Zonificación ICADE	19
Tabla 7. Tasas interanuales de deforestación en la Reserva Tawahka en el contexto de Zonificación ICADE.....	22
Tabla 8. Existencias en usos de la tierra año 2010 y 2017 – Zona Sur Rio Plátano.....	23
Tabla 9. Dinámica en la Biósfera Rio Plátano: 2010-2017	26
Tabla 11. Detalle de las tierras en transición. Biósfera R. Plátano: 2010 - 2017	28
Tabla 12. Tasas interanuales de deforestación en la Biósfera Río Plátano.....	30
Tabla 13. Matriz de confusión para determinar bondad de ajuste de la clasificación de usos de la tierra 2017	32
Tabla 14. Existencias por ecosistema. Previo 2000 y actualizado 2017.....	33
Tabla 15. Existencias (Uso 2017) por Comunidad Tawahka	37
Tabla 16. Existencias porcentuales (Uso 2017) por Comunidad Ladina.....	39
Tabla 17. Existencias (Uso 2017) por Microcuenca Productora de Agua.....	41
Tabla 18. Base de datos digital de la consultoría.....	47

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación del área de estudio en el contexto nacional de Honduras.....	3
Fig. 2. Ubicación de las comunidades en la zona de estudio sobre imagen del satélite Landsat de 2010. Puntos de énfasis en blanco y amarillo	4
Fig. 3. Comparación del trabajo que era requerido antes (izquierda), y el nuevo protocolo aplicado usando GEE (derecha) para obtener un mosaico de la zona de estudio	5
Fig. 4. Distribución de las muestras de vegetación en el contexto de las dos zonas de interés. Nótese la concentración de puntos en las zonas más dinámicas	7
Fig. 5. Mapa de uso actual (año 2017) para la reserva Tawahka.....	12
Fig. 6. Dinámica porcentual en las existencias 2010-2017 para la reserva Tawahka.....	13
Fig. 7. Persistencia y transición entre 2010 y 2017 para la reserva Tawahka	15
Fig. 8. Fracciones de persistencia y transición (2005-2010) – (2010-2017) para la reserva Tawahka.....	16
Fig. 9. Ganancias y Pérdidas en relación a la zonificación en la reserva Tawahka.....	20
Fig. 10. Dinámica porcentual en las existencias 2010-2017 para la zona Sur Biósfera Rio Plátano	24
Fig. 11. Mapa de Uso actual (año 2017) para la Zona Sur Rio Plátano.	25
Fig. 12. Persistencia y transición entre 2010 y 2017 para la zona sur Biósfera Rio Plátano.	27
Fig. 13. Fracciones de persistencia y transición (2005-2010) – (2010-2017) para la zona Sur de Biósfera Rio Plátano.....	28
Fig. 14. Ganancias y Pérdidas en la biósfera de Rio Plátano en el período 2010-2017	31
Fig. 15. Mapa de ecosistemas originales al 2000	34
Fig. 16. Mapa de ecosistemas actualizados al 2017	35
Fig. 17. Mapa de comunidades y microcuencas prioritarias.....	36
Fig. 18. Diferencial en existencias para las zonas de Tawahka entre 2010-2017.....	38
Fig. 19. Diferenciales proporcionales (%) en existencias para las comunidades ladinas de Tawahka entre 2010-2017	40

1. PRESENTACIÓN

Este documento contiene un reporte de las actividades y resultados obtenidos en el marco de la consultoría “ESTUDIO MULTITEMPORAL DE LA PARTE SUR DE LA BIOSFERA RÍO PLÁTANO Y LA BIOSFERA TAWAHKA ASANGNI” que el FONDO DE ÁREAS PROTEGIDAS Y VIDA SILVESTRE DE HONDURAS decidió implementar en 2017 en coordinación con ICADE.

El formato de este documento se diseñó de tal forma que provea un detalle técnico-científico de la metodología desarrollada. Asimismo, incluye los resultados de más significancia en cuanto al estado actual de los recursos forestales en el área de interés, la dinámica de cambios (ganancias y pérdidas), tasas de deforestación y forestación. Tablas, figuras y mapas se incluyen para una mejor comprensión del contenido de este informe.

2. INTRODUCCIÓN

La creciente degradación del bosque incrementa la decadencia de los servicios ecosistémicos que se derivan del mismo. La deforestación genera una cadena de efectos secundarios no deseados, como el desbalance espacio-temporal en caudales en tiempos de estiaje, y el aumento de la erosión en cuencas hidrográficas (Hernandez, 2003). También se puede mencionar la pérdida de conectividad en corredores de vida salvaje, desaparición de sumideros de carbono y aumento simultáneo de fuentes de gases que incrementan el efecto invernadero, entre otros.

Se manifiesta así una necesidad de atacar las causas de la deforestación para poder mitigar las consecuencias que se derivan de la misma. No obstante, para atacar las causas se necesita un entendimiento previo de la magnitud del problema en el tiempo y en el espacio. Para las zonas protegidas y de reserva biológica esto tiene una importancia vital, quizás más que las zonas dedicadas a la producción forestal, ya que constituyen los últimos reductos de protección a la biodiversidad de especies y genética. Para las áreas de mínima extensión como parques urbanos o similares se puede pensar en realizar levantamientos de campo que caractericen los recursos disponibles. Este no es el caso de zonas de gran extensión territorial como parques nacionales, reservas de vida silvestre o zonas forestales protegidas. En dichas áreas la única forma de entender la dinámica espacio-temporal de los

recursos naturales es mediante la utilización de técnicas de teledetección que pueden cubrir grandes territorios con una relación costo – beneficio positivo (Cohen et al., 2010).

La utilización de tecnología satelital para la clasificación del uso de la tierra representa una herramienta imprescindible para el manejo sostenible de los recursos forestales en zonas tropicales. Con un costo de adquisición y procesamiento relativamente bajo se pueden caracterizar las condiciones actuales de vastas extensiones de tierra. Más importante aún, con la disponibilidad de archivos de imágenes satelitales (El sensor Landsat por ejemplo mantiene archivos desde 1972) se pueden hacer análisis retrospectivos para entender los patrones de deforestación e identificación de los frentes de remoción del bosque.

Debería ser claro para un administrador de recursos naturales la gran importancia que representan aquellos estudios que caracterizan las condiciones presentes de un área de interés, y que al mismo tiempo describen los cambios (Ej. Ganancia o pérdida de bosque) ocurridos en el tiempo y el espacio. Literalmente hablando, estos estudios son posibles únicamente con la utilización de tecnologías de percepción remota.

En este contexto, este estudio contiene todos los elementos arriba mencionados para las zonas protegidas de Tawahka y la Zona Sur de la Biósfera Río Plátano. Se espera que los datos, mapas, conclusiones y recomendaciones emanadas de esta investigación corta coadyuven a esta necesidad de entender que ocurre y que ha ocurrido en el espacio para poder planificar hacia el futuro. La utilización de imágenes actualizadas (año 2017), de alta resolución espacial (30 metros), y de algoritmos avanzados de clasificación son garantes de un producto de calidad apropiada para los objetivos de la Organización ICADE en la zona de estudio.

3. OBJETIVOS

Los objetivos planteados para esta investigación corta se enuncian a continuación:

1. Actualizar la evaluación multitemporal de la cobertura boscosa en la parte sur de la Biosfera Río Plátano y Biosfera Tawahka Asangni mediante el tratamiento digital de imágenes satelitales durante el período 2005-2009 y 2015-2017.
2. Determinar las existencias forestales, en término de superficie, y tipo de vegetación, y realizar el análisis pertinente de dinámica de cambios positivos (ganancia) y negativos (pérdida) en las masas boscosas, y su relación con los frentes de

colonización y agropecuarios y territorios indígenas. Refiriéndonos en esta a la identificación de zonas de mayor conflicto o de deforestación dentro del área de estudio

3. Estimar las tasas de deforestación aplicables a la zona de estudio y zonas críticas.
4. Actualizar las bases de datos del mapa de ecosistemas para el área de interés.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 Área de estudio

La zona de interés para esta consultoría está delimitada por la totalidad de la extensión de la Biósfera Tawahka-Asangni y la zona sur de la Biósfera Río Plátano. Los límites de la parte sur de la Biosfera Río Plátano se definieron dentro de las coordenadas siguientes.

Tabla 1. Coordenadas de la parte sur de Biósfera Río Plátano

Norte UTM	Este UTM
663827	1660700
726327	1681477
669551	1682268
728491	1696803

La ubicación de las dos áreas de interés puede observarse en el contexto de la república de Honduras en la figura siguiente.



Fig. 1. Ubicación del área de estudio en el contexto nacional de Honduras

Las autoridades del proyecto expresaron su deseo porque se proveyera más énfasis en las zonas cercanas a las comunidades de intervención del proyecto, tanto en la zona ladina como en la indígena. En la figura siguiente y a más detalle se aprecian los límites en rojo de la biósfera Tawahka, en blanco los de la zona sur de la biósfera Patuca.

Los puntos en blanco y amarillo corresponden a las zonas en la que se requiere más énfasis: blanco = puntos focales de la zona de amortiguamiento y amarillo = zona de uso extensivo. Finalmente, los puntos en color morado corresponden a las comunidades reconocidas en la zona por parte de ICADE y que se encuentran en su sistema de información geográfico SIG.

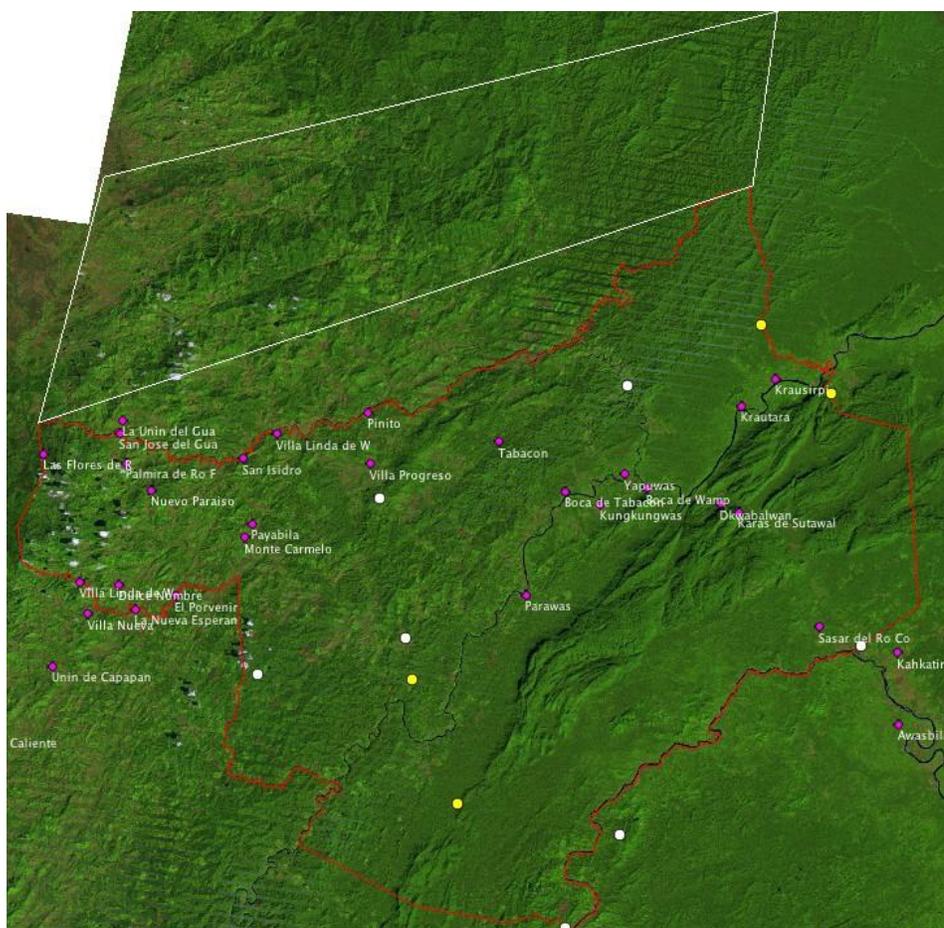


Fig. 2. Ubicación de las comunidades en la zona de estudio sobre imagen del satélite Landsat de 2010. Puntos de énfasis en blanco y amarillo

4.2 Tratamiento digital de Imágenes

A diferencia del estudio anterior (Dinámica de cambios entre 2005 y 2010) en el que se utilizaron métodos convencionales para determinar que imágenes se podrían utilizar en la clasificación de usos (ej. búsqueda de escenas Landsat para esta zona de estudio en varias

fuentes del Servicio Geológico de los Estados Unidos¹ (USGS por sus siglas en inglés)), en este estudio se utilizó tecnología de geoprocesamiento en la nube. Esta actividad fue desarrollada utilizando la plataforma planetaria de archivo y geoprocesamiento denominada Google Earth Engine GEE². Imágenes recientes del satélite Landsat 8 OLI³ correspondientes a octubre del año 2016 y enero del año 2017 fueron procesadas en GEE, y los valores digitales fueron transformados a reflectancia en el sensor (corrección radiométrica).

Un solo mosaico que corresponde a las tres escenas Landsat (16/49, 16/50, y 17/50) fue preparado en GEE también. Vale la pena anotar que este tipo de procedimiento es válido siempre y cuando no existan diferencias significativas en las fechas de adquisición de las imágenes. Por ejemplo, este proceso no se podría realizar con una imagen adquirida en el verano y otra adquirida en la época lluviosa. La razón primordial son los cambios en la fenología de la vegetación que pueden presentarse en un período húmedo con respecto a una temporada seca. Información del sensor L8 OLI NO tiene los mismos problemas de SLC (Wulder et al., 2008) reportados en el informe del estudio anterior. Por lo tanto, ninguna de las actividades de corrección, llenado de vacíos o ecualización de histogramas fue necesario.

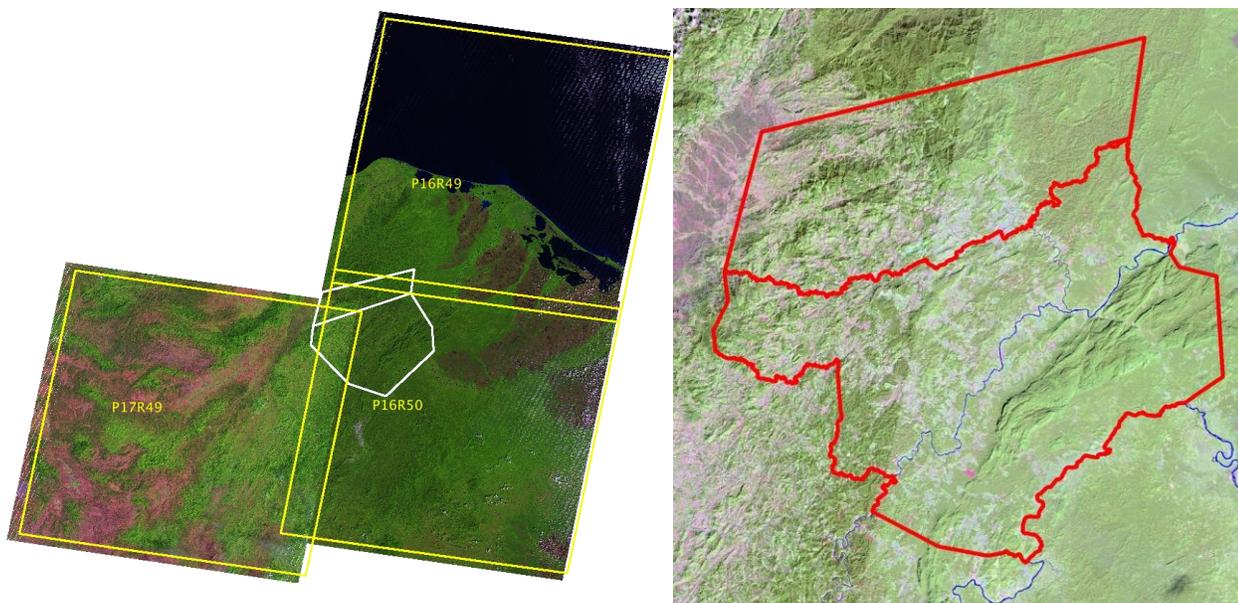


Fig. 3. Comparación del trabajo que era requerido antes (izquierda), y el nuevo protocolo aplicado usando GEE (derecha) para obtener un mosaico de la zona de estudio

¹ https://landsat.usgs.gov/Landsat_Search_and_Download.php

² <https://earthengine.google.com/platform/>

³ <https://landsat.usgs.gov/landsat-8>

Las actividades tendientes a realizar una corrección geométrica que asegura que todas las imágenes estén registradas y georreferenciadas a la proyección UTM WGS-84 y garantiza que un pixel en una imagen corresponde exactamente con el pixel de la imagen adyacente fueron llevadas a cabo en GEE también. La corrección radiométrica se utiliza para eliminar la influencia de los ángulos de incidencia solar y de salida de radiación de las superficies. Asimismo, busca minimizar los efectos atmosféricos de absorción y dispersión causados por partículas de distintos tamaños.

