

Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras

Daniel Efraín Santillán Nicola

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Daniel Efraín Santillán Nicola

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras

Daniel Efraín Santillán Nicola

Resumen: Este estudio se centra en el valle de Sico-Paulaya ubicado en Iriona, Colón, Honduras. Principalmente, en esta zona se ubican actividades agrícolas y ganaderas que se han ido expandiendo con el tiempo. A pesar de algunas acciones de manejo forestal, muchas áreas boscosas se han reducido y algunas fuentes hídricas han sido afectadas. El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios de usos y coberturas de la tierra ocurrida en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya. En primer lugar, se realizó una clasificación supervisada de usos y coberturas usando las imágenes satelitales Landsat 7 y 8, estas fueron procesadas por medio del programa ENVI 4.7[®] y ArcGIS 10.3[®]. Se obtuvieron cinco categorías de usos y coberturas entre ellas están el bosque latifoliado, pastizales, agricultura, matorrales y áreas urbanas. Los cambios ocurridos entre los años 2005 y 2016 se evaluaron mediante la matriz de Pontius. Los resultados indican que la cobertura con mayor pérdida es el bosque latifoliado con 8,122.86 ha de cambio neto, esto se atribuye principalmente a la expansión del área de pastizales que cambió de 5,569.74 ha a 14,505.75 ha entre los años 2005 y 2016. Por otro lado, usando la ecuación de Puyravaud se estimó una tasa de deforestación para el valle de -4.6% en los últimos 11 años.

Palabras clave: Análisis multitemporal, imágenes Landsat, matriz de Pontius, sensores remotos.

Abstract: This research is focused on the Sico-Paulaya Valley located on Iriona, Colon in Honduras. Mainly, in this zone there are livestock and agricultural activities which have been expanding over time. Despite some forest management practices, many forested areas have been reduced and some hydric sources have been affected. The objective of this research was to evaluate the changes of the uses and land cover in the period of 2005-2016 in the Sico-Paulaya Valley. First, It was did a supervised classification of uses and land cover using the Landsat 7 and 8 satelital images, they were processed through the programs ENVI 4.7[®] and ArcGIS 10.3[®]. They were obtained five categories of uses and land cover such as broadleaf forest, grasslands, agriculture, shrubbery, and urban areas. The changes between 2005 and 2016 were evaluated using the matrix of Pontius. The results show that land cover with the highest loss is the broadleaf forest with 8,122.86 ha of net change, this is attributed mainly to the expansion of grasslands area which changed from 5,569.74 ha to 14,505.75 ha between 2005 and 2016. In other hand, using the Puyravaud equation it was estimated a deforestation rate of -4.6% in the last 11 years in the valley.

Key words: Landsat images, multitemporal analysis, Pontius matrix, remote sensing.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
4. CONCLUSIONES	14
5. RECOMENDACIONES	15
6. LITERATURA CITADA	16
7. ANEXOS.....	19

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Estructura de una matriz de confusión.....	7
2. Matriz de transición de usos y coberturas de Pontius.....	9
3. Matriz de transición de Pontius para los usos y coberturas en hectáreas evaluados en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras. 2016.....	12

Figuras	Página
1. Ubicación espacial del valle de Sico - Paulaya, Municipio de Iruya del Departamento de Colón, Honduras. 2016.....	3
2. Descripción del proceso digital de las imágenes Landsat 7 y 8 para el año 2005 y 2016 que cubren el valle de Sico-Paulaya, Honduras 2016.....	4
3. Proceso de corrección de bandeo por medio de una máscara y mosaico para la imagen Landsat 7 del mes de marzo de 2005.....	6
4. Clasificación de usos y coberturas de la tierra del valle de Sico-Paulaya para el año 2005 y 2016.....	11
5. Clasificación de coberturas de bosque y no bosque en el valle de Sico-Paulaya, Honduras.....	13

Anexos	Página
1. Imágenes Landsat usadas para la clasificación de coberturas.....	19
2. Composición de las imágenes Landsat 7 y 8 usando las bandas 453 y 564 respectivamente para el área del valle de Sico-Paulaya, Honduras. 2016.....	19
3. Valores de separabilidad entre usos y coberturas de la tierra del valle de Sico-Paulaya, Honduras.....	20
4. Matriz de confusión para la clasificación 2005.....	20
5. Matriz de confusión para la clasificación 2016.....	21

1. INTRODUCCIÓN

Ante un análisis de usos y coberturas se debe partir de una diferenciación de conceptos, donde la cobertura se conoce como el aspecto morfológico y tangible del suelo, mientras que los usos se refieren a las funciones que se desarrollan sobre los recubrimientos de la superficie terrestre (Velázquez, Duran, Larrazábal, López y Medina, 2010). Estos son variables en el tiempo y los cambios están asociados a la fragmentación del hábitat, donde las actividades antrópicas se consideran uno de los efectos más severos en la faz de la tierra (Soulé y Orians, 2001). Por lo tanto, las actividades económicas que dependen de los usos y coberturas deben ser controladas para evitar una sobreexplotación de los recursos naturales.

