

Dinámica de la cobertura forestal de las microcuencas de los ríos tributarios de la hidroeléctrica Palo Viejo, ubicada en los municipios de San Juan Cotzal y San Miguel Uspantán del Departamento del Quiché, Guatemala

Juan Carlos Andrade Castañeda

Maestría en Estudios Ambientales, Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad del Valle de Guatemala

RESUMEN: La Hidroeléctrica Palo Viejo actualmente en funcionamiento con capacidad de 84 MW se ubica en el municipio de San Juan Cotzal, departamento del Quiché. Fue diseñada para utilizar tres ríos: Río Cotzal, Río Chipal y Río Regadíos, los cuales representan el área de influencia indirecta del proyecto. En estudios de prefactibilidad, factibilidad o planes futuros en operación, los temas bosque, reforestación y cobertura no se incluyeron para su consideración. La dinámica de la cobertura forestal de estas microcuencas desarrollada en esta investigación tiene como objetivo específico obtener información vectorial a base de imágenes satelitales y programas de información geográfica los cuales tienen la capacidad de obtener resultados comparativos en un período dado. En este caso se optó por un período de 11 años dada la disponibilidad de imágenes: Imagen Landsat del año 2000, Ortofoto año 2006 e imagen Landsat año 2011. Los resultados de la dinámica de cobertura forestal se relacionaron, compararon y discutieron en función de las clases de uso del suelo más importante identificadas. Además, los resultados se compararon con los trabajos oficiales realizados desde 1991 hasta 2010 para la República de Guatemala. Como resultado se obtuvo que, en un período de 11 años, en el área de estudio se ha perdido un aproximado de 3,749 ha de bosque, un promedio de 341 ha/año a un -0.80% anual. Para el período del año 2006 al 2011 se reporta un cambio en cobertura forestal de -670 ha en bosque, y para el período del año 2000 al 2006 con -6,488 ha suponen el período con mayor pérdida de cobertura forestal.

PALABRAS CLAVE: Cobertura forestal, Imágenes satelitales, Hidroeléctrica, Microcuenca.

Forest cover dynamics in the watersheds of the tributary rivers of the Palo Viejo hydropower plant, located in the municipalities of San Juan Cotzal and San Miguel Uspantán in the Department of Quiché, Guatemala.

ABSTRACT: The hydroelectric Palo Viejo currently in operation with a capacity of 84 MW is located in the municipality of San Juan Cotzal, Department of Quiché. It was designed to use three rivers: Río Cotzal, Río Chipal, and Río Regadíos, which define the area of indirect influence of the project. In studies of pre-feasibility, feasibility, or future plans in operation, forest issues, reforestation and forest cover were not included for consideration. The dynamics of the forest cover of these watersheds were studied in the work presented here with the objective of producing vector information based on satellite images and GIS programs which have the ability to produce comparative results for a given period. We opted for a period of 11 years due to availability of images: Landsat images year 2000, Orthophotos year 2006 and Landsat images year 2011. The results of the dynamics of forest cover were related, compared and discussed, with the most important land-use classes identified. In addition, the results were compared with official work done for 1991-2010 for the Republic of Guatemala. During a period of 11 years, in the study area, approximately 3,749 hectares of forest were cleared, resulting on an average of 341 ha/year or -0.80% per year. For the period 2006 - 2011, 670 ha of forest cover were lost and from 2000 - 2006 another 6,488 ha were lost, representing the period with greatest loss of forest cover.

KEYWORDS: Forest cover, Satellite images, Hydropower plant, Watershed.

Introducción

El estudio sobre la dinámica de la cobertura forestal en las microcuencas relacionadas con la Hidroeléctrica Palo Viejo es una herramienta clave para tomar decisiones de manejo en el área de influencia directa e indirecta del proyecto. Los ríos de las microcuencas en estudio son utilizados para el funcionamiento de la Hidroeléctrica Palo Viejo, propiedad de la empresa Ente Nazionale per l'Energia elettrica (ENEL) de Guatemala. Esta es capaz de generar hasta 84 KW de energía limpia, la cual es interconectada al Sistema de Interconexión Eléctrica Para América Central (SIEPAC). El Proyecto inició su construcción en 2009 y, a partir de junio de 2012, se inició la etapa de generación de energía. La hidroeléctrica Palo Viejo tiene programas ambientales y sociales tal y como lo estipula el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto. A la fecha los programas se han realizado según se presenten las necesidades y las peticiones comunitarias. Realizar de esta forma los programas resulta difícil tanto para la empresa como para las municipalidades involucradas en el proyecto, porque no se tiene ninguna base de datos del área de influencia del proyecto que realmente esté relacionada con el funcionamiento de la hidroeléctrica. Los datos oficiales para Guatemala no detallan el área de influencia del proyecto.

Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

La teledetección, o uso de sistemas remotos, se puede definir como *La utilización de sensores para la adquisición de la información sobre objetos o fenómenos sin que exista contacto entre ellos* (Gras, INIA 2012). Estos sensores pueden ser sistemas fotográficos u óptico-electrónicos capaces de registrar en forma de imágenes la energía emitida por objetos distantes y pueden ser montados en diferentes plataformas como aviones, satélites, y torres u otros sistemas terrestres.

La teledetección permite el estudio de los recursos naturales y la vegetación en el ambiente, pudiendo obtener información precisa en tiempo casi-real de la situación del sector sin necesidad de que el área de estudio sea muy grande (Gras, INIA 2012).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten el análisis integrado de información de sensores remotos, cartográfica y bases de datos georeferenciadas logrando relacionar factores causa y efecto sobre el estado de la vegetación (Gras, INIA 2012). En este estudio se utilizaron sensores remotos tanto satelitales como de fotografía aérea, logrando con esta combinación recopilar la mayor cantidad de información espectral y espacial.