4.3 Recolección de muestras para la clasificación

Durante esta fase previa a la clasificación de las condiciones de cobertura se tomó como base el estudio realizado en 2010 para ICADE. En este estudio se definieron cinco clases de uso – cobertura del suelo: Bosque Latifoliado, Bosque Secundario, Bosque de Conífera, Usos Agropecuarios y Cuerpos de Agua. También se obtuvieron puntos en zonas que habían sido deforestadas recientemente y que eran evidentes en las imágenes utilizadas.

El cuadro siguiente proporciona información del número de puntos de vegetación que fueron recopilados para realizar la clasificación para el año 2017.

Tabla 2. Detalle del número de muestras recolectadas por tipo de uso para la clasificación 2010

Clase de Uso	Número de puntos
Usos Agropecuarios	666
Bosque de Conífera	89
Bosque Latifoliado	719
Agua	152
Bosque Secundario	322
Nubes	151
Total	2099

El método utilizado para capturar estos puntos se centró en la clasificación de usos que se realizó para el estudio de 2010. Utilizando la fuente de imágenes de alta resolución que existe en Google Earth, así como distintas combinaciones de bandas de la imagen Landsat OLI es que fue posible capturar un número de muestras superior a 2,000.

En la figura siguiente se puede observar la distribución de las muestras de vegetación. Nótese que las muestras están distribuidas a través de toda la imagen, pero se hizo un esfuerzo por capturar más puntos en aquellas áreas en las que la frontera agropecuaria ejerce más presión sobre el bosque.

Por otra parte, se trató en lo posible de generar una mayor concentración de puntos en las áreas identificadas como prioritarias por ICADE (ver figura 2). Una ventaja de tener más puntos de muestreo en una zona determinada es que invariablemente redundará en una clasificación más precisa en dicha zona.

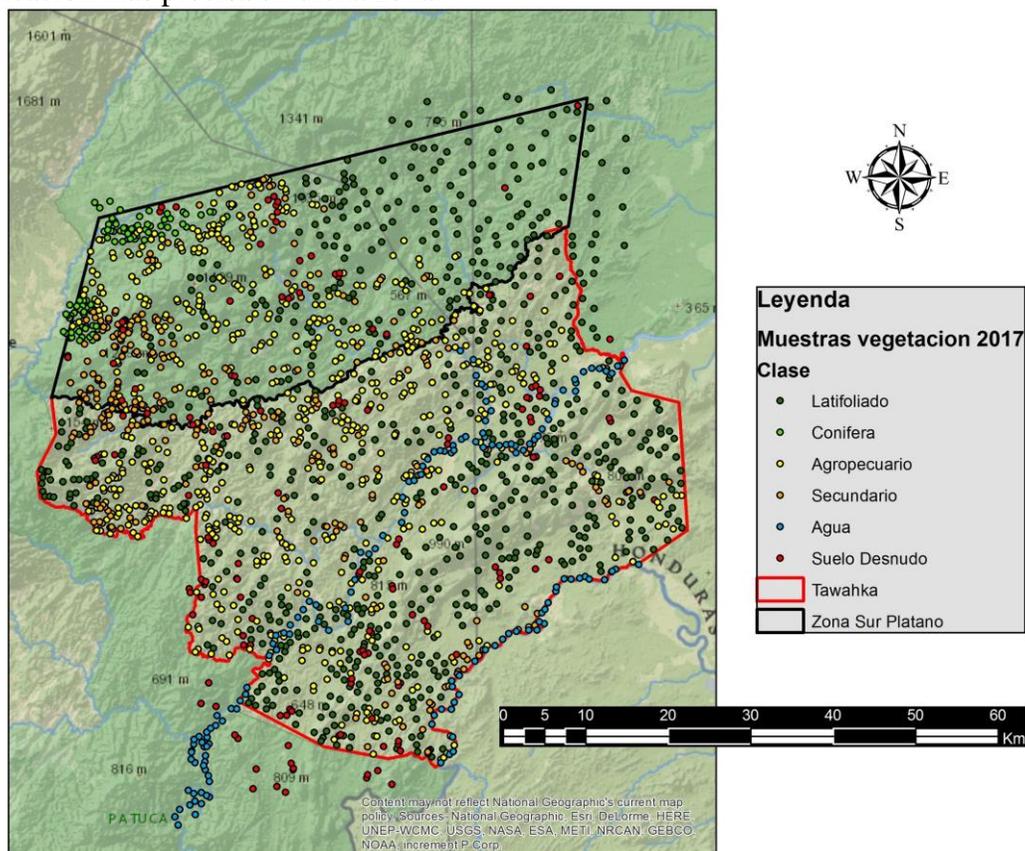


Fig. 4. Distribución de las muestras de vegetación en el contexto de las dos zonas de interés. Nótese la concentración de puntos en las zonas más dinámicas

4.4 Clasificación de la cobertura año 2017

4.4.1 Variables a utilizar

En este estudio se utilizaron las bandas con información espectral (reflectancia el sensor) del mosaico Landsat8 OLI, y también el factor topográfico por medio de un modelo de elevación digital MDE. A partir de las bandas espectrales se generó una transformación

denominada Brillo, Verdor, y Humedad (BGW por sus siglas en inglés). La inclusión de transformaciones como BGW (Crist and Cicone, 1984) ha sido demostrada de incrementar la precisión en modelos de clasificación y regresión en fenómenos de recursos naturales (Healey et al., 2005; Huang et al., 2002).

En este contexto, se contó con 10 variables (seis espectrales del sensor OLI, el modelo digital de elevación, y tres de la transformación BGW) independientes para modelar la variable de respuesta que es ente caso es la cobertura de la tierra en el período 2017.

4.4.2 Clasificación de los patrones de uso de la tierra

En el ambiente de geoprocesamiento de GEE se utilizaron varios algoritmos de clasificación. Estos fueron Support Vector Machines SVM (Pal and Mather, 2005), Classification and Regression Trees CART (Hernandez et al., 2012), y RandomForest (Cutler et al., 2007). Una ventaja fundamental en GEE es que los resultados de correr varios algoritmos, y de evaluar la precisión de cada uno puede ser realizada simultáneamente. En este contexto, los mejores resultados fueron obtenidos mediante la utilización de RandomForests. Vale la pena apuntar que de los 2099 puntos disponibles para la clasificación se utilizó el 80% (1679 muestras) para calibrar el modelo, y 420 puntos (20%) para validar la bondad de exactitud.

4.4.3 Validación de la Clasificación

Una parte fundamental de un proceso de modelación ecológica lo constituye la validación del modelo utilizado. En otras palabras, se trata de definir la bondad de ajuste o que tan buena está la clasificación de usos. Para este efecto se realizó una validación con una muestra independiente (muestras o puntos de vegetación que NO fueron utilizados para calibrar o ajustar el modelo de clasificación). Como se apuntó antes, para este estudio se dedicaron 420 muestras (20% de la población original) para la validación. A estas muestras se les extrajo la categoría de uso que el modelo RandomForests generó de acuerdo a las reglas establecidas, y se comparó con la muestra original. Esta información se proporciona en una matriz de confusión que se presenta en la sección de resultados.

4.5 Detección de cambios

Una vez que las clasificaciones a comparar están listas procede entonces a realizar un proceso de sobreposición espacial (pixel por pixel) para estimar la dinámica de cambios. Para este efecto se utilizó la clasificación resultante del año 2017 con la clasificación de usos obtenida en el estudio realizado a ICADE en 2010. Esta actividad se realizó en un sistema de información geográfico SIG. El resultado es una matriz que contiene una columna con la descripción de los usos para el 2017 y otra columna para los usos del 2010. Así cada fila en esta matriz corresponde con las distintas combinaciones o transiciones que se dan en el paisaje. Por ejemplo, una fila puede corresponder a la transición de bosque en 2010 a usos agropecuarios en 2017. Otra fila puede corresponder a una transición de bosque en 2010 a bosque en 2017. En el primer caso la transición puede ser catalogada como una pérdida de recursos, mientras que el segundo caso puede fácilmente designarse como no cambio.

El detalle de las transiciones obtenidas se presenta por cada una de las áreas protegidas en la sección de resultados. Debe mencionarse que existen una multitud de criterios para determinar si una transición de uso específica (Ej. Bosque a Agricultura) es una pérdida o ganancia. Esta es una arena muy subjetiva. Para un ingeniero que implementa un proyecto de urbanismo es una ganancia la remoción de bosque para tener otros usos más rentables económicamente. Sin embargo, para grupos ambientales esta misma transición representa una pérdida. En el caso de este estudio se utilizaron criterios estrictamente de conservación de la biodiversidad.

4.5.1 Cálculo de tasas de deforestación

Parte esencial de un análisis multitemporal es la estimación de las tasas de deforestación por año. De manera simple se pueden estimar dos tipos de tasas: globales y locales. La tasa global se estima para toda el área de interés sustrayendo la superficie de bosque del 2010 de la del 2017. Este resultado parcial nos arroja el área total de bosque que fue deforestada. Luego dicha superficie puede ser dividida entre el número de años (en nuestro caso siete años) para obtener el área deforestada promedio por año. Finalmente, esta área promedio anual puede ser dividida entre el área total para calcular la tasa anual de deforestación promedio global. En el caso de este estudio se utilizó las guías de la FAO (Pandey, 1995) para estimar tasas globales.

Sin embargo, interesa asimismo tener una idea de las tasas de deforestación locales en aquellas zonas de las áreas protegidas en las que se ha identificado una dinámica superior que el resto del área. Estas zonas se denominan hotspots de pérdida de biodiversidad. Para este estudio igual que el estudio de ICADE del 2010 se identificaron primero estas zonas, y luego se delimitó un área de amortiguamiento alrededor de dichas áreas. A estas áreas de amortiguamiento se les siguió el mismo procedimiento de cálculo de tasas globales de deforestación explicado arriba. Los resultados sobre tasas globales y puntuales de deforestación se discuten en la sección de resultados. Es conveniente conocer a que tasa (hectáreas por año) se están perdiendo los recursos forestales, pero reviste más importancia conocer los detalles específicos de estas pérdidas.

4.6 Actualización del mapa de ecosistemas

Para esta actividad se decidió seguir el mismo procedimiento que se ejecutó con el estudio de ICADE en 2010. Así al menos se puede garantizar un poder de comparación más justo y transparente ya que ambas actualizaciones se hicieron siguiendo el mismo procedimiento metodológico. En síntesis, el procedimiento consistió de sobreponer el mapa de ecosistemas resultante del estudio de ICADE en 2010 con el mapa de clasificación de usos del 2017. Así se detectaron cambios especialmente en la clase de ecosistema de bosque siempreverde y de usos agropecuarios para tener una idea clara de cómo los ecosistemas habían sido fragmentados (esencialmente el de Pinar y Latifoliado Siempreverde), y expandidos (Sistemas agropecuarios).

4.7 Corrección de superficies

En este estudio de 2017 las superficies reportadas han sido corregidas por artefactos estadísticos de error y sesgo. De esta forma se proporcionan estimados transparentes sobre la magnitud de las existencias (media estadística del proceso de contar píxeles y transformarlos en unidades de superficie hectáreas), y del error que acompaña a estas medias de cada clase de cobertura (bosque, agropecuario, etc.). La estimación del error permite el cálculo de bandas o intervalos de confianza (superior e inferior a la media). El procedimiento seguido para esta corrección de las superficies fue replicado a partir del estudio de (Olofsson et al., 2014), y que es ampliamente utilizado en reportes REDD y otras disciplinas a nivel mundial.

5. Resultados

5.1 Mapa de uso actual y existencias Reserva Tawahka

La figura 5 muestra las condiciones de cobertura para el escenario actual 2017. Es evidente el grado de fragmentación que se puede observar en la clase de bosque latifoliado comparado con los escenarios de cobertura del 2005 y 2010. Este proceso es significativo a través de todo Tawahka, con particular énfasis en las zonas centro-oeste y sur oeste de la reserva, lo cual es de esperarse ya que la influencia poblacional se ha incrementado históricamente desde este frente. Por otra parte, la zona cercana a los grandes ríos también exhibe mucha fragmentación. En una zona de Honduras donde la transportación fluvial sustituye en muchos casos la comunicación terrestre es una posibilidad que la actividad agropecuaria se incrementen en las zonas ribereñas.

Es evidente, un macizo de territorio cubiertos casi al 100% por bosque, en su mayoría primario en la zona Centro-Este de la reserva. La zona entre los ríos Patuca y Coco o Segovia (principalmente en el macizo montañoso que se evidencia en la figura 5) se encuentra en un estado de conservación digno de preservar, a juzgar por la reflectancia en la imagen satelital. Es preocupante sin embargo los corredores de usos agropecuarios que se han propagado a partir de los núcleos detectados en el estudio del 2010. Esto sigue un patrón lógico ya que de los asentamientos humanos es donde se expanden las actividades de agricultura y ganadería.

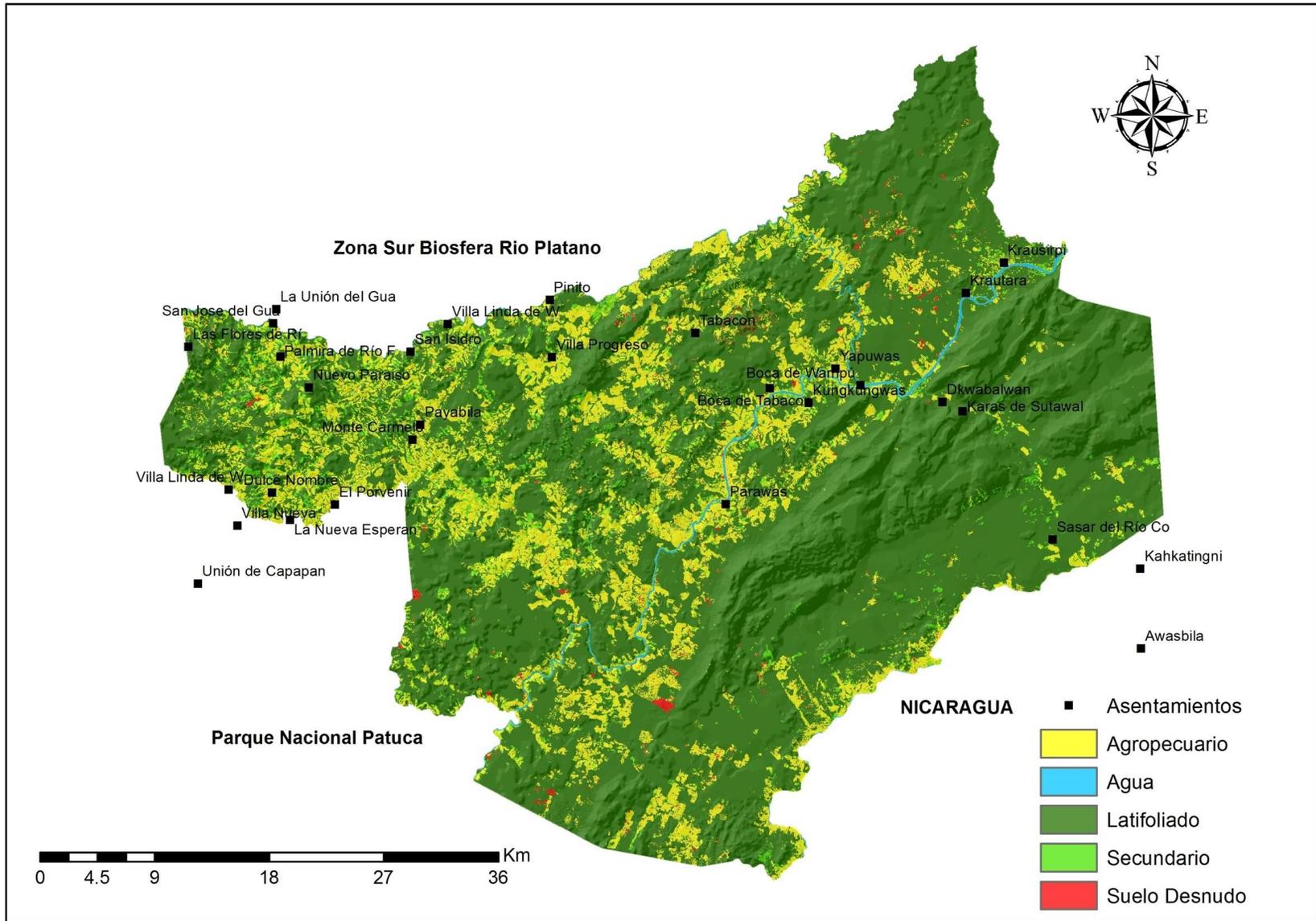


Fig. 5. Mapa de uso actual (año 2017) para la reserva Tawahka.

La distribución de la clase de bosque secundario sigue también un patrón esperado. La gran mayoría se concentran en la zona oeste en donde se han producido eventos de abandono de tierras, más conocido como barbecho. Esta situación temporal de recuperación del bosque generalmente debe esperarse en las zonas de transición espacial de usos agropecuarios a bosque primario. En el cuadro y figura siguientes se proporcionan las existencias para estos cuatro usos discriminados en la reserva Tawahka.

Tabla 3. Existencias en usos de la tierra año 2017 – Reserva Tawahka

Clase	Existencia 2010 (Ha)	2010 (%)	Existencias 2017 (Ha)	2017 (%)
Agropecuario	15898.4	6.35	42844.77	17.10
Agua	1157.7	0.46	1769.58	0.71
Latifoliado	224998.5	89.91	191513.34	76.46
Secundario	8193.5	3.27	13005.63	5.19
Suelo Desnudo *			1354.05	0.54

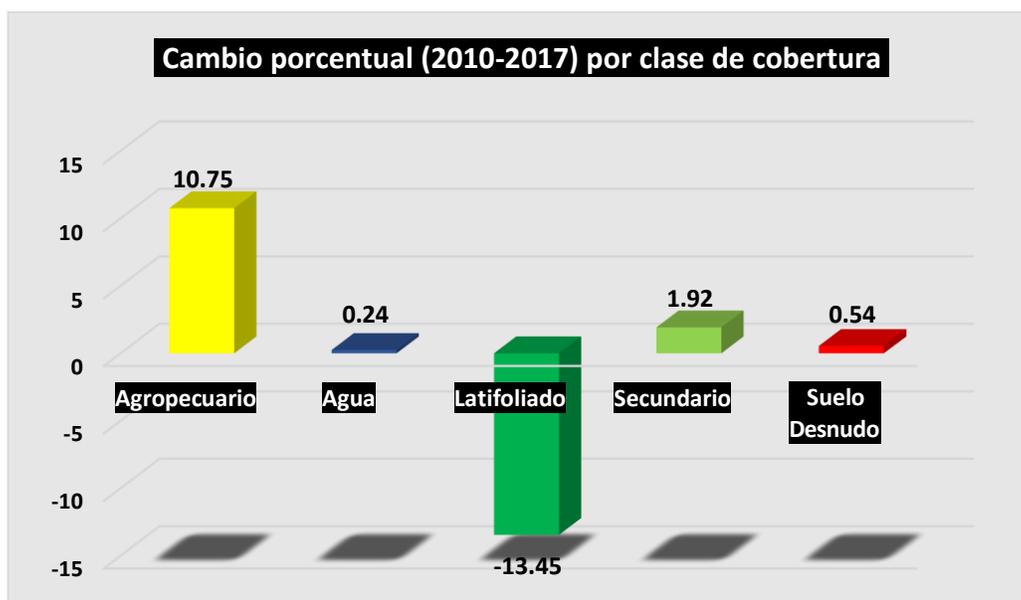


Fig. 6. Dinámica porcentual en las existencias 2010-2017 para la reserva Tawahka

Como puede verse arriba aproximadamente el 76% de la reserva Tawahka aún se encuentra bajo cobertura boscosa primaria (según apreciación sobre la imagen). Esto contrasta con casi el 90% que se ocupaba en 2010. Un aumento de casi el 11% se puede apreciar en los usos agropecuarios, lo que explica mayormente la disminución de más del 13% en las existencias

de bosque primario del 2010 al 2017. Los cambios notados en la clase de agua pueden deberse a errores de clasificación o temporalidad de adquisición de las imágenes satelitales. El espejo de agua de los grandes ríos puede variar notablemente dependiendo de la fecha de captura de la imagen, así como de la estacionalidad de la precipitación aguas arriba. Finalmente puede verse que los suelos desnudos es una clase nueva que no se incluyó en el estudio del 2010.

¿Pero que es lo que realmente significan estas cifras? Para dar respuesta a esta inquietud deben de ponerse estas cifras del presente en el contexto del pasado reciente. Así uno puede darse cuenta cómo han evolucionado las clases de cobertura en los 7 años que separan los dos estudios. Este el contenido de la siguiente sección.

5.2 Dinámica de uso en la Reserva Tawahka

La bondad de disponer de un estudio multitemporal de la cobertura de la tierra puede observarse en la siguiente figura donde se muestra las áreas que en el período del 2010 al 2017 conservaron la misma clase de cobertura (la persistencia) o que de otra forma experimentaron algún tipo de cambio en su cobertura (transición).

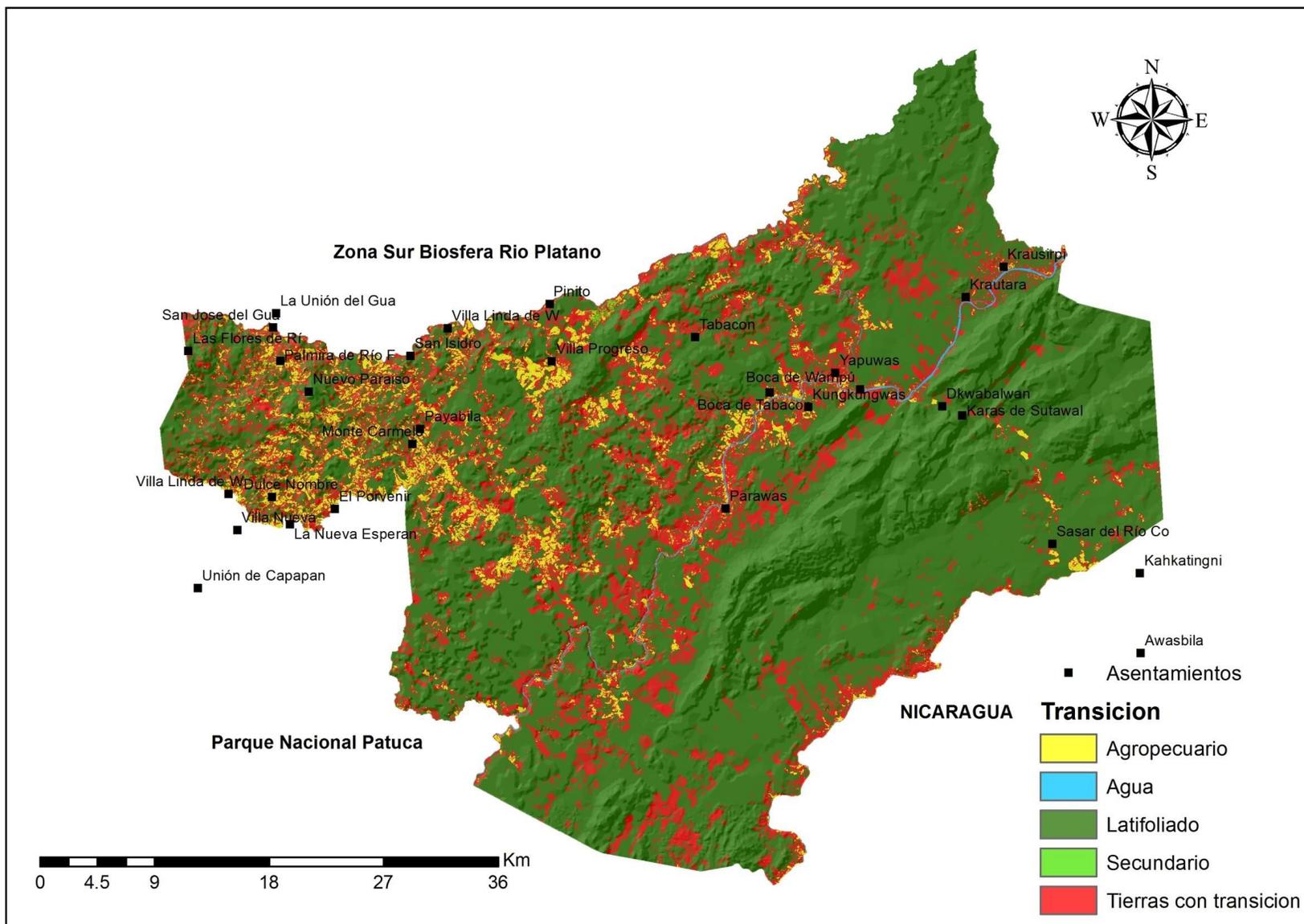


Fig. 7. Persistencia y transición entre 2010 y 2017 para la reserva Tawahka.

Para el área de Tawahka la distribución por categoría de esta dinámica se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 4. Dinámica en la Reserva Tawahka: 2010 - 2017

Transición	Superficie (Ha)
Persistencia Agropecuario	12486.69
Persistencia Agua	957.6
Persistencia Latifoliado	186970.59
Persistencia Secundario	1897.92
Tierras con transición	48174.57

El cuadro 4 generaliza la dinámica que ocurre en el área protegida. La persistencia de usos agropecuarios a lo largo de 7 años generalmente indica que son tierras que ya no cambiarán de uso en el futuro cercano. Corresponden así a zonas que han sido consolidadas tanto para agricultura o para fines de ganadería. Por otra parte, la baja magnitud de la clase de Bosque Secundario tiene mucha lógica. El hecho que para esta clase la persistencia sea de apenas 1897 hectáreas. Esta clase está sujeta a varios destinos: puede progresar hacia un bosque más consolidado si es dejado en descanso por un tiempo suficiente o por lo general puede volver a ser desmontado para actividades de ganadería o agricultura una vez que ha dejado la fase de barbecho. Debe entonces considerarse al Bosque Secundario como una clase muy dinámica. La figura facilita la comparación de la dinámica de persistencia para los dos estudios multitemporales que se han llevado a cabo en Tawahka. Nótese que la persistencia en bosques latifoliados se ha reducido en más del 11%, mientras que la magnitud de las tierras que migran usos (transición) aumentó en 7%.

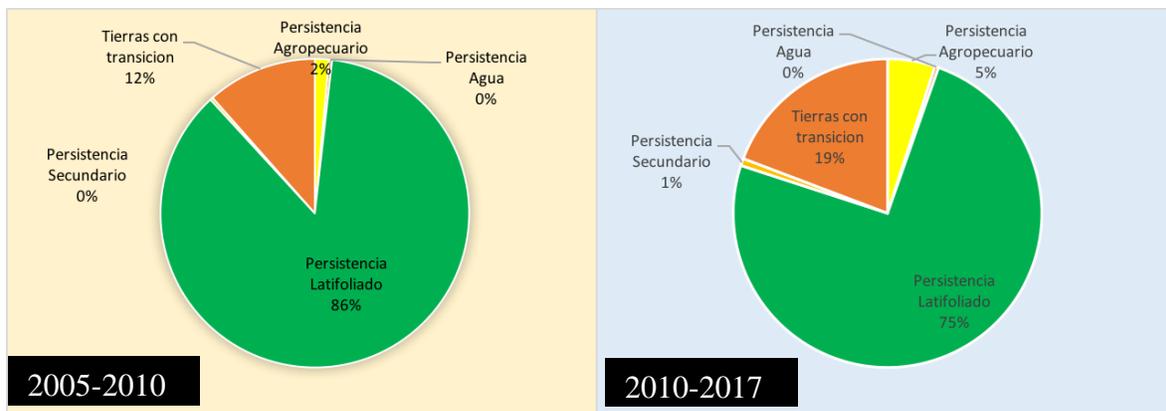


Fig. 8. Fracciones de persistencia y transición (2005-2010) – (2010-2017) para la reserva Tawahka.

Aunque las clases que se observan persistentes son valiosas, reviste mucha más importancia la clase de Tierras en Transición ya que es aquí donde están concentrados los cambios que se han experimentado durante los últimos 7 años. Un 19% de la extensión territorial de la reserva observó cambios. Esta cifra para una zona que reviste tanta importancia por su riqueza biológica es alarmante.

La notoriedad que revisten las clases de transición es multifacética:

- a) Pueden tratarse de zonas que han entrado en un proceso de recuperación o descanso (barbecho) de una clase agropecuaria a un bosque secundario.
- b) Para esta zona de Tawahka se trata de áreas de bosque latifoliado que fueron deforestadas para usos agropecuarios. Esta es la transición más preocupante ya que además de perder recursos biológicos se abren nuevos espacios para que en el futuro se pueda seguir con la frontera agrícola o ganadera a expensas del bosque primario.
- c) Finalmente puede tratarse de cambios que tienen una relevancia menor como zonas ocupadas por usos agropecuarios o de bosque ribereño y que han sido sustituidos por agua. Esto ocurre generalmente cerca de los ríos de mayor envergadura.

El detalle de lo que ocurrió a lo interno de esta clase de transición se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 5. Detalle de las tierras en transición. Reserva Tawahka: 2010-2017

Clases 2010 ↓	Clases 2017→				
	Agropecuario	Agua	Latifoliado	Secundario	Suelo Desnudo
Agropecuario	12486.69	203.31	1162.71	1970.55	90.54
Agua	51.75	957.6	97.02	41.31	
Latifoliado	27385.29	537.21	186970.59	9095.85	1222.38
Secundario	2921.04	71.46	3283.02	1897.92	41.13

En el cuadro anterior las zonas en persistencia (sin cambios) están denotadas en azul. Las ganancias en verde y las pérdidas en rojo. La transición de Latifoliado a secundario puede considerarse una ganancia ya que implica que en primera instancia fue bosque que se removió para otros usos, y luego fue dejado en descanso. Sin embargo, representa una pérdida comparado con el uso original que era bosque primario. Del cuadro 5 quizás el punto más importante de apuntar es la transición de Bosque Latifoliado a Usos Agropecuarios. Del total de tierras en transición (48,174 hectáreas) esta categoría ocupa el 56% de las mismas. Esta

es sin duda la categoría de cambio que fue mapeada con mayor precisión durante la clasificación y posterior análisis multitemporal debido a la gran diferencia espectral que existe entre las zonas boscosas y las de uso agropecuario. Esta categoría de transición es indudablemente una pérdida desde un punto de vista conservacionista. También merece reconocimiento la transición de usos agropecuarios a bosque secundario. Esta es una transición que puede ser catalogada como recuperación ya que corresponde a aquellas áreas que fueron puestas en un sistema de barbecho o descanso. Es significativo el hecho que esta transición ocupa aproximadamente un 4% de todas las tierras que experimentaron un cambio en los últimos 7 años. Finalmente se desea traer a colación la categoría de transición de bosque secundario a bosque latifoliado. Esta categoría debe verse con dos tipos de potencial. El primer potencial es que son zonas que fueron abandonadas completamente y lograron consolidarse como bosque puro. Esta es una posibilidad latente en zonas del trópico por la alta capacidad de recuperación que tienen los bosques, por supuesto en la ausencia de influencia humana. La segunda opción para estas áreas es que pudieron ser clasificadas erróneamente durante el estudio del 2010 y en lugar de haber sido bosque secundario se trataba de bosque latifoliado. Es probable según esta suposición que dichas zonas no hayan experimentado ningún cambio en el último quinquenio.