Clasificación multiespectral

La clasificación de imágenes multiespectrales de sensores remotos trata de asociar cada píxel de una imagen a una categoría, describiendo la composición del píxel, por ejemplo: agua limpia, bosque tropical, granito, etc. Estas categorías reciben el nombre de *temas* o *clases* y procuran expresar el valor numérico de un píxel en términos de un tipo de objeto o cobertura terrestre. Cuando este tipo de operación es realizado para todos los píxeles de una imagen, el resultado es un mapa temático, que

muestra la distribución espacial de varios tipos de objetos o coberturas presentes en la imagen. Una imagen de sensores remotos producida por clasificación es un tipo de *mapa temático digital* que, cuando se produce a partir de una imagen georeferenciada, se transforma en un elemento importante a ser incorporado al programa de SIG (Pérez 2007).

Imágenes Landsat

Las imágenes Landsat son tomadas por los satélites LandSat, que son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por los Estados Unidos de Norteamérica para la observación en alta resolución de la superficie terrestre. Los LandSat orbitan alrededor de la Tierra en órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, con una inclinación de 98.2° respecto del ecuador y un período de 99 minutos. La órbita de los satélites está diseñada de tal modo que cada vez que éstos cruzan el ecuador lo hacen de Norte a Sur entre las 10:00 y las 10:15 de la mañana hora local. Los LandSat están equipados con instrumentos específicos para la teledetección multiespectral (Almeida, De Souza Filho y Rossetto 2006).

Dinámica de Cobertura Forestal Guatemala

• Cobertura forestal 1991/1993 2001

El proyecto se completó en dos fases, la primera con la presentación del Mapa de Cobertura forestal de Guatemala para el año 2001, publicado en enero de 2004. La segunda fase del proyecto se centró en comparar las imágenes de 2001 con imágenes de 1991-93 y 1996 para poder determinar las tasas de cambio en la cobertura forestal. Se determinó que anualmente entre el año 1991/93 y 2001, el país perdió 73,148 ha de bosque cada año, lo que corresponde a una tasa de deforestación de 1.43% anual (SIFGUA 2012).

Según SIFGUA 2012, en el departamento de Quiché se han perdido 44,798 ha de bosque, equivalente a un cambio anual de -0.98%. En los municipios involucrados en el proyecto los cambios también son negativos exceptuando al municipio de San Juan Cotzal.

• Cobertura Forestal 2001-2006

El nuevo mapa 2006 se elaboró con una metodología sustancialmente mejor que la utilizada en el proyecto previo. Básicamente, se buscó aprovechar al máximo la disponibilidad de fotografías aéreas de alta resolución para todo el territorio nacional para obtener muestras de entrenamiento y verificación que permitieron desarrollar un proceso de clasificación supervisada más automatizado que el proceso usado anteriormente. Adicionalmente, se utilizaron imágenes satelitales corregidas geométricamente desde la fuente, lo que aseguró una mayor coincidencia con los mapas y ortofotos disponibles para el país (SIFGUA 2012).

La cobertura forestal para el año 2006 para Guatemala fue estimada en 3,866,383 ha equivalente a un 35.5% del territorio nacional. El valor revisado para el 2001 es de 4,152,051 ha correspondiente a 38.1% del territorio nacional. Estos valores

representan una pérdida neta anual de 48,084 ha equivalentes a una tasa de deforestación de 1.16%. La pérdida neta anual reportada es la diferencia de una pérdida bruta de 101,852 ha/año y una ganancia de 53,768 ha/año (SIFGUA 2012).

Según SIFGUA 2012, el departamento del Quiché a nivel municipal los resultados son positivos (ganancia) para todos los municipios para este período.

• Cobertura forestal 2010

Se utilizaron datos de los sensores LANDSAT 5 y LANDSAT 7 como fuente primaria de información, correspondientes al año 2010, aunque en ciertas áreas se utilizaron imágenes de los años 2009 y 2011 en función de su calidad. Como fuentes de información secundaria, se utilizaron datos de ortofotos 2006 e imágenes del sensor ALOS-PRISM para el año 2010 (SIFGUA 2012).

La cobertura forestal en el año 2010 para Guatemala fue estimada en 3,722,595 ha, equivalente a 34 % del territorio terrestre nacional. El valor de la cobertura forestal para el año 2006, publicado en mayo de 2011, fue revisado y se obtuvo un nuevo estimado de 3,868,708 ha. Estos valores representan una pérdida neta de 146,112 ha de bosque, equivalentes a una tasa neta de deforestación del -1.0 % anual a nivel nacional (con respecto al total de bosque existente en 2006) (SIFGUA 2012).

Los resultados muestran que la tasa neta de deforestación nacional continúa reduciéndose con respecto a los estudios anteriores (-1.43% en Cobertura forestal 1991/1993 2001, -1.16 % en Cobertura Forestal 2001-2006 y -1.0% en Cobertura Forestal 2010) lo cual responde a incrementos sustanciales en áreas con ganancia de cobertura forestal. Sin embargo, la deforestación bruta continúa incrementándose, alcanzando un área de 132,137 hectáreas anuales para el período analizado (SIFGUA 2012).

Según SIFGUA 2012, los resultados específicos para el departamento del Quiché son de 7,027 ha para este año, suponiendo ganancia de cobertura, una tasa de cambio anual de 0.68%. A nivel municipal los datos también son positivos a excepción del municipio de Uspantán donde la tasa de cambio anual es negativa.

Métodos

Se determinó los límites naturales del área de estudio, basándose en el modelo de Elevación Digital del Radiómetro Espacial de Emisión y Reflexión Térmica (ASTER) versión 2, comparando los límites de la misma con la base de datos de cuencas hidrográficas de la república de Guatemala 1:50,000, publicado por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA, 2006). A partir de la determinación del área de estudio, se propuso un período de 11 años para identificar la dinámica de cobertura forestal, utilizando 3 años para identificar el comportamiento en el periodo propuesto.