Conocer la dinámica global de la reserva ayuda a darse cuenta de forma rápida de los acontecimientos en la cobertura vegetal en los últimos 7 años. Sin embargo, corresponde cuando sea posible de conocer la dinámica local en una zonificación con fines de manejo. En este caso la zonificación provista por ICADE para la reserva Tawahka.

Cuando se compara los resultados obtenidos en 2010 (de 2005 a 2010) era notorio que ICADE había realizado una excelente labor en la delimitación por zonas de la reserva Tawahka. La vasta mayoría de los cambios observados de 2005-2010 se encontraban localizados en la zona de amortiguamiento.

Sin embargo, la relación espacial de ganancias y pérdidas para el período actual (2010-2017) presenta una situación completamente distinta. La figura 12 es contentiva de la distribución espacial de las pérdidas y ganancias en el contexto de la zonificación que el proyecto ICADE ha definido para la Reserva Tawahka. Como puede verse de primera entrada la distribución

espacial de las zonas en transición (sean pérdidas o ganancias) es similar en todas las zonas excepto la Zona Histórico Cultural en su sección Centro Sur y Noreste.

Se proporciona a continuación la tabla 6 en la que se detallan las ganancias y pérdidas por tipo de zona.

Tabla 6. Ganancias y Pérdidas en Reserva Tawahka en el contexto de Zonificación ICADE

ZONA	Ganancia	No Cambio	Perdida	% Ganancias	% Pérdidas	% Estable
Zona de Amortiguamiento	3273.48	32796.18	12559.68	6.7	25.8	67.4
Zona de Uso Extensivo	520.11	23689.44	7161.12	1.7	22.8	75.5
Zona de Uso Múltiple	837.27	6354.72	3836.52	7.6	34.8	57.6
Zona Histórico Cultural	415.17	50380.74	3154.95	0.8	5.8	93.4
Zona Núcleo	1096.02	83958.66	13483.89	1.1	13.7	85.2
Zona Uso Especial	651.96	4920.75	1141.92	9.7	17.0	73.3

Nota: La 2,3, y 4 columna están en hectáreas. Los porcentajes están calculados con respecto al total de cada categoría.

Es claro que las dos zonas de mayor dinámica son la de amortiguamiento y la de uso múltiple, ya que presentan las fracciones superiores en términos de ganancias y pérdidas. En ninguna de las zonas identificadas las ganancias compensan en porcentaje a las pérdidas. Como puede verse las pérdidas superan a las ganancias en todas las categorías de manejo, especialmente en las zonas de amortiguamiento, uso extensivo y uso múltiple. Es interesante que las zonas Núcleo y la Histórico-Cultural son las que menos pérdidas presentaron relativas a su superficie original, y también tienen las mayores fracciones de paisajes estables (sin cambios). Es claro que la zona de amortiguamiento está cumpliendo su objetivo de regulador de las influencias externas que pueden socavar la cantidad y calidad de los recursos presentes en la zona núcleo.

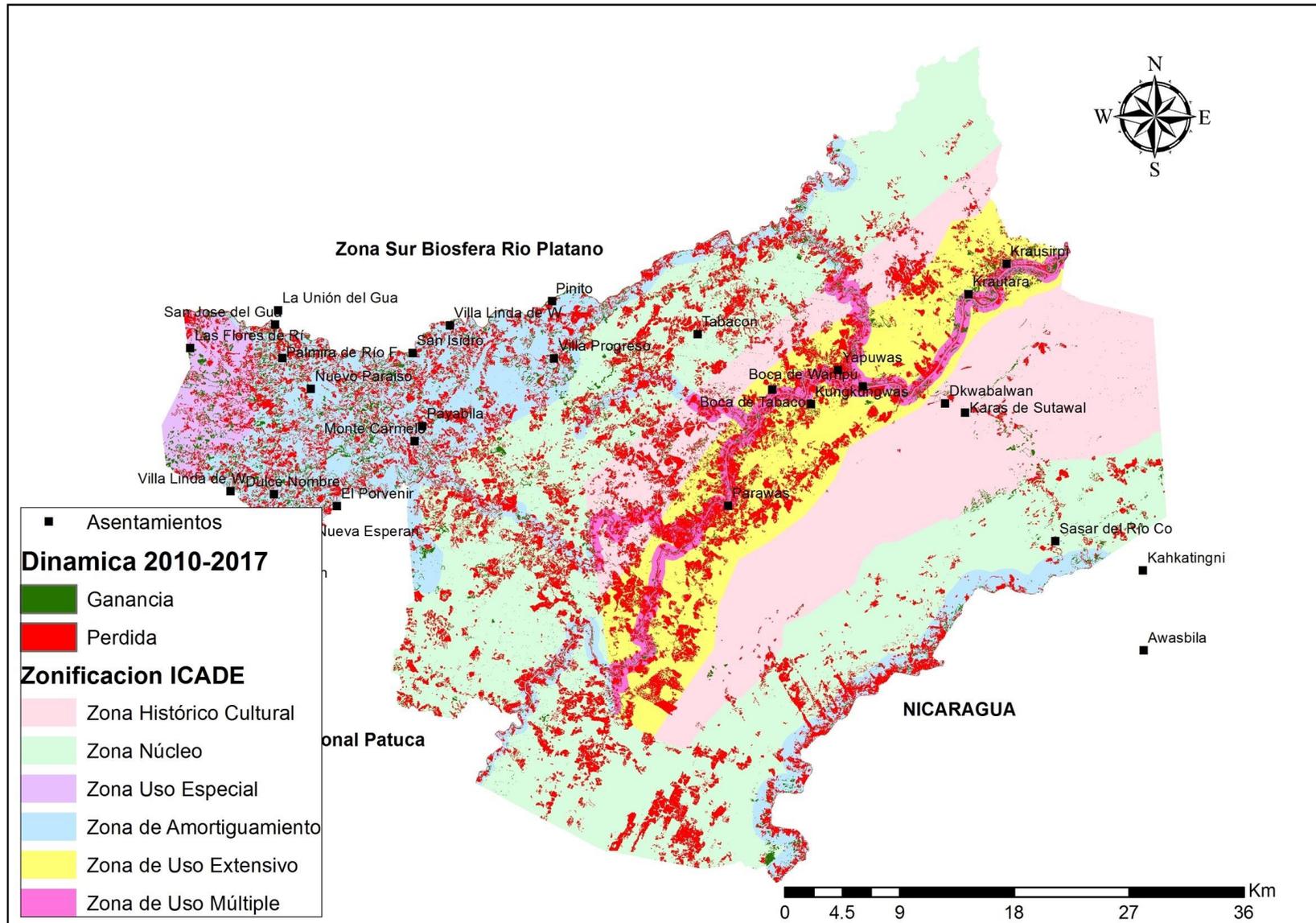


Fig. 9. Ganancias y Pérdidas en relación a la zonificación en la reserva Tawahka.

5.3 Tasas de deforestación globales y zonales en la Reserva Tawahka

La tasa de deforestación global estimada para la reserva Tawahka en el año 2010 fue de 0.32%. Esto correspondió a una pérdida del bosque latifoliado de 3615.8 hectáreas. Para este estudio se ha calculado una pérdida global del bosque latifoliado de 33485.16 hectáreas que da una tasa anual del 2.28%. Conocer la tasa global es importante. Sin embargo, conviene más conocer las tasas zonales de pérdida del recurso latifoliado en la zona de Tawahka. Esta se proporciona en la tabla 7.

Como puede verse en la tabla, una tasa global de deforestación para toda el área de reserva es importante pero no cuenta toda la historia de la dinámica de los recursos en la zona. Por ejemplo, de la zonificación de ICADE se puede ver que **la zona de Uso Múltiple es la que cuenta con la tasa anual de deforestación más alta. Esta es incluso alarmante ya que llega al 6.40%. Una situación similar se encuentra en la Zona de Amortiguamiento y la zona de Uso Extensivo.** Por otra parte, la zona de Uso Histórico Cultural reporta la tasa anual más baja (apenas 0.80%). Esta zona es seguida por la zona Núcleo que reporta un 2%.

Ahora debe de ser claro que las tasas de deforestación, aunque son importantes no pueden concentrar la historia completa de la dinámica de cambios en una zona de interés.

Como puede verse en la misma tabla, todas las categorías reportan tasas positivas de recuperación en el bosque secundario, con la excepción de la Zona de Uso Múltiple. Las zonas Histórico Cultural y la Núcleo tienen las tasas más altas de recuperación. Esto es interesante por varios aspectos. Se puede percibir que proporcionalmente estas dos zonas han observado la mayor dinámica en el bosque latifoliado de parches que fueron inicialmente removidos y luego dejados en barbecho. Aunque las tasas de recuperación en bosque secundario podrían explicar una tendencia positiva, debe recordarse que estos bosques primarios fueron inicialmente removidos, y aunque estén en su fase de descanso en la actualidad, pueden ser removidos nuevamente y de forma más fácil ya que la estructura joven del bosque lo permite.

Tabla 7. Tasas interanuales de deforestación en la Reserva Tawahka en el contexto de Zonificación ICADE

Hectáreas

Zona	Latifoliado en 2017	Latifoliado en 2010	Secundario en 2017	Secundario en 2010
Zona de Amortiguamiento	26048.61	34731.09	5762.7	4609.98
Zona de Uso Extensivo	23252.04	29774.07	1098.81	614.88
Zona de Uso Múltiple	4783.68	7624.89	1010.97	1055.34
Zona Histórico Cultural	50218.65	52992.81	761.67	306.18
Zona Núcleo	81976.05	94314.87	3570.12	983.7
Zona Uso Especial	5033.07	5559.84	786.87	630.54
	Latifoliado Tasa Anual - deforestación		Secundario Tasa Anual – recuperación . deforestación	
Zona de Amortiguamiento	-4.0		3.2	
Zona de Uso Extensivo	-3.5		8.6	
Zona de Uso Múltiple	-6.4		-0.6	
Zona Histórico Cultural	-0.8		13.9	
Zona Núcleo	-2.0		20.2	
Zona Uso Especial	-1.4		3.2	

Notas

- Las diferencias se calcularon sustrayendo la existencia actual 2017 de la del 2010
- La tasa anual de deforestación se calcula dividiendo la diferencia entre la existencia del 2010, y siguiendo (Pandey, 1995)
- Una tasa negativa significa deforestación (celdas en rojo), mientras que una positiva corresponde a una recuperación (celdas en verde)

5.4 Mapa de uso actual y existencias Zona Sur Biósfera Rio Plátano

La figura 10 proporciona la distribución espacial de los usos de la tierra para el presente año 2017. Nótese que la diferencia sustancial con respecto a la reserva Tawahka radica en que la clase de bosque Conífera está presente en esta área de conservación. La distribución del bosque pinar se circunscribe esencialmente a la zona noroeste de esta área de interés. Asimismo, en la zona este se encuentra un macizo de bosque latifoliado en la zona noreste de gran magnitud que presenta casi cero intervenciones. Esta no es la condición del bosque de conífera que se exhibe especialmente fragmentado dada su cercanía a diversos asentamientos humanos. La distribución de los usos agropecuarios es mayormente dispersa con las mayores concentraciones en la zona sur (norte de reserva Tawahka). En el siguiente cuadro se proporcionan las existencias para el escenario 2010 y el escenario actual 2017.

Tabla 8. Existencias en usos de la tierra año 2010 y 2017 – Zona Sur Rio Plátano

Clase	Existencia 2010 (Ha)	2010 (%)	Existencias 2017 (Ha)	2017 (%)
Agropecuario	16675.6	11.48	28552.77	19.68
Agua	0	0.00	204.48	0.14
Conífera	3695.1	2.54	2857.68	1.97
Latifoliado	124378.2	85.63	98502.3	67.90
Secundario	508.3	0.34	14354.73	9.90
Suelo Desnudo			596.88	0.41

La zona sur de la Biósfera R. Plátano tiene un área inferior a la reserva Tawahka (aproximadamente 105 mil hectáreas). No obstante, el área ocupada por usos agropecuarios es proporcionalmente superior (casi 3% más que Tawahka). Esto es un indicativo claro del dinamismo en esta zona de reserva biológica. Lo anterior no debería de extrañar ya que esta porción de la reserva R. Plátano presenta un conglomerado de asentamientos humanos en la zona oeste que se ve sumamente consolidado. Se proporciona la figura siguiente para establecer una comparación directa en el comportamiento de las existencias entre 2010 y 2017. Rápidamente se puede apreciar que existe casi un 18% de existencias menos en el bosque latifoliado en el periodo actual que hace 7 años. Esto contrasta con Tawahka en el cual el cambio reflejado en las existencias para bosque latifoliado fue de menos 13%. Los cambios en usos agropecuarios no fueron tan altos (8.2%) como los observados en Tawahka (10.75), pero los cambios positivos en bosques secundarios son casi 4 veces superiores a los

observados para la otra zona de estudio ej. 9.5% comparado con 1.9%. También se puede observar un cambio negativo en las existencias de bosques de coníferas de la mitad de un punto porcentual. Tratando todos estos valores de forma integral es claro que esta zona es fraccionalmente mucho más dinámica que la zona de Tawahka y está en línea con lo reportado en el estudio realizado en 2010.

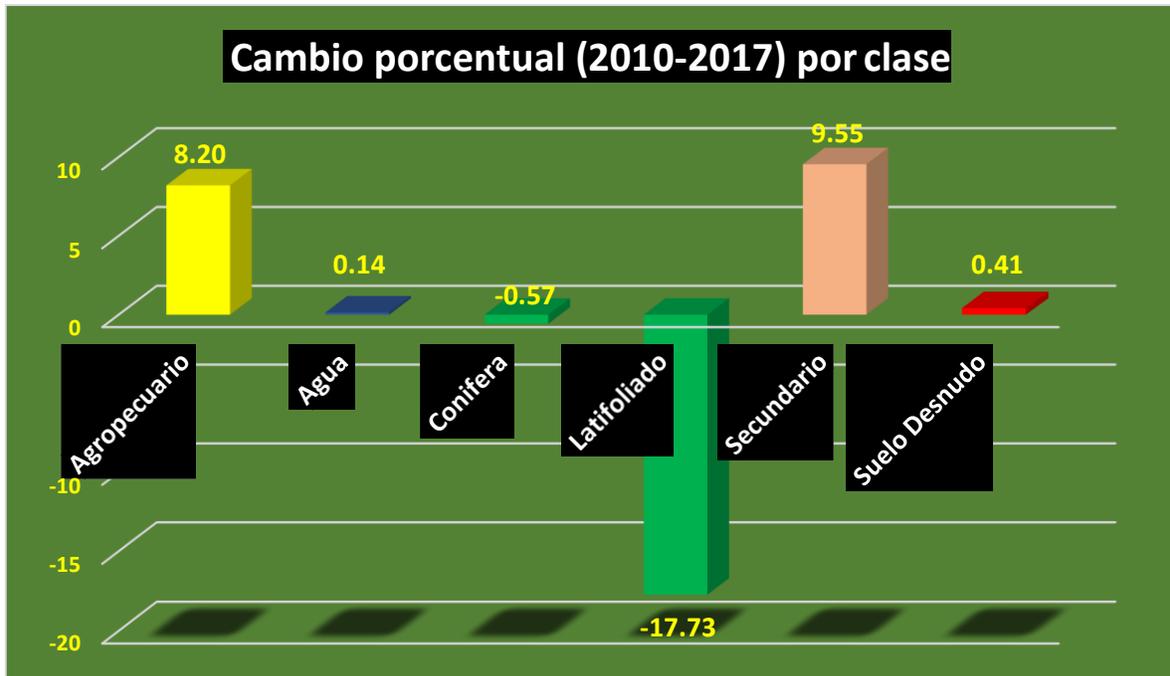


Fig. 10. Dinámica porcentual en las existencias 2010-2017 para la zona Sur Biósfera Río Plátano

Al igual que la reserva Tawahka se presenta la dinámica de cambios encontrada en la siguiente sección.

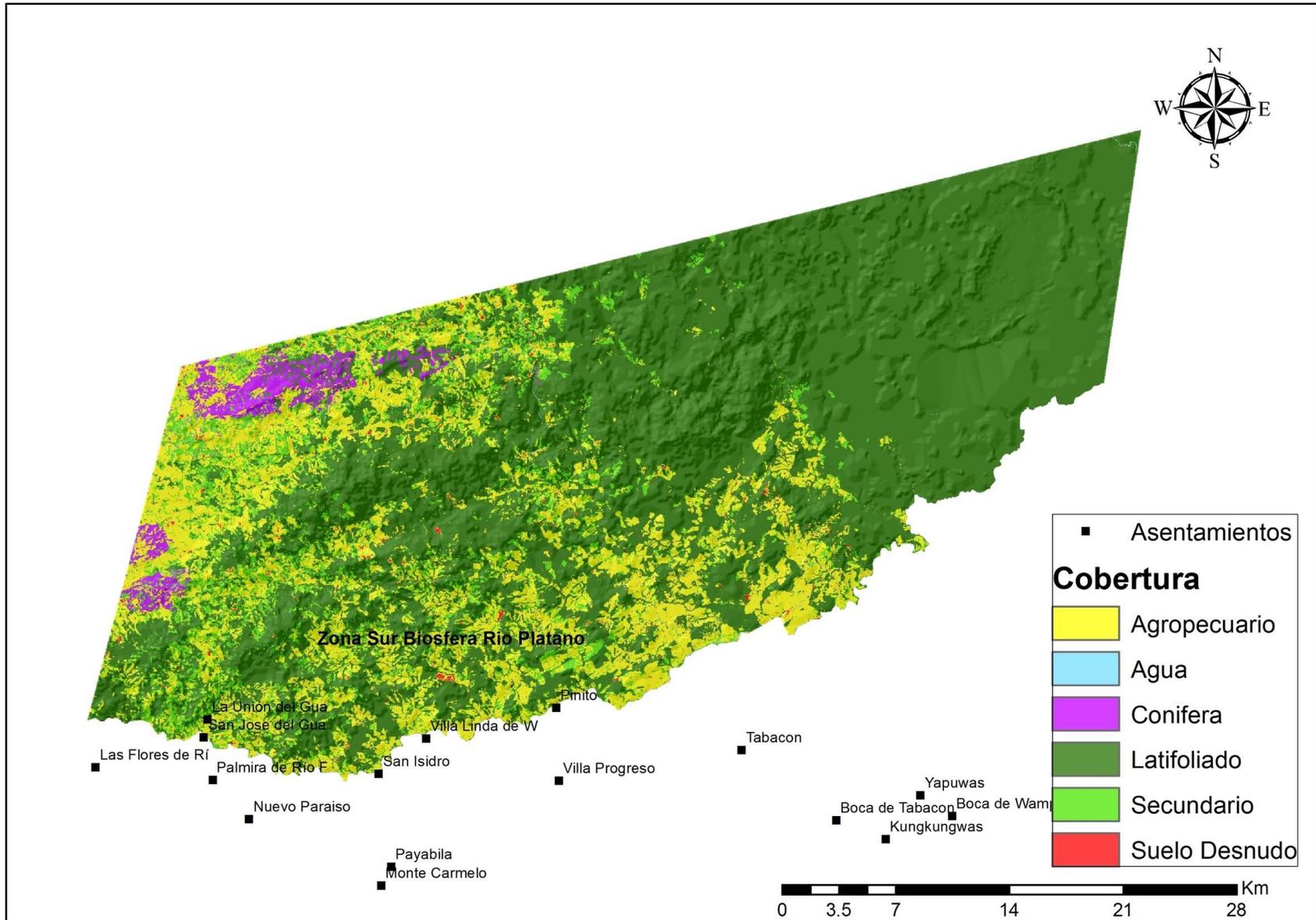


Fig. 11. Mapa de Uso actual (año 2017) para la Zona Sur Rio Plátano.

5.5 Dinámica de uso en la Zona Sur de la Biósfera Rio Plátano

Se presentan a continuación la tabla 9 y figura 12 que denotan cuantitativa y gráficamente la dinámica de cambios en la Zona Sur de R. Plátano.

Tabla 9. Dinámica en la Biósfera Rio Plátano: 2010-2017

Transición	Ha
Persistencia Agropecuario	13639.5
Persistencia Agua	0.27
Persistencia Conifera	2857.68
Persistencia Latifoliado	98014.05
Persistencia Secundario	189
Tierras con transición	30368.34

A diferencia de la reserva Tawahka en la que las zonas de persistencia en usos agropecuarios contabilizaban un 5% del área total, en la biósfera R. Plátano esta cifra es aproximadamente el doble. Probablemente esta diferencia radica en que las zonas oeste de la reserva existen asentamientos más consolidado que en Tawahka. Estas condiciones pueden garantizar existencias territoriales de agricultura y ganadería considerable. El porcentaje de Bosque Latifoliado que persistió durante los últimos 7 años es inferior al reportado en Tawahka, ya que en la ZSRBP es de 67% comparado con 75% encontrado en Tawahka. No se pueden realizar comparaciones respecto al Bosque Conifera ya que esta clase de uso no se presenta en Tawahka.

Al observar el mapa de tierras en transición (Figura 12) se percibe un comportamiento sumamente similar con la reserva Tawahka. La dispersión de zonas en transición es sumamente atomizada y dispersa en aproximadamente el 50% del área de conservación desde el Oeste hacia el Este. Una comparación visual rápida entre las fracciones de persistencia y transición del estudio del 2010 y del presente estudio se puede obtener de la figura 13. Lamentablemente la persistencia de bosques latifoliados bajó en un 18%, mientras que las zonas en movimiento aumentaron en un 13%. Una tendencia de los 7 años en preservar las zonas agropecuarias es evidente ya que casi el 10% de estas zonas se mantuvieron intactas.

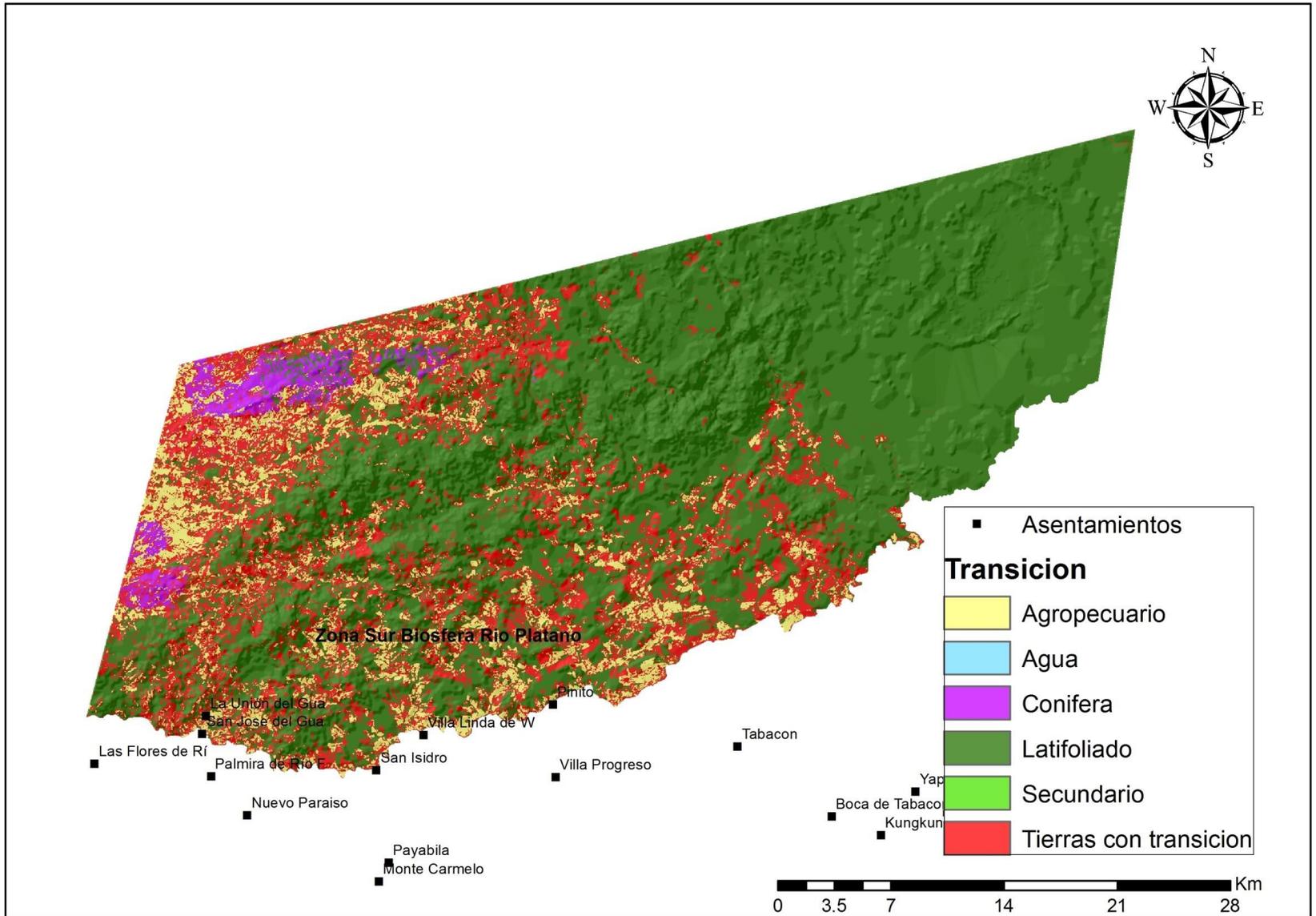


Fig. 12. Persistencia y transición entre 2010 y 2017 para la zona sur Biósfera Río Plátano.

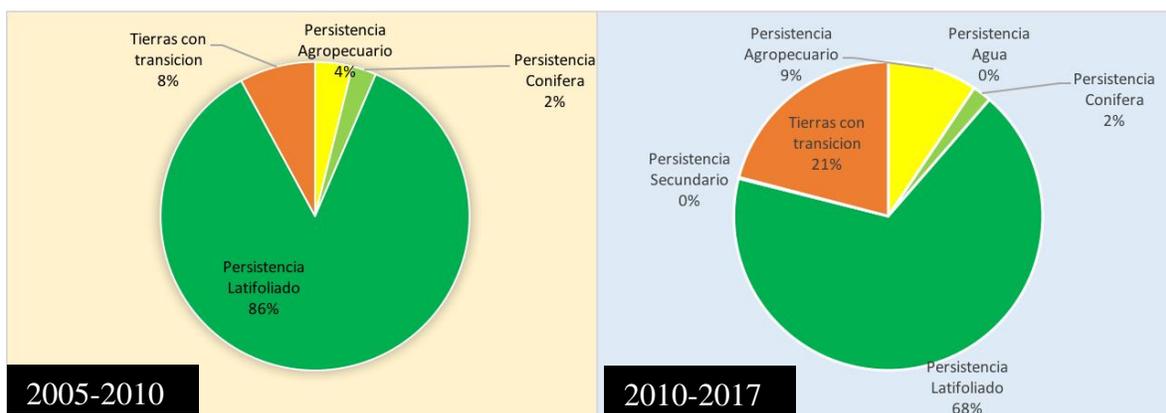


Fig. 13. Fracciones de persistencia y transición (2005-2010) – (2010-2017) para la zona Sur de Biósfera Rio Plátano

Conviene ahora describir las interioridades de las tierras en transición para la Zona Sur de R. Plátano.

Tabla 11. Detalle de las tierras en transición. Biósfera R. Plátano: 2010 - 2017

Clases 2010 ↓	Clases 2017→					
	Agropecuario	Agua	Conífera	Latifoliado	Secundario	Suelo Desnudo
Agropecuario	13639.5	36.54		433.08	2152.8	127.62
Agua		0.27				
Conífera	1056.6	14.04	2857.68		1257.84	24.57
Latifoliado	13598.46	150.48		98014.05	10755.09	440.19
Secundario	258.21	3.15		55.17	189	4.5

En el cuadro anterior las zonas en persistencia (sin cambios) están denotadas en azul. Las ganancias en verde y las pérdidas en rojo. La transición de Latifoliado y de conífera a secundario puede considerarse una ganancia ya que implica que en primera instancia fue bosque que se removió para otros usos, y luego fue dejado en descanso. Sin embargo, representa una pérdida comparado con el uso original que era bosque primario.

Existe una gran diferencia entre las transiciones que ocurrieron en la reserva Tawahka y las que podemos apreciar para la biósfera R. Plátano. En primer lugar, cabe resaltar que el 44% de las tierras en transición correspondieron a la sustitución de bosque latifoliado por usos agropecuarios. Este es un claro indicador del nivel de deterioro a que están sometidos

los recursos forestales en esta zona. El cambio de uso de bosque pinar por agricultura y ganadería solo representa un 3% de las zonas en movimiento de clases de cobertura

Finalmente se desea acotar que en esta zona de R. Plátano las oportunidades de recuperación del bosque (zonas en descanso por barbecho) son mínimas en comparación con la reserva Tawahka. Aquí encontramos que apenas un 8.5% de las tierras en transición corresponden a un cambio de usos agropecuarios en 2010 por bosque secundario en 2017. Esto demuestra que las tierras que fueron previamente desmontadas para agricultura y ganadería continúan siendo explotadas sin oportunidades de recuperación.

Se acompaña también la figura 14 que muestra la distribución espacial de las ganancias y pérdidas. Existe una clara correlación o asociación entre las zonas clasificadas como pérdidas entre este mapa y el mapa anterior de persistencia y transición. La razón debe de ser obvia ya que la vasta mayoría de los cambios o transiciones correspondieron a zonas que fueron deforestadas durante el periodo de estudio. El resultado es más que evidente ya que las zonas verdes (ganancias) ocurren de forma muy dispersa en la zona de estudio. Como se ha expresado a lo largo de este documento la relación de que se considera una pérdida o una ganancia corresponde íntegramente a factores de conservación del bosque y suelo. Por ejemplo, las transiciones que conlleven a una clase de bosque secundario se toman como una ganancia mientras que cualquier transición que tenga como fin último los usos agropecuarios se considera una pérdida.

5.6 Tasas de deforestación en la Zona Sur de la Biósfera Rio Plátano

A continuación, se puede evaluar el cuadro 12 que presenta las tasas interanuales de deforestación tanto para la clase de bosque latifoliado como para la clase de bosque pinar. Es digno de mencionar que para ambos tipos de bosque las tasas anuales de deforestación son muy similares, siendo la de bosque de conífera un 0.3% superior. Al compararlo con los resultados obtenidos en el estudio del 2010 se encuentran diferencias extraordinarias. La tasa de deforestación anual calculada para el quinquenio 2005-2010 fue de 1.42% para latifoliado y 0.25% para conífera. Esto representa que para el bosque latifoliado la deforestación del 2010 al 2017 aumentó a más del doble. No obstante, esto queda

sumamente empequeñecido en comparación al bosque de conífera en el cual la tasa anual se incrementó 14 veces en los últimos 7 años.

Tabla 12. Tasas interanuales de deforestación en la Biósfera Río Plátano

	Existencias			
	Latifoliado2017	Latifoliado2010	Conifera2017	Conifera2010
Zona Sur Biósfera Río Plátano	98502.3	124378.2	2857.68	3695.1
	Latifoliado Tasa Anual		Conífera Tasa Anual	
Zona Sur Biósfera Río Plátano	-3.3		-3.6	

Es importante anotar que para la zona sur de R. Plátano no se dispone de una zonificación como se hizo para Tawahka. En este sentido no se estimaron tasas de deforestación zonales. Para la zona sur R. Plátano, las pérdidas de cobertura vegetal se distribuyen en toda la zona de forma equitativa en el contexto espacial de la zona de interés, y no sigue un patrón de conglomerado como era el caso de Tawahka. En otras palabras, no se justifica en estimar tasas de reducción del bosque de manera zonal si la remoción de la cobertura ocurre con un patrón casi aleatorizado en toda la extensión de la zona de conservación.