Debido a la disponibilidad de información de referencia a nivel nacional, principalmente de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) y del Instituto Geográfico Nacional (IGN) basado en imágenes del satélite Landsat, como pieza fundamental, se decidió usar esta base de información principal, a pesar de que las imágenes utilizadas Landsat 2006 de abril – junio 2006 e imagen Landsat 2011 de abril 27 de 2011, presentaron problemas de calidad y de ausencia de datos. Por tal motivo fue necesaria la búsqueda de imágenes complementarias y esto condujo a evaluar el producto más similar, las imágenes ASTER, las cuales tienen un ancho de 60 km y cuentan con 4 bandas en el infrarrojo cercano (VNIR), con una resolución espacial de 15 m. Se encontró que el rango de detección de este sensor varía grandemente en comparación con LANDSAT y, de ser necesario, deberían los productos resultantes ser sometidos a un proceso intensivo de control para evitar información falsa o inconclusa por lo que se descartó el uso de este sensor. Al proceder en la búsqueda de imágenes viables para ser analizadas en el área de estudio no se completaba el área de estudio delimitado debido a obstrucciones en las imágenes por problemas o fallas del sensor o posiblemente por obstrucciones atmosféricas, lo que produjo imágenes con fallas o incompletas.

Otras alternativas fueron evaluadas pero no existía la información requerida o estaban fuera del contexto económico del presente estudio. En ese sentido, una alternativa considerada fue el uso de fotografía aérea tomada en época seca del año 2006 y el uso de productos LANDSAT 7M+. En el caso de las fotografías áreas, aunque la resolución espacial es superior, la resolución espectral de éstas es limitada y en la resolución espectral se pierde mucha información de interés para el estudio.

En el caso de la imagen Landsat 7, se encontró una imagen viable de fecha abril 3, 2011 (Grafica 1), pero con problemas de ausencia de datos, por lo que se utilizó un procedimiento de corrección el cual incorpora la información faltante procedente de otras imágenes o de interpolación de la misma imagen.

Herramientas utilizadas

La caracterización de la dinámica de cobertura forestal puede ser obtenida por medio de una gran cantidad de herramientas geoespaciales. Las herramientas y software a continuación fueron elegidas gracias a su versatilidad, estandarización de base de datos, además de su facilidad de uso: ERDAS 9.3.1, ArcGIS, GapFill, GDEM de Aster para Modelo digital del terreno, bases de datos auxiliares de origen publicadas por MAGA, INAB, UVG e IGN 2006, y el GPS para validación de resultados en campo.

Por los objetivos del presente estudio, donde se busca identificar las distintas clases de cobertura forestal en el área de estudio y por las características técnicas de LANDSAT, se decidió utilizar las siguientes bandas: banda 4, la cual registra información electromagnética dentro del rango infrarrojo cercano; la banda 5, la cual registra información del infrarrojo medio y la banda 3, la cual registra información de rojo. En el caso de las

fotografías aéreas, ya que no tienen bandas fuera del rango visible, se decidió utilizar su resolución espacial (0.55 cm) para la identificación y rectificación de las clases encontradas en la imagen base 2000 de una manera visual.

Proceso de análisis de imágenes

• Corrección Espacial

Mediante esta corrección se eliminaron distorsiones de píxeles; además, se proyectaron todas las bases de datos en un sistema homogéneo (GTM). La resolución espacial utilizada en este estudio fue de 15 m.

• Correcciones Espectrales

Para las imágenes Landsat fue utilizada la combinación 4,5,3 para garantizar la efectividad de identificación de clases. Debido al proceso de relleno necesario para la imagen 2011 (Gráfica 1) se decidió no usar información del Índice de Diferenciación de Vegetación Normalizado (NDVI) debido a que a los problemas presentes en la imagen 2011 podrían producir resultados erróneos o fuera de la realidad de las microcuencas estudiadas.

• Correcciones Temporales

La temporalidad de este estudio está enmarcada de enero a junio, que corresponde a una época de poca precipitación y de crecimiento lento de la vegetación, de esta manera la comparación entre la cobertura del suelo es mucho más certera.

Las fechas específicas de las imágenes usadas son: enero 23 2000, abril – junio 2006 y abril 27, 2011.

• Delimitación de Área de Estudio

Se delimitó el área de estudio por medio del SIG con un área de 426.56 km² y está distribuida de la siguiente manera: Micro cuenca El Regadío: 95.05 km², Micro cuenca Chipal: 53.20 km², Micro cuenca Cotzal 259.91 km², Micro cuenca Putul (parcial): 16.15 km².

• Clasificación no supervisada

Se usó como primera clasificación del estudio lo siguiente: primera clasificación 100 clases, segunda clasificación 50 Clases, tercera clasificación 20 Clases.

• Clasificación supervisada

Después de la clasificación no supervisada se pudieron clasificar los siguientes usos del suelo relacionadas a la dinámica de cobertura forestal:

Agricultura: Cultivos perennes (café) / bosque ralo y Cultivo anual.