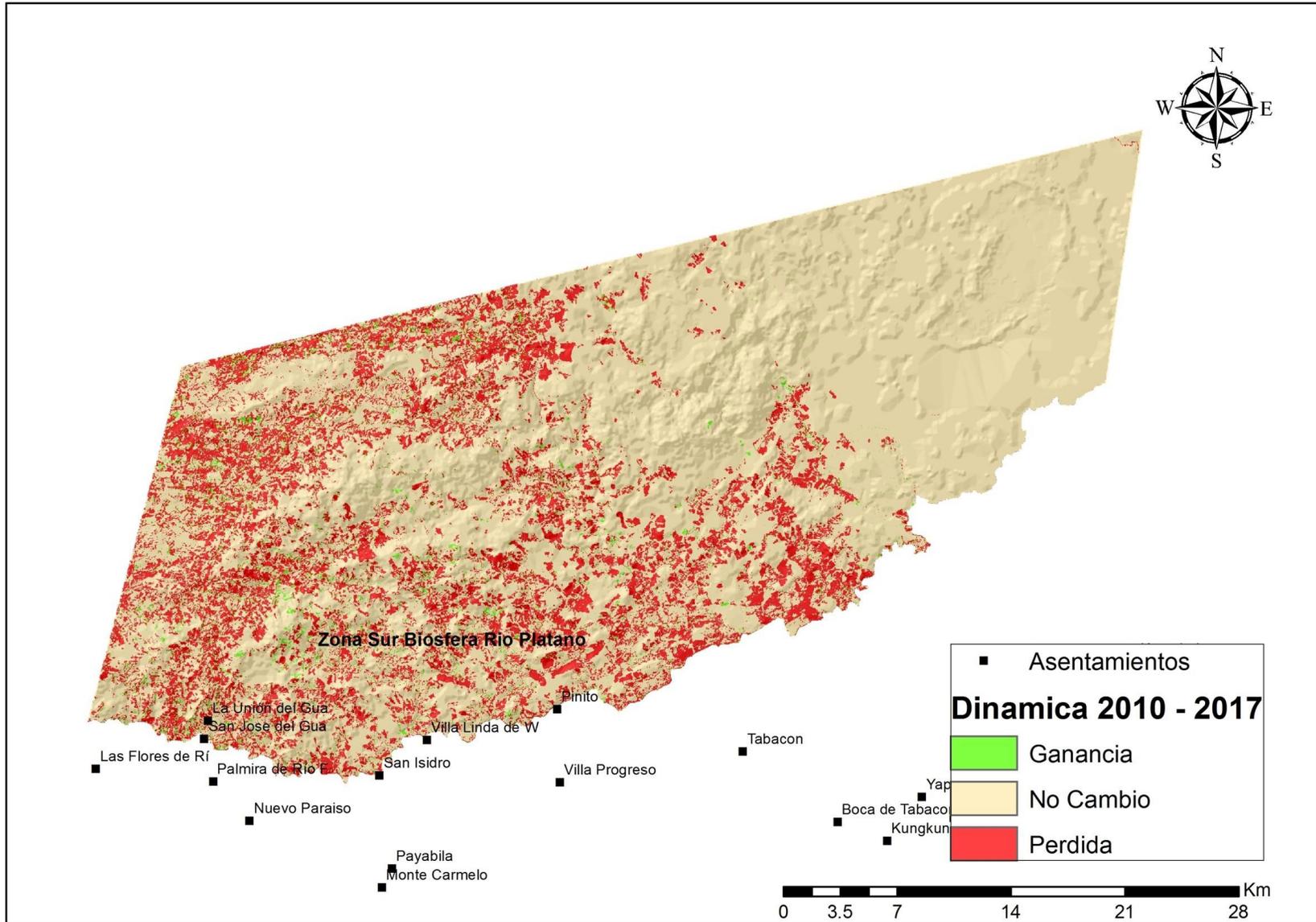


Fig. 14. Ganancias y Pérdidas en la biósfera de Río Plátano en el período 2010-2017

5.7 Validación de la clasificación 2017

En el cuadro 13 se presentan los resultados de validación del modelo de clasificación para el año 2017. Este es un reporte transparente de qué tipo de error los usuarios pueden esperar cuando usen los mapas en campo. Como se puede ver la exactitud general de la clasificación es de 92.6%. Es evidente que modelar la cobertura de la tierra utilizando RandomForest fue una excelente opción. Obsérvese también que en la matriz de confusión se han proporcionado las exactitudes por tipo de uso de la tierra tanto para el productor (en este caso el consultor), así como para el usuario (en este caso el receptor del trabajo ICADE). Esta matriz se puede interpretar de la siguiente manera: si una persona llevara un mapa de cobertura al campo 100 veces, el 88% de esas veces la cobertura de bosque latifoliado estaría correcta, y el 100% de las veces los espejos de agua. La diagonal de esta matriz representa el número de puntos o muestras por cada clase que fueron correctamente clasificados. El resto de muestras que están fuera de la diagonal representan el error en la clasificación.

Tabla 13. Matriz de confusión para determinar bondad de ajuste de la clasificación de usos de la tierra 2017

		Observado – Google Earth						Exactitud del Usuario
		BL	BC	UA	BS	A	SD	
Modelado por Random Forest ⇒	BL	125	2	0	14	0	0	88.65%
	BC	0	77	0	3	2	0	93.90%
	UA	0	0	291	1	0	7	97.32%
	BS	12	0	3	159	0	5	88.83%
	A	0	0	0	0	35	0	100.00%
	SD	0	0	7	0	3	56	84.85%
Exactitud del Productor ⇒		91.24%	97.47%	96.68%	89.83%	87.50%	82.35%	Exactitud General 92.64%

Clave: UA Usos Agropecuarios; BC Bosque Conífera; BL Bosque Latifoliado; A. Agua; BS Bosque Secundario; SD. Suelo Desnudo

5.8 Actualización del mapa de ecosistemas

Tal y como se describió en la metodología el procedimiento propuesto para actualizar los ecosistemas no pudo realizarse por carencia de variables con suficiente resolución espacial (pixel de 30 metros). No obstante, se corrió un modelo de actualización equivalente al realizado para ICADE en 2010. Los resultados se condensan en la tabla siguiente y figuras 15 y 16.

Tabla 14. Existencias por ecosistema. Previo 2000 y actualizado 2017

Ecosistema	Área Previo – 2000 (Ha)	Área 2017 (Ha)	Diferencia (Ha)	Cambio %
Bosque tropical siempre verde latifoliado de tierras bajas, bien drenado	82089.9	71861.9	-10228.0	-12.5
Bosque tropical siempre verde latifoliado de tierras bajas, moderadamente drenado en suelos calcáreo	4804.3	4563.9	-240.4	-5.0
Bosque tropical siempreverde estacional aciculifoliado de tierras bajas, moderadamente drenado	1557.5	752.2	-805.3	-51.7
Bosque tropical siempreverde estacional latifoliado, submontano	555.5	367.8	-187.7	-33.8
Bosque tropical siempreverde estacional latifoliado de tierras bajas, bien drenado	125090.6	96245.0	-28845.6	-23.1
Bosque tropical siempreverde estacional latifoliado de tierras bajas, moderadamente drenado	2312.1	1483.5	-828.6	-35.8
Bosque tropical siempreverde estacional latifoliado de tierras bajas, en colinas kársticas onduladas	27671.7	26987.0	-684.6	-2.5
Bosque tropical siempreverde estacional latifoliado montano inferior	6903.5	6041.4	-862.1	-12.5
Bosque tropical siempreverde estacional latifoliado submontano en colinas kársticas onduladas	15385.7	15351.8	-33.8	-0.2
Bosque tropical siempreverde latifoliado de tierras bajas, moderadamente drenado	27252.7	25481.7	-1771.0	-6.5
Bosque tropical siempreverde latifoliado montano inferior	2109.0	2067.4	-41.6	-2.0
Bosque tropical siempreverde latifoliado, submontano	25836.5	24347.6	-1488.9	-5.8
Rio de cuenca inferior del Caribe	1353.8	709.6	-644.2	-47.6
Sabana de gramínoideas cortos con árboles aciculifoliado	194.3	86.2	-108.1	-55.6
Sistema agropecuario	72320.8	119090.7	46769.9	64.7

Nótese en las evidencias de información que *la clase de ecosistema "Sistema Agropecuario" ha afectado absolutamente a todos los otros ecosistemas en su magnitud (superficie) y distribución espacial*. Véase que todos los ecosistemas reportan un diferencial de cambio negativo, con excepción del Sistema Agropecuario que tuvo un comportamiento positivo. Como casos excepcionales se pueden mencionar las clases de ecosistemas siempre verde estacional latifoliado en sus variantes, rio de cuenca inferior, y sabanas de gramínoideas. Por otra parte, los sistemas agropecuarios han incrementado 64% desde el 2000.

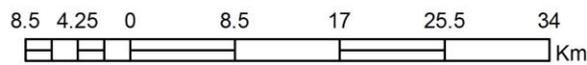
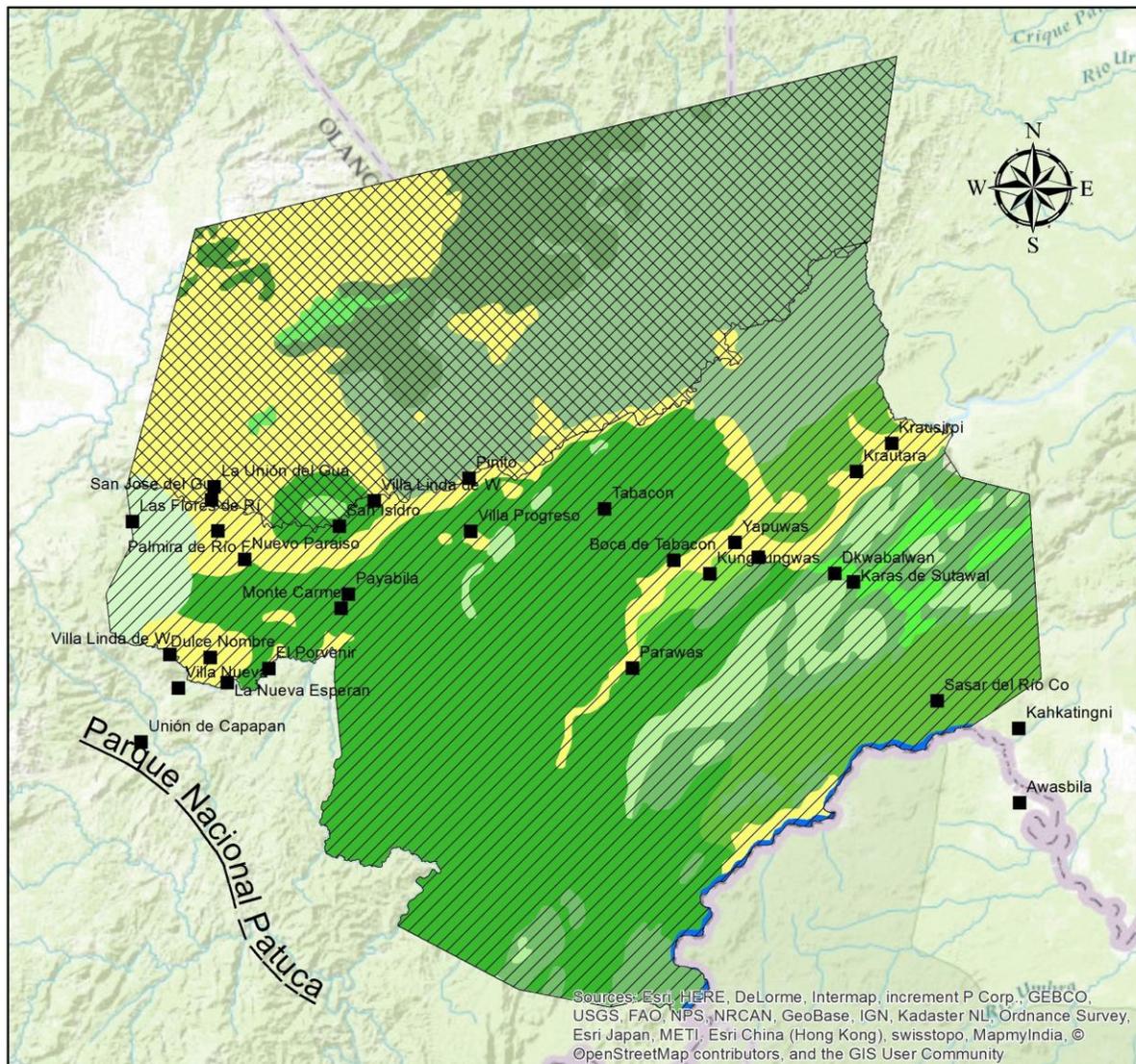


Fig. 15. Mapa de ecosistemas originales al 2000

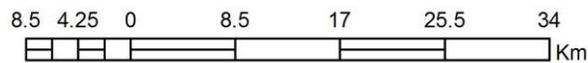
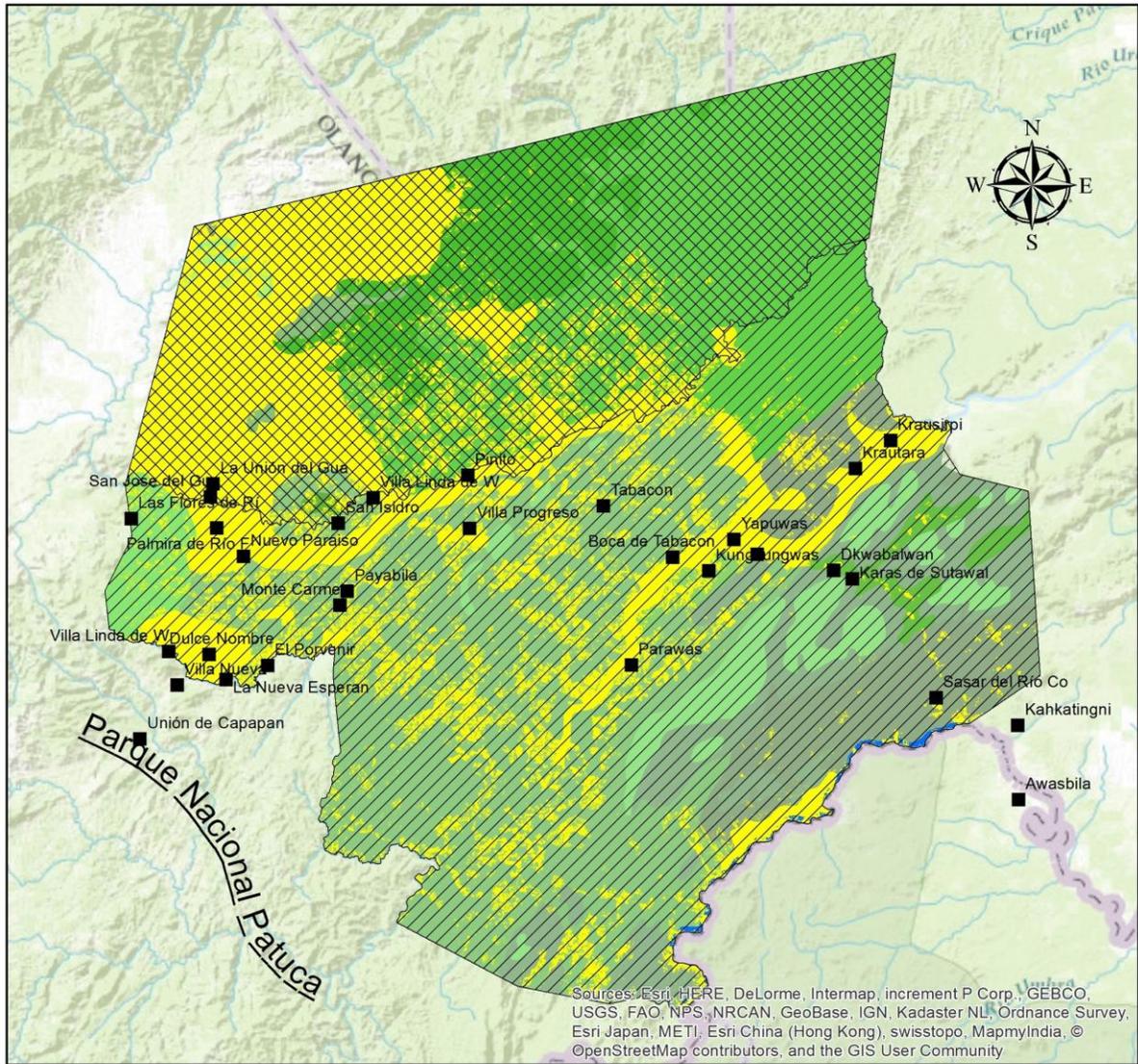


Fig. 16. Mapa de ecosistemas actualizados al 2017

5.9 Dinámica en las comunidades de influencia del proyecto

Hay una serie de zonas de influencia en las que ICADE desea conocer la dinámica de cambios local. En este contexto, ICADE proporcionó poligonales de comunidades para ser usadas en un SIG para extraer datos sobre cobertura forestal, y dinámica de cambios para tener indicadores de deforestación para cada una de estas comunidades. La siguiente figura muestra la distribución espacial de dichas comunidades en el contexto del área de estudio.

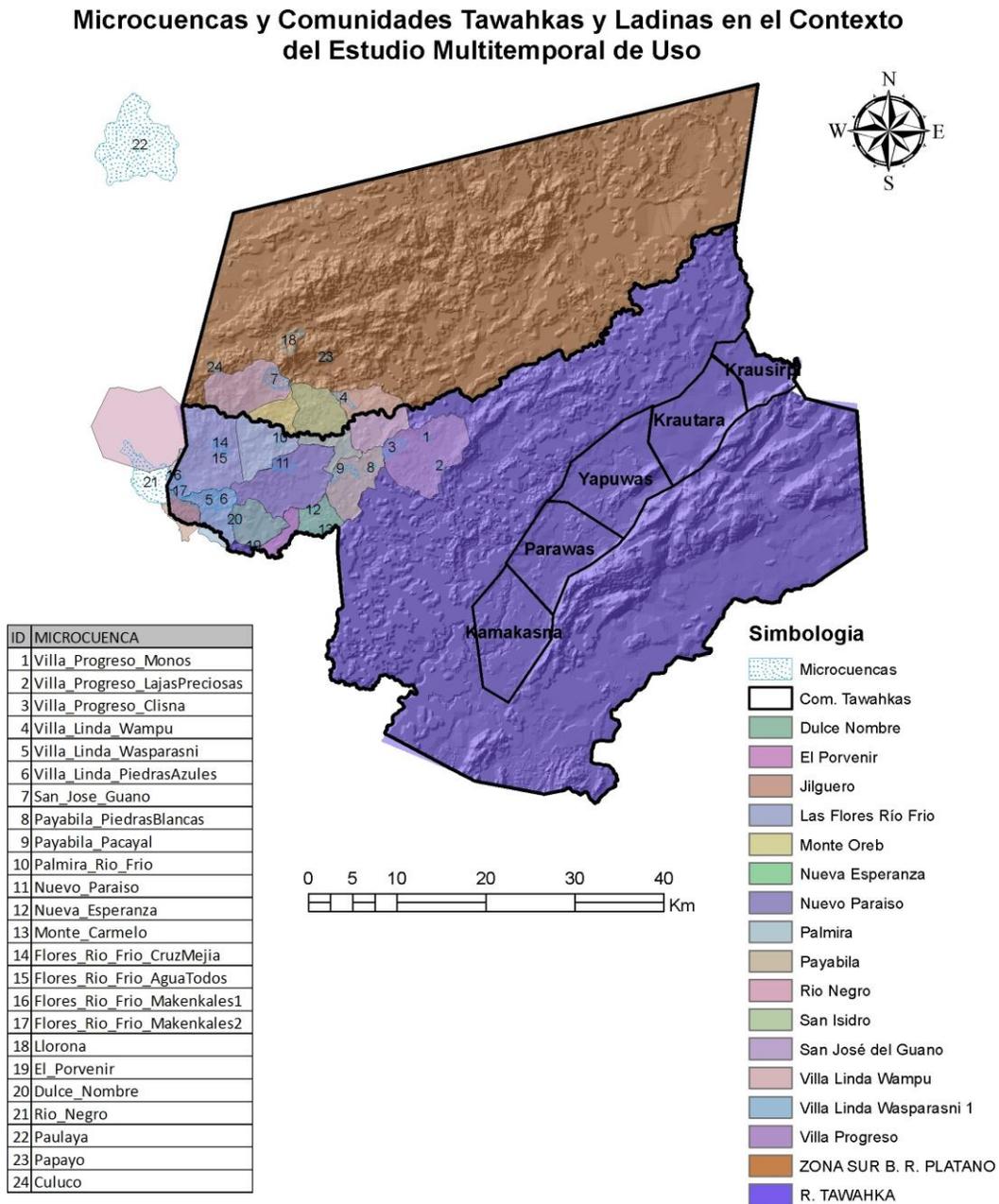


Fig. 17. Mapa de comunidades y microcuencas prioritarias.

En las tablas siguientes se proporciona detalles sobre la cobertura del uso para las microcuencas y comunidades de interés para ICADE. Si se observa el mapa de la figura 18 debe de ser claro que con relación a las comunidades ladinas no existe cubrimiento para la comunidad de Río Negro y para las comunidades de Jilguero y Villa Linda Wasparasni 1 solo existe cubrimiento parcial de acuerdo a lo procesado en esta investigación corta. En relación a las microcuencas no existe cubrimiento para Paulaya y solamente cubrimiento parcial para Río Negro. Salvo estas pocas excepciones existe información para el resto de las microcuencas y comunidades solicitadas.

Tabla 15. Existencias (Uso 2017) por Comunidad Tawahka

	Área Total	Agropecuario	%	Latifoliado	%	Secundario	%	Suelo Desnudo	%
Kamakasna	8838	2410.7	27.3	5851.0	66.2	262.5	3.0	158.6	1.8
Krausirpi	3971.97	367.5	9.3	3135.1	78.9	283.2	7.1	13.3	0.3
Krautara	8983.17	1066.6	11.9	7176.8	79.9	320.1	3.6	98.6	1.1
Parawas	8289.9	2747.4	33.1	4886.6	58.9	413.6	5.0	74.2	0.9
Yapuwás	10150.74	3201.9	31.5	5958.3	58.7	659.5	6.5	66.4	0.7

De las comunidades Tawahka es notable apuntar que Parawas es la que tiene el mayor cubrimiento absoluto y porcentual de usos agropecuarios con el 33% de su territorio cubierto por estos usos. Respecto al estado de conservación es la comunidad de Krausirpi y Krautara las que tiene el mayor cubrimiento relativo de bosque latifoliado con casi el 79% de su territorio en un estado boscoso. La mayor recuperación porcentual de zonas anteriormente deforestadas y convertidas en zonas de descanso o barbecho la podemos encontrar en la comunidad de Krausirpi ya que aquí se encontraron 283 hectáreas de bosque secundario lo que equivale a casi 7% de su territorio en condiciones de recuperación de zonas boscosas.

La relación con el período anterior 2010 puede apreciarse en la siguiente figura en la que los cambios en existencias para el bosque latifoliado, usos agropecuarios y bosque secundario son proporcionados.

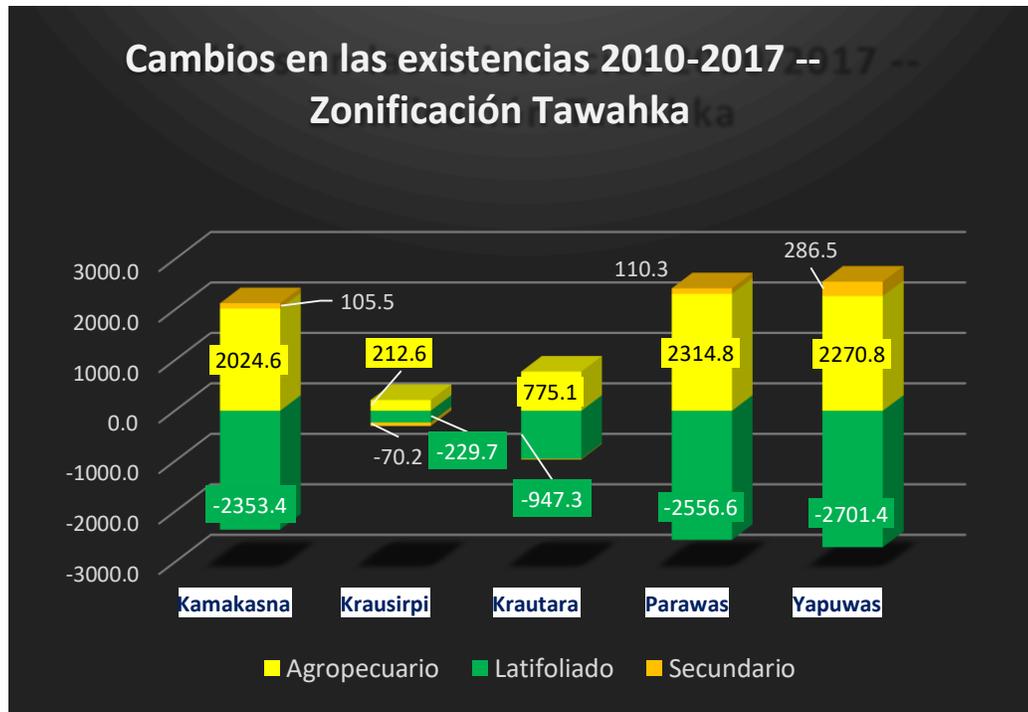


Fig. 18. Diferencial en existencias para las zonas de Tawahka entre 2010-2017.

Nótese que las zonas de Kamakasna, Parawas, y Yapuwas son las que han observado los mayores diferenciales en bosque latifoliado, mientras que la de Krausirpi es la que ha observado los menores cambios durante el período de estudio de 7 años.

En el cuadro siguiente se proporciona detalle sobre uso actual para las comunidades ladinas. El patrón de usos encontrados en las comunidades ladinas está acorde a lo apuntado en secciones anteriores de este documento en las que se anotó que la zona Centro-Este del área de estudio es que la que mayor grado de intervención tiene. Puede verse que el cubrimiento porcentual de usos agropecuarios es muy alto en promedio (30% en promedio para todas las comunidades). La Comunidad de Dulce Nombre, Nueva Esperanza y El Porvenir tienen más del 40% de su territorio bajo algún tipo de uso agrícola o ganadero. De estas comunidades ladinas hay dos casos excepcionales bajo un aceptable estado de conservación de las zonas boscosas. Estas comunidades son Jilguero y Las Flores del Río Frío que tienen ambas alrededor del 70% de su área total bajo cobertura de bosque latifoliado.

Tabla 16. Existencias porcentuales (Uso 2017) por Comunidad Ladina

Comunidad Ladina	Área total (Ha)	Porcentaje por clase de cobertura %				
		Agropecuario	Agua	Latifoliado	Secundario	Suelo Desnudo
Dulce Nombre	2306.61	40.3	0.0	40.0	19.4	0.3
El Porvenir	967.05	47.5	0.0	41.4	11.0	0.1
Jilguero *	883.8	12.0	0.0	72.5	15.4	0.0
Las Flores Rio Frio	6079.14	14.7	0.3	71.4	12.7	0.9
Monte Oreb	1469.16	38.1	1.8	40.6	18.9	0.5
Nueva Esperanza	1456.56	40.4	0.0	48.5	10.8	0.3
Nuevo Paraiso	5573.16	33.1	0.0	52.2	14.5	0.3
Palmira	3038.85	31.0	0.0	48.7	19.8	0.5
Payabila	3189.87	33.8	0.0	53.3	12.5	0.3
San Isidro	4252.77	32.8	0.6	53.0	13.2	0.4
San Jose del Guano	4281.12	23.1	0.5	52.4	23.5	0.5
Villa Linda Wampu	4100.13	33.1	0.9	53.7	11.8	0.5
Villa Linda Wasparasni 1 *	2079.54	22.9	0.0	63.9	12.8	0.3
Villa Progreso	5960.43	26.5	0.0	65.2	8.2	0.1

* Comunidades con cubrimiento parcial. El área total mostrada para estas comunidades no es el área total delimitada en campo, sino que solo representa el área cubierta durante este estudio.

Respecto a la recuperación de zonas boscosas se puede concluir que la comunidad de San Jose del Guano tiene la cobertura porcentual más alta. Aquí podemos ver que el 23% de su territorio ha experimentado algún tipo de dinámica que permite acondicionar zonas agropecuarias para descanso o barbecho. Notables datos de recuperación se pueden ver también para la comunidad de Dulce Nombre y Palmira.

La relación proporcional para estas mismas comunidades ladinas en los 7 años que cubre este estudio puede verse en la figura 18. De una forma rápida se puede evaluar qué comunidades han experimentado un crecimiento proporcional en usos agropecuarios y una reducción en el bosque primario. Comunidades como San José del Guano, San Isidro y Monte Oreb son casos que llaman a la preocupación por la inclinación de la magnitud negativa de cambios en el bosque primario. *Nótese que TODAS las comunidades han observado reducciones en las existencias de bosque desde el 2010 al 2017.*

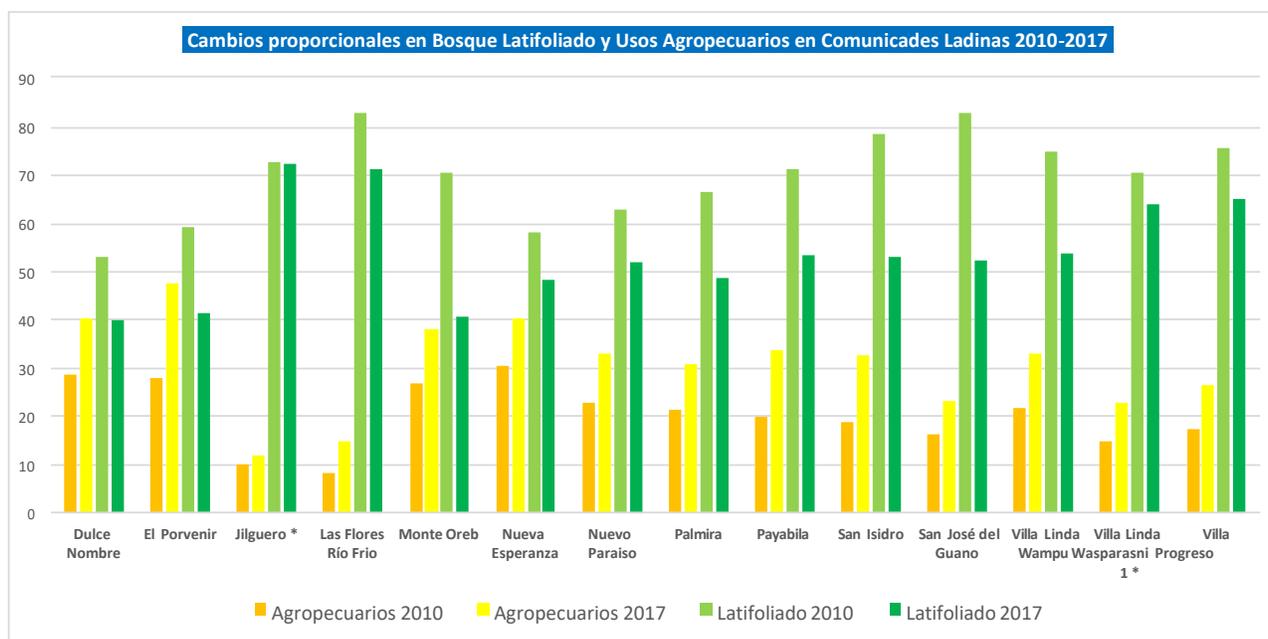


Fig. 19. Diferenciales proporcionales (%) en existencias para las comunidades ladinas de Tawahka entre 2010-2017

Asimismo, ICADE proporcionó los límites para una serie de áreas productoras de agua (microcuencas) en las que se desea conocer la información de existencias. Estas se proporcionan en el cuadro 17. Esta información de existencias puede servir para apoyar un proceso de selección de microcuencas a ser (a) restauradas, (b) servir como ejemplo de manejo para otras áreas, (c) protegidas dado su estado actual de conservación, o (d) realizar actividades que consoliden la actividad económica existente para proteger el recurso existente. Hay una serie de microcuencas con cobertura de bosque primario superior al 90% (ej. Monte Carmelo, Villa Progreso) que pueden ser candidatas para la protección. Por otra parte, comunidades como el Porvenir con un cubrimiento de usos agropecuarios superior al 45% podrían ser candidatas para la restauración, especialmente si la carga poblacional que depende del servicio ecosistémico de agua es significativa. Más información sobre la idiosincrasia y la naturaleza de las actividades que se dan en comunidades como Palmira Río Frio y Papayo que tienen altas fracciones de bosque secundario debería de obtenerse antes de tomar decisiones para su manejo. ¿Se debe esto a que ha existido migración poblacional fuera de la microcuenca y por lo tanto hay zonas en descanso? La información que el estudio multitemporal provee sobre existencias y frentes de avance de la deforestación puede orientar el manejo y facilitar la ejecución de acciones en campo de tal forma que los recursos disponibles puedan ser optimizados y utilizados eficientemente.