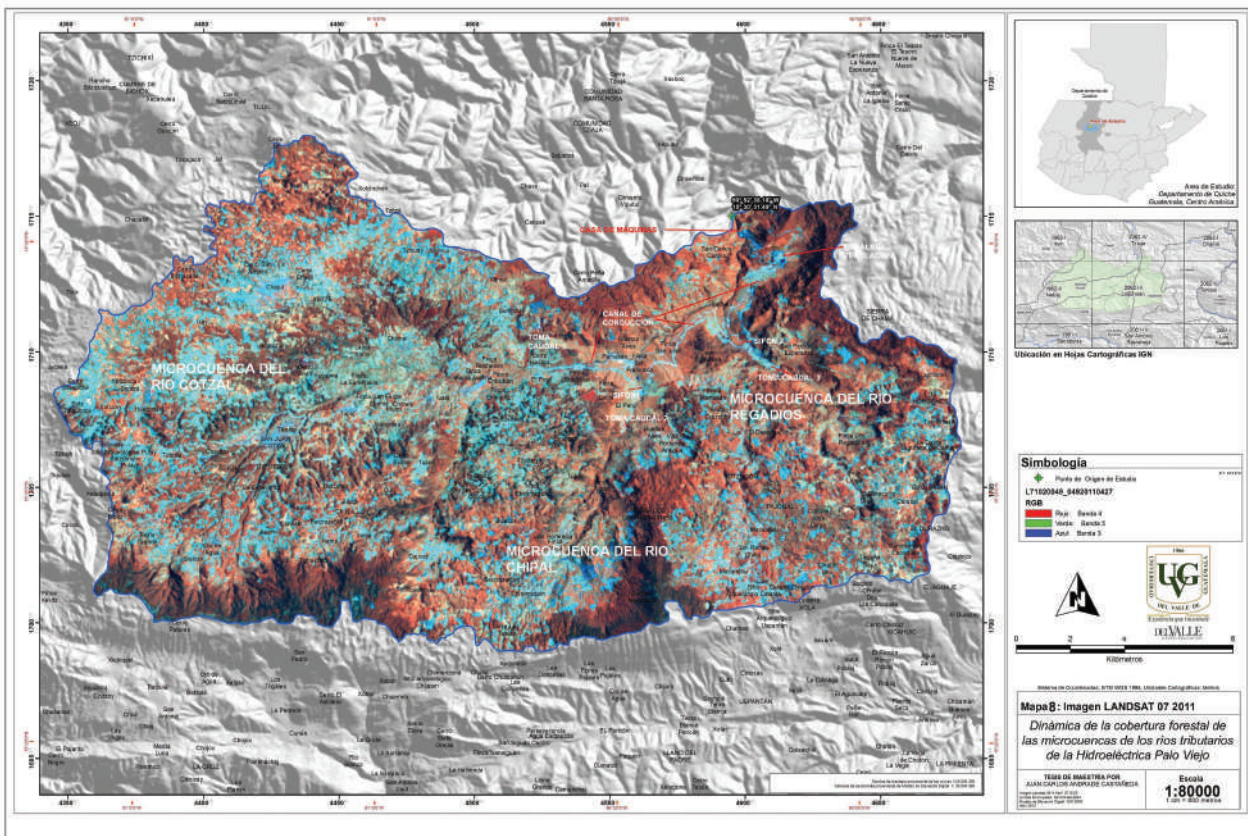
Cobertura forestal: Conífero, Latifoliado y Mixto.

Guamil / matorral/cultivo perenne

Cuerpos de agua

Sin cobertura / Infraestructura

Obstrucción / falla / nubes



Gráfica 1. Imagen Landsat 2011. Hidroeléctrica Palo Viejo.

Cuadro 1. Resultados dinámica de cobertura forestal por uso del suelo.

Uso del suelo	año 2000		año 2006			año 2011			
	cobertura (ha)	cobertura (%)	cobertura (ha)	Cobertura (%) 2001 (ha)	cambio sobre	cobertura (ha)	cobertura (%)	cambio sobre	cambio sobre
Agricultura	10560	25	14291	33	3731	17133	40	2841	6572
Bosque Conífero	1706	4	1372	3	-334	1467	3	95	-239
Bosque Latifoliado	4501	11	3810	9	-691	4028	9	218	-473
Bosque Mixto	12155	28	10101	24	-2054	9118	21	-983	-3037
Cuerpo de agua	232	1	240	1	8	230	1	-10	-2
Cultivo de sombra / Bosque Ralo	7643	18	4415	10	-3229	5489	13	1074	-2155
Guamil	5754	13	8102	19	2348	3533	8	-4569	-2221
Suelo sin cobertura vegetal	190	0	306	1	116	1742	4	1436	1552
Nubes	0	0	103	0	103	0	0	-103	0
TOTAL	42741	100	42741	100	42739	100			

• Comparación con bases de datos oficiales

Se relacionó el área de estudio y usos del suelo con la siguiente información encontrada en los mapas de: Uso y cobertura del suelo 2006 (MAGA-UVG), Ecosistemas 1:50,000 (MAGA), Hidrología de Guatemala 1:50,000 (MAGA), Centros Poblados (MAGA), Cobertura forestal de Guatemala 2000 (MAGA-UVG), Uso y cobertura del suelo escala 1:50,000 (MAGA-UVG), Cartografía 1:50,000 (IGN), Cuencas de Guatemala 1:50,000 (MAGA).

Resultados

Área de estudio

El área de estudio comprende seis municipios del Departamento de Quiché con un área calculada para las microcuencas de los ríos tributarios de 426.56 km². La infraestructura de la Hidroeléctrica Palo Viejo se encuentra ubicada en los municipios de San Juan Cotzal y San Miguel Uspantán. Los municipios de San Juan Cotzal y Chajul con 28.99% y 24.75% del área estudiada, comparten el área de la microcuenca del Río Cotzal, río que divide estos municipios desde la parte alta de las cuencas hasta la unión con el Río Chipal. Estos dos municipios constituyen áreas de interés, puesto que el Río Cotzal aporta la mayor cantidad de caudal al proyecto. Los municipios de San Miguel Uspantán y Cunén con 21.89% y 19.47% respectivamente, ocupan la parte alta de las microcuencas de los Ríos Cotzal, Chipal y Regadíes. Los municipios de Santa María Nebaj y Chicaman con 4.03% y 0.88% ocupan fracciones del área de estudio las cuales, por delimitación geográfica, tienen relación con el estudio.

Dinámica de la cobertura forestal por año y período estudiado

Los resultados tabulados de la dinámica de cobertura forestal del área de estudio se presentan en el Cuadro 1. El análisis de resultados para los años de estudio se calculó en, hectáreas (ha), porcentaje (%) y cambio (ha) entre años estudiados.

Para el año 2000 se calculó la existencia de bosque mixto con 12,155 ha, bosque latifoliado de 4,501 ha y bosque de coníferas de 1,706 ha; sumados equivalen a 18,362 ha de bosque. Esto equivale a 42.96 % de cobertura boscosa en el área de estudio.

Para el año 2006 el bosque conífero, bosque latifoliado y bosque mixto sumaban 15,283 ha de área con cobertura forestal, equivalentes a 35.75% del área de estudio.

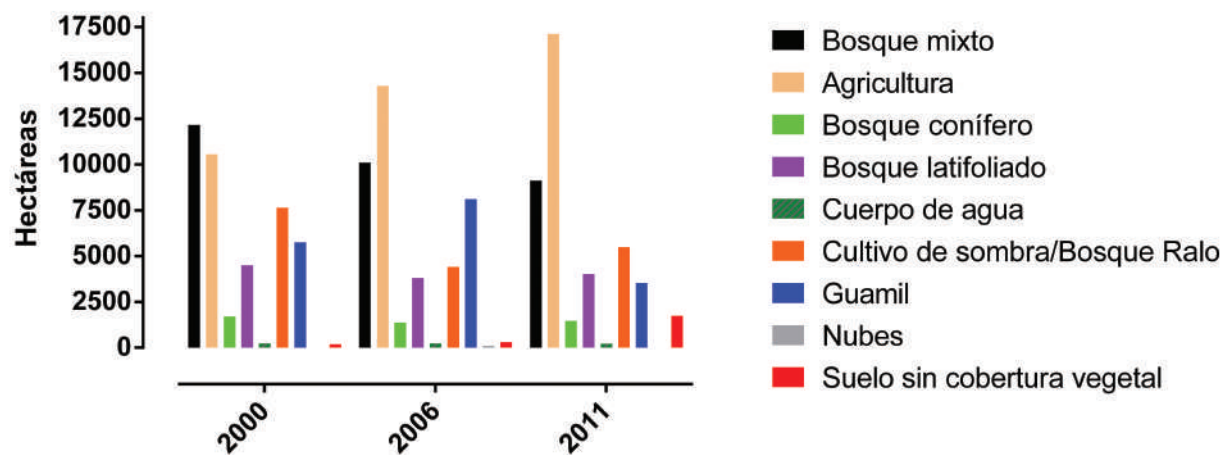
Para el año de 2011 las clases identificadas como bosque conífero, latifoliado y mixto sumaban 14,613 ha de terreno equivalentes a 34.18% del área en estudio.

En un período analizado de 11 (2000-2011) años la cobertura forestal identificada con las clases de bosque latifoliado, conífero y mixto ha disminuido en - 3,749 ha, equivalentes a 8.78% del territorio estudiado, una pérdida de cobertura forestal de -0.80 % anual o 341 ha/año.

Dinámica de cobertura forestal por uso del suelo

Los resultados de la dinámica de cobertura forestal comparados con el uso del suelo en el área de estudio se presentan en la Gráfica 2. La cobertura forestal se relacionó con cada clase de uso del suelo identificada para cada año estudiado teniendo como resultado una comparación gráfica y tabular de los resultados.

El incremento del área con agricultura desde el año 2000 es notable, se calculó un 15.37% de incremento, es decir, un incremento de 6,572 ha que probablemente correspondían a algún tipo de cobertura forestal



Gráfica 2. Cambios en el uso del suelo / microcuenca de los ríos tributarios Hidroeléctrica Palo Viejo en los años 2000, 2006 y 2011.

En el bosque conífero se reportan aquellas tierras donde el género *Pinus* es dominante. En el año 2000 existían 1,706 ha de este tipo de bosque y en el año 2006 esta cantidad se redujo a 1,372 ha, resultando una pérdida de -334 ha en este periodo. De la misma forma se calculó que, del año 2006 al 2011, se produjo una ganancia de área con cobertura de bosque conífero de 95.3 ha y del año 2000 al 2011 una pérdida total de -238 ha. Estas son variaciones que pueden ocurrir debido a que la mayoría de reforestaciones en Guatemala especialmente en el altiplano se realizan con alguna especie del género *Pinus*., sucediendo que se puede estar cortando bosque conífero de algún lado y tener una reforestación en otro.

Los cambios en la cobertura del bosque latifoliado disminuyen para el año 2006 en un 1.66% y para el 2011 aumentan 0.51%. Según los resultados se perdió más bosque latifoliado en el periodo del año 2000 al 2006 que en el periodo 2000 al 2011.

Durante los últimos 11 años se ha perdido una cantidad de 3,027 ha de bosque mixto dando el cambio más significativo del estudio, además de no existir ganancia de cobertura como en otros tipos de bosque. La pérdida total en el periodo de estudio es de -3,037 ha.

Para el presente estudio se identificaron cuerpos de agua con ancho de afluente mayor de 15 m, es decir solamente se analizaron los causas principales de las microcuencas en estudio.

El cultivo de sombra es principalmente café. Esta clase cambió para el año 2006 en -3,228 ha. De este año para el 2011, el área con esta cobertura aumentó 1,073 ha. Para interpretar bien estos resultados cabe resaltar que en esta clase no se pudo diferenciar entre dos tipos de cobertura (cultivo de sombra y bosque ralo) ya que ambos fueron asociados como una sola clase.

Bajo la clase guamil se incorpora todo tipo de vegetación que va desde plantas rastreras, leñosas en crecimiento, helechos y pastos. Para el año 2006 el área con guamil aumento en 2,348 ha; sin embargo, para el año 2011 se perdió 4,569 ha perdiendo un total en 11 años de -2,221 ha. Se nota un aumento de 5.49% de cobertura con Guamil para el año 2006 y un descenso de 10.69% para el año 2011.

Respecto al suelo sin cobertura vegetal, el cambio entre los años 2000 al 2006 fue un aumento de 116 ha. En año 2011 se había aumentado considerablemente, 1,436 ha más, sumando un cambio total en el periodo de 11 años de estudio de 1,552 ha.

En el uso de la ortofoto 2006 del presente análisis, se determinó un área de 1,662 ha con presencia de nubes y/o con interferencia en la toma de la foto.