Tabla 17. Existencias (Uso 2017) por Microcuenca Productora de Agua

Microcuenca	Area Total	Agrop.	%	BC	%	BL	%	BS	%	SD	%
Culuco	119.5	3.7	3.1		0.0	96.1	80.4	19.7	16.5		0.0
Dulce_Nombre	151.8	23.9	15.8		0.0	92.8	61.1	34.9	23.0	0.2	0.1
El_Porvenir	20.8	9.6	46.3		0.0	9.8	47.2	1.2	5.6	0.2	0.9
Flores_Rio_Frio_AguaTodos	102.7	17.6	17.1		0.0	71.3	69.4	13.2	12.9	0.6	0.6
Flores_Rio_Frio_CruzMejia	108.2	7.6	7.0		0.0	77.2	71.4	23.3	21.5	0.1	0.1
Flores_Rio_Frio_Makenkales1	140.5	1.5	1.1		0.0	134.2	95.5	4.8	3.4		0.0
Flores_Rio_Frio_Makenkales2	304.4	6.5	2.1		0.0	284.9	93.6	13.0	4.3		0.0
Llorona	360.4	37.4	10.4	0.1	0.0	272.9	75.7	49.3	13.7	0.6	0.2
Monte_Carmelo	13.7	0.8	5.9		0.0	12.8	93.4	0.1	0.7		0.0
Nueva_Esperanza	36.6	3.6	9.8		0.0	28.5	77.9	4.5	12.3		0.0
Nuevo_Paraiso	330.3	31.1	9.4		0.0	277.9	84.1	21.2	6.4	0.1	0.0
Palmira_Rio_Frio	89.8	25.6	28.5		0.0	39.8	44.3	24.5	27.3		0.0
Papayo	78.4	17.5	22.3		0.0	41.9	53.5	18.9	24.1	0.1	0.1
Payabila_Pacayal	266.5	69.8	26.2		0.0	146.3	54.9	50.0	18.7	0.5	0.2
Payabila_PiedrasBlancas	52.9	0.1	0.2		0.0	52.5	99.1	0.4	0.7		0.0
Rio_Negro *	68.3		0.0		0.0	68.3	100.0		0.0		0.0
San_Jose_Guano	440.9	16.5	3.7		0.0	407.4	92.4	16.8	3.8	0.2	0.0
Villa_Linda_PiedrasAzules	406.4	76.7	18.9		0.0	271.4	66.8	57.0	14.0	1.4	0.3
Villa_Linda_Wampu	194.9	31.3	16.1		0.0	152.0	78.0	10.4	5.3	1.2	0.6
Villa_Linda_Wasparasni	582.2	81.5	14.0		0.0	461.7	79.3	37.0	6.4	2.1	0.4
Villa_Progreso_Clisna	347.7	24.9	7.2		0.0	287.0	82.6	35.6	10.2	0.2	0.1
Villa_Progreso_LajasPreciosas	71.6	0.5	0.6		0.0	70.9	99.0	0.3	0.4		0.0
Villa_Progreso_Monos	36.0	0.7	2.0		0.0	35.3	98.0		0.0		0.0

* No existe cubrimiento total para esta microcuenca

Leyenda: Agrop. Usos Agropecuarios, BC. Bosque Conífera, BL. Bosque Latifoliado, BS. Bosque Secundario, SD. Suelo Desnudo.

6. Conclusiones

1. Se realizó la evaluación multitemporal de la cobertura boscosa para las dos áreas de conservación que interesan a ICADE: La Zona Sur de la Biósfera Rio Plátano y la Biósfera Tawahka Asangni. Esta evaluación fue realizada mediante la utilización de imágenes satelitales Landsat 8 Operational Land Imager OLI con una resolución espacial de 30 metros o un área mínima de 900 m². El período de análisis fue desde el año 2010 hasta el presente año 2017. Para el escenario o año 1 (2010) se utilizó la clasificación de cobertura que se ejecutó para ICADE en 2010. El escenario 2 o año 2017 fue realizado utilizando *imágenes recientes de Octubre 2016 y Enero 2017*.
2. La clasificación realizada para el 2017 es de una calidad superior que la efectuada para el año 2010 por varias razones:
 - a. La calidad de las imágenes con un cubrimiento cercano al cero por ciento de nubes, y sus fechas de adquisición que garantizan la captura más reciente de datos sobre la cobertura actual de las zonas en estudio.
 - b. La distribución de las muestras de vegetación que fueron tomadas usando imagen de alta resolución de Google Earth y las cuales incluyeron una clase adicional al estudio realizado en 2010 que fue la de Suelo Desnudo. Esta categoría intenta capturar aquellas zonas que han sido recientemente deforestadas y que por sus características espectrales son de fácil interpretación
 - c. Los algoritmos de clasificación utilizados. En este caso se determinó que RandomForests permitía obtener las mejores precisiones posibles. La exactitud general fue determinada en 92% que puede considerarse excelente. Se estimaron dos tipos de error: los del productor (ej. El consultor) y del usuario (ej. ICADE). Una situación que puede catalogarse como positiva es el hecho que los errores para el usuario son muy bajos
3. Se determinaron las existencias forestales para ambas zonas de interés. El bosque latifoliado cubre el 76.5% (aproximadamente 191 mil hectáreas) de la reserva Tawahka mientras que para la zona sur de R. Plátano es del 67.9% (98 mil hectáreas). En este reporte se ha proporcionado una plétora de cuadros y figuras que destacan las diferencias absolutas y proporcionales entre las existencias encontradas en el año 2010 y las

encontradas 7 años después. La situación no puede calificarse de otra forma que extremadamente preocupante. Por ejemplo se determinó que las existencias de bosque latifoliado en Tawahka se han reducido en un 13% mientras que las existencias de usos agropecuarios han aumentado en un 10.7%. La situación es aún más preocupante en la Biósfera Rio Plátano donde las existencias de bosque primario latifoliado se han reducido en casi un 18% mientras que la agricultura y ganadería han aumentado 8%.

4. Se ha utilizado una filosofía y protocolo metodológico de vanguardia. En este reporte se destaca la utilización de la plataforma de archivo y de geoprocesamiento en la nube de Google Earth Engine GEE que permite a los usuarios obviar la necesidad de bajar imágenes en el computador, tener licencia de software extremadamente onerosas y también de poseer una arquitectura computacional cara. Todos los resultados aquí obtenidos en cuanto a clasificación de patrones de cobertura de la tierra fueron obtenidos en GEE con la simple utilización de un navegador de la web, una conexión al internet y una cuenta de correo electrónico de Gmail. Esto presupone que cualquier proyecto involucrado en la gestión de recursos naturales puede ahora realizar labores de monitoreo utilizando tecnología y ciencia de teledetección con un gasto relativamente mínimo, sin necesidad de usar recursos monetarios escasos.
5. La clase de bosque secundario (guamiles o tierras en barbecho) cubre unas 13 mil hectáreas en la reserva Tawahka (5.2% del total). La cobertura de esta clase para R. Plátano es significativa ya que ocupa aproximadamente un 10% (14 mil hectáreas) que contrasta con un tercio de 1% (508 hectáreas) mapeado en el 2010. El bosque de conífera se mapeó únicamente para R. Plátano. Este bosque cubre un 2% de su extensión que equivale a aproximadamente 2857 hectáreas.
6. Más importante que determinar las existencias forestales es conducir el análisis de dinámica de cambios. Este análisis se realizó para ambas zonas de conservación. El criterio para calificar una transición del 2010 al 2017 como una ganancia o una pérdida se circunscribió en términos absolutamente de conservación ecológica. Por ejemplo, cualquier transición que conlleve a un cambio de bosque por otra clase de uso significa una pérdida. Del análisis espacial de persistencia y transición se determinó que el 19.2% de la superficie de Tawahka sufrió cambios entre el 2010 y el 2017. Esta proporción fue mayor para R. Plátano en la cual sólo el 21% de las tierras experimentaron cambios.

7. Una exploración a las tierras en transición en Tawahka mostró que un 56% de las tierras en transición correspondieron a la sustitución de bosque latifoliado por usos agropecuarios. Esta indudablemente es la transición más nociva que puede ocurrir en un área de conservación. No solo se pierden recursos vegetales valiosos sino que se abren nuevos espacios de explotación forestal para agricultura y ganadería. No obstante, no todo fue pérdida en Tawahka ya que se determinó que un 4% de las tierras en transición correspondieron a recuperación de tierras en usos agropecuarios hacia una transición de bosque secundario o barbecho. En el caso de la R. Plátano no existen buenas noticias como en Tawahka ya que el 44% de las tierras en transición correspondieron a pérdida del bosque por usos agropecuarios.
8. Para la R. Tawahka se contó con una cobertura geoespacial de zonificación que divide la reserva en seis zonas: Amortiguamiento, Uso Extensivo, Uso Múltiple, Histórico Cultural, Núcleo, y Uso Especial. **De estas zonas se determinó que la zona de mayor conflicto es la de Uso Múltiple. Esta reportó la tasa interanual de deforestación más alta: 6.4% anual.** En términos absolutos la zona con mayores pérdidas de bosque latifoliado fue la Núcleo con 13484 hectáreas equivalentes a una tasa de 2.0% anual. La zona de Amortiguamiento y la zona de Uso Extensivo siguen en 2do y 3er lugar por sus tasas de deforestación anuales de 4% y 3.5% respectivamente. Esta tasa representó en términos absolutos la pérdida de 937 hectáreas.
9. ICADE cuenta con una plataforma de Sistemas de Información Geográfica que puede utilizar para explotar los mapas resultado de esta consultoría. Esto presupone la ventaja de realizar análisis posteriores con la base de datos digital que se entrega. Por ejemplo, los resultados aquí provistos sobre comunidades ladinas y microcuencas permitirá a ICADE identificar cuales asentamientos son mejores candidatos para realizar actividades de (a) restauración – las zonas más dañadas pero que ofrecen mejores oportunidades por las relaciones con la población residente, (b) prevención – aquellas zonas en las que las existencias de bosque primario aún son significativas, (c) consolidación de la actividad productiva – ejemplo aquellas áreas en las que las existencias de usos agropecuarios en combinación con la idiosincrasia de las comunidades ofrece opciones para establecer sistemas agroforestales que permitan un asentamiento definitivo de las personas y que evite al mismo tiempo la migración fuera de la zona a lugares con bosque primario.

10. Puede verse que la biósfera Tawahka y Zona Sur R. Plátano han experimentado cambios en el paisaje que además de repercutir en el desaparecimiento de biodiversidad de especies y genética tiene el efecto nocivo de fragmentación. Bosque fragmentados implican directamente menos capacidad de las especies vegetales y animales para reproducirse al eliminarse la contigüidad espacial. Los grandes frentes de avance se encuentran en la zona oeste y central de ambas reservas.
11. El mapa de ecosistemas se actualizó de la misma manera que se había realizado para el estudio realizado en 2010. La evidencia espacial y cuantitativa dejó al descubierto que absolutamente la totalidad de los ecosistemas de bosque tropical siempreverde, así como los aciculifoliado (pinares) fueron afectados en su contigüidad y en su magnitud. Todos los ecosistemas forestales mostraron tasas de cambio negativos (Ej. Disminuyeron su área respecto al mapa original de ecosistemas). El único ecosistema con una tasa positiva resultó ser el Sistema Agropecuario que incrementó en un 64% equivalente a 46769 hectáreas desde el año 2000. Se dispone de coberturas geoespaciales de los ecosistemas originales y los actualizados. Esta base de datos puede ser utilizada para diversos fines, entre otros para participar en programas de monitoreo de carbono y pago por reducción de la deforestación como REDD.
12. Se extrajeron estadísticas sobre existencias de cobertura boscosa y sobre dinámica de cambios en las comunidades de interés para ICADE. Estas comunidades son Tawahka, Ladinas y Microcuencas productoras de agua. En todas las zonas se pudo detectar una dinámica de cambios negativa. Los resultados obtenidos en el estudio del 2010 demostraron sin duda alguna que las actividades que ICADE llevaba a cabo en su zona de influencia habían rendido frutos positivos ya que las tasas de remoción de cobertura boscosa eran significativamente menores a las encontradas en 2017. Es fundamental entender el porqué de esta tendencia negativa, ya que invariablemente impacta la calidad de los servicios ecosistémicos que se reciben de los ecosistemas forestales estudiados y que están bajo la tutela de ICADE.

7. Recomendaciones y Ruta a seguir:

8. Literatura Consultada

- Cohen, W.B., Yang, Z., Kennedy, R., 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. TimeSync—Tools for calibration and validation. *Remote Sens. Environ.* 114, 2911–2924.
- Crist, E.P., Cicone, R.C., 1984. A physically-based transformation of Thematic Mapper data---The TM Tasseled Cap. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 256–263.
- Cutler, D.R., Edwards, T.C., Beard, K.H., Cutler, A., Hess, K.T., Gibson, J., Lawler, J.J., 2007. Random forests for classification in ecology. *Ecology* 88, 2783–2792.
- Healey, S.P., Cohen, W.B., Zhiqiang, Y., Krankina, O.N., 2005. Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sens. Environ.* 97, 301–310.
- Hernandez, A.J., 2003. Dinámica del uso de la tierra y de la oferta hídrica en la cuenca del Río Guacerique, Tegucigalpa, Honduras. Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Ensenanza, Turrialba, Costa Rica.
- Hernandez, A.J., Saborio, J., Ramsey, R.D., Rivera, S., 2012. Likelihood of occurrence of bark beetle attacks on conifer forests in Honduras under normal and climate change scenarios. *Geocarto Int.* 27, 581–592. doi:10.1080/10106049.2011.650652
- Huang, C., Wylie, B., Yang, L., Homer, C., Zylstra, G., 2002. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *Int. J. Remote Sens.* 23, 1741–1748.
- Olofsson, P., Foody, G.M., Herold, M., Stehman, S.V., Woodcock, C.E., Wulder, M.A., 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sens. Environ.* 148, 42–57.
- Pal, M., Mather, P.M., 2005. Support vector machines for classification in remote sensing. *Int. J. Remote Sens.* 26, 1007–1011.
- Pandey, D., 1995. Forest resources assessment 1990: tropical forest plantation resources. FAO.
- Wulder, M.A., Ortlepp, S.M., White, J.C., Maxwell, S., 2008. Evaluation of Landsat-7 SLC-off image products for forest change detection. *Can. J. Remote Sens.* 34, 93–99.

9. Base de datos SIG e Imágenes

El siguiente cuadro presenta un detalle de la base de datos que se entrega con este informe final de consultoría. Los datos entregados son de tres tipos: Vectores (shapefiles), Raster (Grid), e imágenes procesadas para la clasificación de usos.

Tabla 18. Base de datos digital de la consultoría