Dinámica de cobertura forestal por microcuenca

• Pérdida de cobertura forestal

En el Cuadro 2 se muestra la distribución de área que ha cambiado de ser cobertura forestal hacia otro tipo de cobertura. Según los datos, el mayor cambio de pérdida de cobertura se dio en el periodo del año 2000 al año 2006 en el cual se perdieron 7,020 ha de la cobertura existente en el año 2000. En el periodo 2006 al 2011 solamente se perdieron 1,621 ha de la cobertura forestal, equivalente a 18.75% del total de ha perdidas en 11 años de estudio. En la microcuenca Regadíos en 11 años de análisis se perdieron 1,139 ha, lo que representa una mayor pérdida por km² puesto que es la microcuenca más pequeña de las microcuencas principales estudiadas. La microcuenca Putul incrementó la pérdida de cobertura forestal entre 2006 al 2011 en 84 ha, lo cual indica el impacto de la obra civil en esta microcuenca. La pérdida de cobertura forestal en la microcuenca Chipal en el periodo 2000-2006 fue de

Cuadro 2. Dinámica de cobertura forestal por microcuenca estudiada en un período de 11 años.

Microcuenca	Pérdida 2000-2006 (ha)	Pérdida 2006-2011 (ha)	Pérdida 2000-2011 (ha)
Chipal	2028	98	2126
Cotzal	4117	1126	5243
El Regadío	841	298	1139
Putul	33	99	132
Total	7020	1621	8641

Microcuenca	Ganancia 2000-2006 (ha)	Ganancia 2006-2011 (ha)	Ganancia 2000-2011 (ha)
Chipal	342	497	839
Cotzal	157	1654	1810
El Regadío	22	528	550
Putul	11	17	28
Total	531	2696	3227

Microcuenca	Cambio Neto 2000-2006 (ha)	Cambio Neto 2006-2011 (ha)	Cambio Neto 2000-2011 (ha)
Chipal	-1686	399	-1287
Cotzal	-3960	527	-3433
El Regadío	-819	229	-590
Putul	-22	-82	-104
Total	-6488	1074	-5414

95.40% del total de 2,126 ha de esta microcuenca, indicando que las pérdidas de cobertura forestal sucedieron en su mayoría en este período y no debiera relacionarse con actividades en el área de estudio del 2006 en adelante. La pérdida de cobertura forestal en la microcuenca Cotzal en el periodo 2000-2006 fue de 78.52% del total de 5,243 ha de esta microcuenca, indicando que las pérdidas de cobertura forestal en su mayoría sucedieron en este período de estudio.

- **Incremento de cobertura forestal**

Para la microcuenca Chipal se mantuvo un incremento gradual en los 11 años de estudio para un total de 839 ha de ganancia de área forestal. En la microcuenca Chipal el cambio significativo se observa del período 2006 al 2011 en el cual se incrementó en 1,654 ha, equivalente a 10 veces el valor que se reporta para el período del año 2000 al 2006. De igual manera la microcuenca Regadíos incrementó el área forestal en el período del 2006 al 2011 en 528 ha, lo que representa el mayor cambio en los 11 años de estudio. La microcuenca Putul no reporta un incremento gradual en los 11 años de estudio.

- **Dinámica de cobertura forestal**

Período 2000-2006

Para este período de estudio los datos encontrados se presentan negativos, es decir, la pérdida de cobertura forestal fue superior a el incremento encontrado, dando un cambio neto total de -6,488 ha.

Período 2006-2011

En este período los datos son positivos excepto por la microcuenca Putul la cual tiene un cambio neto de -82 ha. El incremento calculado de cobertura forestal para este periodo de estudio para todas las microcuencas fue de 1,074 ha.

Período 2000-2011

En resumen para los 11 años de estudio se tienen datos negativos, es decir, pérdidas totales de cobertura forestal para todas las microcuencas para un cambio total de -5,414 ha, siendo la microcuenca Cotzal y Chipal donde se reporta el mayor cambio de cobertura forestal (87% del área estudiada).

Áreas de Interés para reforestación de la Hidroeléctrica Palo Viejo

Según el Mapa de Pendientes y el Mapa de Capacidad de Uso del Suelo elaborado en el presente estudio, las microcuencas son clasificadas (USDA 1999) como áreas destinadas para protección y uso silvicultural en más del 90% del área estudiada.

En el área de las microcuencas en estudio se calculó una pérdida de -3,750 ha de cobertura forestal equivalente a 341 ha/año. Se identificó áreas de interés para reforestación que, en el transcurso de 11 años, han sufrido un incremento de su área deforestada y actualmente se encuentran sin cobertura forestal: Boca toma Cotzal, Guacamayas, Cerro Chailá Tzitzé, Cerro Chinimaquim, Finca Regadíos.

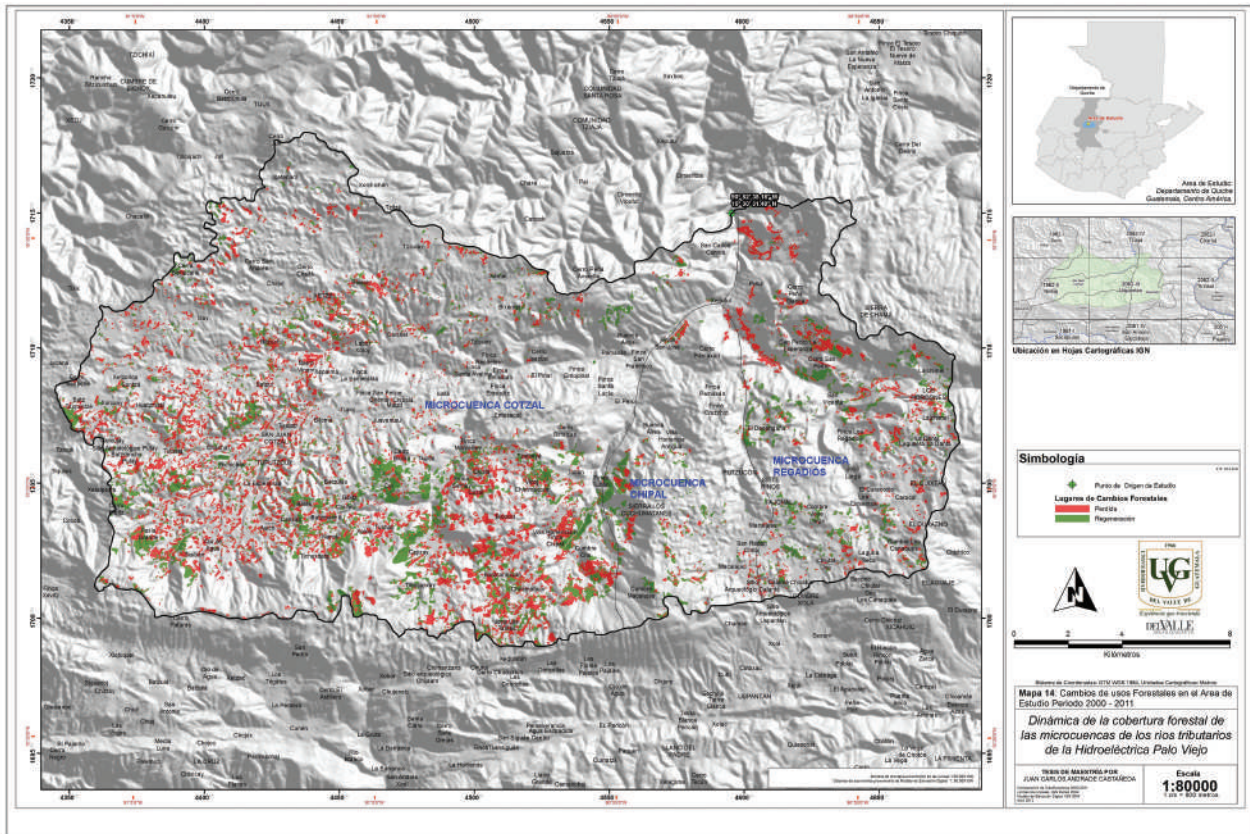
Discusión y conclusiones

Según el Mapa de cobertura forestal y dinámica 2010 (UVG, INAB, CONAP, URL 2012), el departamento del Quiché tenía para ese año 40.4% de su territorio con algún tipo de cobertura forestal, equivalente a 294,253 ha. A nivel municipal se reporta un cambio de -1,257 ha en el municipio de San Miguel Uspantán y en los demás municipios del área de estudio se reportan valores positivos, es decir, en este periodo existió un aumento de la cobertura forestal. Al compararla con los datos del estudio se puede interpretar que posiblemente los bosques coníferos, bosque latifoliado y cultivo bajo sombra/café son las áreas que aumentaron la cobertura forestal en este periodo. Para el periodo del año 2000 al 2006 en la dinámica de cobertura forestal 2001-2006 (UVG, INAB, CONAP, URL 2010) a nivel municipal se reportan valores positivos o ganancia de cobertura forestal en todos los municipios involucrados en el presente estudio. Al comparar esta información con los resultados por uso del suelo del año 2000 al 2006 se identifica que no tienen relación, puesto que el cambio en cobertura forestal sobre el año 2000 en los usos del suelo o clases identificadas muestra valores negativos en todo tipo de cobertura forestal; sin embargo, el área estudiada sólo son fracciones de cada municipio. Para el periodo del año 2000 al 2011 en los resultados del presente estudio, se reporta un cambio anual de cobertura forestal de -0.80% anual lo cual es similar a los resultados departamentales de años anteriores (UVG, INAB, CONAP, URL 2010 y 2012). Sin embargo, a pesar de ser un -0.80% anual en 11 años, al analizar el comportamiento del año 2006 al 2011, se puede indicar que solamente -0.31% anual corresponden a estos últimos 5 años.

El Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 (UVG, INAB, CONAP, URL 2010 y 2012), reporta para el departamento del Quiché 264,732 ha de cobertura y un incremento anual de 0.68% analizado según Dinámica de Cobertura Forestal de 2006 al 2010 de dicha publicación. Para el área de estudio en este periodo se reporta un cambio de -0.31%, lo cual es específico para el presente trabajo. Comparándolo a nivel departamental en las microcuencas estudiadas suceden cambios positivos en lo que respecta a cobertura forestal total. En un periodo de 11 años se reporta un cambio de -3,749 ha de cobertura forestal en las microcuencas de los ríos tributarios de la Hidroeléctrica Palo Viejo, es decir, anualmente se está perdiendo 341 ha (0.80% anual) lo cual, si se sigue la tendencia actual de la dinámica, en 30 años solamente se tendrá un 10.18% de cobertura forestal. Esto probablemente afectaría directa e indirectamente en el balance hídrico que actualmente se tiene y con el cual la hidroeléctrica fue diseñada. Según los resultados de la dinámica de cobertura forestal por microcuenca desde el año 2000 al 2011 se ha logrado incrementar la cobertura forestal en los últimos 6 años de manera significativa, aunque no suficiente para compensar las pérdidas reportadas. Las ganancias de cobertura no se presentan en las mismas áreas donde suceden las pérdidas.

Para trabajar en reforestaciones se identificó áreas de interés como zonas donde mayores cambios de cobertura forestal han sucedido; además, estos sitios se ubicaron estratégicamente por el proyecto hidroeléctrico por estar en áreas de interés. En el área de Boca toma Cotzal se observan cambios significativos, especialmente por estar cercano a poblaciones como la Aldea Santa Avelina y el municipio de San Juan Cotzal. Estos cambios se relacionan con el incremento de sitios poblados de mayor representatividad para esta área; sin embargo, en las cabeceras y sitios con guamil se podrían proponer reforestaciones para recuperar la cobertura de esta área. El área de guacamayas que incluye las aldeas Xeputul I y II, Buena Vista y Putul, que son comunidades cercanas al río Cotzal y áreas donde se construyó la hidroeléctrica, se deben proponer programas a corto plazo que ayuden a recuperar prontamente estas áreas afectadas y proponer un programa de incentivos forestales especialmente para incremento del caudal ecológico el cual este incremento depende de esta microcuenca delimitada en este estudio. El Cerro Chailá Tzitzé también forma parte del municipio de San Juan Cotzal y, debido al incremento de la zona agrícola, este cerro ha sido afectado en los últimos 11 años. Es de interés para reforestación por mantenerse en este periodo de estudio con cambios en cobertura que podrían atenderse a corto plazo, el área representa cabecera de cuenca de gran interés en la microcuenca Cotzal. Esto se debe recuperar con programas de reforestación que se adapten a la situación actual de la propiedad de este sitio. El Cerro Chinimaquín en la cuenca Chipal representa la mayor cantidad de áreas afectadas por pérdidas de cobertura forestal en este estudio; por tal razón en esta zona se podría priorizar como sitio de interés para reforestación. La finca Regadíos ubicada en la aldea del mismo nombre correspondería al área a priorizar de parte de la microcuenca Regadíos, especialmente en esta parte de cabecera donde se reporta la mayor cantidad de cambios en cobertura forestal.

Se concluye que, en un periodo de 11 años, en el área de estudio se ha perdido un aproximado de -3749 ha de bosque (bosque latifoliado, conífero y mixto), un promedio de 374 ha por año o -0.80% anual. Entre 2006 al 2011 se reporta un cambio en cobertura forestal de -670 ha (bosque latifoliado, conífero y mixto), el cual es inferior al reportado para los 11 años de análisis siendo -3749 ha, indicando valores positivos en relación a disminución de la deforestación en los últimos años de estudio. Entre 2000 al 2006, las microcuencas estudiadas cambiaron en -6488 ha, siendo la microcuenca Cotzal y Chipal con -3960 y -1686 ha, las que más disminuyeron su cobertura forestal. Entre 2000 al 2011 las microcuencas estudiadas cambiaron positivamente aumentando el área de cobertura forestal en 1074 ha (gráfica 3). Los sitios identificados como áreas de interés para reforestación para la Hidroeléctrica Palo Viejo en relación al manejo forestal se identificaron como: Boca toma Cotzal, Guacamayas, Cerro Chailá Tzitzé, Cerro Chinimaquín y Finca Regadíos.



Gráfica 3. Cambios de usos forestales 2000-2011. Microcuencas

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad del Valle de Guatemala por la colaboración en el desarrollo de la presente investigación, especialmente al Laboratorio de Percepción Remota y de Sistemas de Información Geográfica por la facilitación de las imágenes espectrales. Al Dr. Edwin Castellanos por la asesoría respectiva. Al Lic. Jorge Aguilar por el uso del laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la empresa Sli Geográfica, además del apoyo incondicional en el uso del software. A la empresa ENEL de Guatemala especialmente a los Ingenieros Renato Patzan y Erick Pastora por permitir y contribuir al desarrollo del estudio en el proyecto hidroeléctrico PALO VIEJO.

Bibliografía

- Almeida TIR, De Souza Filho CR, Rossetto R (2006) *ASTER and Landsat ETM+ images applied to sugarcane yield forecast* Int J Remote Sens 27: 4057-4069
- ERDAS (2010) *ERDAS Field Guide Fourth Edition* ERDAS, Inc Atlanta, GA, United States

- GRAS, INIA (2012) *La Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, algunas aplicaciones en el Uruguay*, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) disponible en: http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/sistemas/teledeteccion_gis_uy.pdf
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación MAGA (2006) *Obtención de imágenes digitales y elaboración de ortofotos a detalle de la República de Guatemala*
- Pérez D (2007) *Curso de Sensores Remotos* Universidad de Buenos Aires (UBA) Buenos Aires, Argentina
- SIFGUA (2012) *Sistema de Información Forestal de Guatemala*
- UVG, URL, INAB, CONAP (2012) *Mapa de Cobertura Forestal 2010, Dinámica de Cobertura Forestal Guatemala 2006-2010*
- USDA (1999) *Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso* United States Department of Agriculture

Bibliografía de consulta

- Andrade, JC (2009) *Estudio de Cambio de Uso del suelo, Proyecto Hidroeléctrico Palo Viejo San Juan Cotzal y Uspantán El Quiché, Guatemala*
- Billingsley FC et al (1983) *Data Processing and Reprocessing In: Manual of Remote Sensing* edited by R N. Colwell (ed) American Society of Photogrammetry USA, Chapter 17

- Congreso de la República de Guatemala (1996) *Ley Forestal. Decreto No. 101-1996 Guatemala*
- Curtiss B, Goetz A (1999) *Field Spectrometry: Techniques and Instrumentation Fieldspec User's Guide USA*
- Elassal AA, Caruso VM (1983) *USGS Digital Cartographic Data Standards: Digital Elevation Models Circular 895-B Reston, Virginia: USA Geological Survey*
- Hord RM (1982) *Digital Image Processing of Remotely Sensed Data Academic Press*
- Instituto Geográfico Nacional (1979) *Atlas Nacional de Guatemala Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, Guatemala*
- Instituto Nacional de Bosques (1999) *Manual Técnico Forestal INAB, Guatemala*
- Milton EJ et al (1995) *Advances in field spectroscopy. Advances in Environmental Remote Sensing Department of Geography, University of Southampton, England*
- Robledo H, WI (2003) *Pagos de servicios ambientales para la implementación de sistemas agroforestales en áreas críticas de las cuencas generadoras de energía eléctrica María Linda y Los Esclavos, Guatemala Tesis Maestría, CATIE, Costa Rica*
- Short NM (1982) *The Landsat Tutorial Workbook: Basics of Satellite Remote Sensing National Aeronautics and Space Administration USGS, Washington, DC*
- Tacam Cúmez C (2008) *Dinámica del cambio de uso de la tierra y su impacto en el comportamiento del ciclo hidrológico de la parte norte de la subcuenca alta del río Guacalate y actividades realizadas en la unidad de planificación geográfica y gestión de riesgo del ministerio de agricultura, ganadería y alimentación Tesis de Ingeniería, USAC Guatemala*
- Universidad Rafael Landívar (2006) *Perfil Ambiental de Guatemala Instituto de Incidencia Ambiental*



Juan Carlos Andrade Castañeda
jcarlospk2@yahoo.com