Los ecosistemas terrestres sufren frecuentes transformaciones por la intensificación y degradación del suelo (Lambin, 1997). Un aumento en las áreas agrícolas dirigiéndose a las áreas forestales afecta directamente a la superficie de coberturas con alta vulnerabilidad a procesos de erosión y baja productividad (Orozco, Peña, Franco y Pineda, 2004).

Los cambios de usos y coberturas y sus efectos en el paisaje se pueden evaluar mediante la teledetección o sensores remotos, misma que permite realizar un monitoreo mediante el uso de imágenes satelitales o fotos aéreas. Específicamente, facilitan el monitoreo de los cambios ocurridos en las coberturas naturales, urbanas y agrícolas a corto o largo plazo en un área de interés (Schowengerdt, 2007).

El análisis multitemporal permite reconocer la descripción total del área de estudio y localizar la dinámica de las coberturas entre diferentes fechas de referencia, analizando los cambios del medio natural o las consecuencias de las actividades antrópicas sobre ese medio (Chuvienco, 1996). Por ende, al comparar imágenes satelitales procesadas podemos observar y determinar las ganancias o pérdidas de cobertura del suelo de un área establecida para un tiempo determinado.

En Honduras se han realizado varios estudios aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sensores remotos en diferentes áreas con ayuda de varias entidades de cooperación nacional e internacional. Un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], (2006) en el período 1995 y 2005 señaló que Honduras es el país con la mayor tasa de deforestación del mundo, con una cifra de 1,955,000 hectáreas de bosques equivalente a 195,500 ha/año. La alta deforestación en Honduras ha ocurrido por las actividades agropecuarias que se han extendido con el tiempo debido a la necesidad de suplir alimentos para la población (Murillo, 2011). Esto genera una gran controversia entre la producción de alimentos y la conservación de los bosques.

Honduras es el primer país de la región centroamericana que cuenta con una Red Nacional de Bosques Modelo, donde el valle de Sico-Paulaya participa como un actor involucrado a la gestión sostenible y manejo de amplias zonas boscosas (Coto, 2012). Sin embargo, las actividades ganaderas, agrícolas y la tala ilegal de madera han causado una reducción en la cobertura de bosques del valle de Sico-Paulaya. En el 2011 se detectó una fuerte tala y tráfico ilegal de madera que afectó a fuentes de agua y proyectos comunitarios de energía renovable en las áreas boscosas del valle (Instituto de Conservación Forestal [ICF], 2011).

El valle de Sico-Paulaya es identificado como zonas ganaderas y agrícolas, donde se centran empresas importantes para la producción de alimentos. La principal actividad económica del valle de Sico-Paulaya es la ganadería y se ha ido expandiendo en base al uso de pasto para potreros. Esta actividad ha causado el deterioro de los recursos naturales generando una fuerte presión sobre las áreas boscosas. Por otra parte, la actividad agrícola también influye sobre la reducción de bosques mediante la agricultura de subsistencia. Los cultivos principales del valle son frijol, maíz, yuca, plátano, hortalizas y algunas zonas de frutales. (Administración Forestal del Estado-Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal [AFE-COHDEFOR], 2002). Además, existen varios proyectos de producción de cultivos como palma africana y caña de azúcar.

La aplicación de los sistemas de información geográfica y sensores remotos sirven como herramientas de automatización para el manejo sustentable de los recursos naturales y el ordenamiento territorial de una comunidad (Schowengerdt, 2006). En este estudio se emplearon estas herramientas con el fin de identificar la dinámica de las coberturas y usos de la tierra que se han generado en los últimos 11 años en el valle Sico-Paulaya. Específicamente se plantearon los objetivos siguientes:

- Clasificar los usos y coberturas de la tierra para el año 2005 y 2016 en el territorio del valle de Sico-Paulaya.
- Identificar las pérdidas, ganancias y transiciones de los usos y coberturas de la tierra en el período 2005–2016.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el valle Sico-Paulaya, ubicado en el municipio de Iruya del departamento de Colón, Honduras. El área corresponde a una extensión de 41,189.04 ha y cuenta con los ríos Sico, Paulaya y Cuyamel (Figura 1). El rango de pendientes varía de 0% a 12% y algunas colinas alcanzan hasta 31% de pendiente. El valle representa un área de 16,333.94 ha de la zona de amortiguamiento para la Reserva Biosfera del Río Plátano y posee zonas cercanas sobre el Área protegida de la Sierra del Rio Tinto (Mesa de Ambiente y Producción Sico Paulaya [MAPSP], 2011). La precipitación anual se encuentra en un rango de 1,000 y 3,200 mm y alcanza una temperatura de 28°C. Las actividades económicas predominantes del valle de Sico-Paulaya son la ganadería y agricultura (Ulloa, 2012).

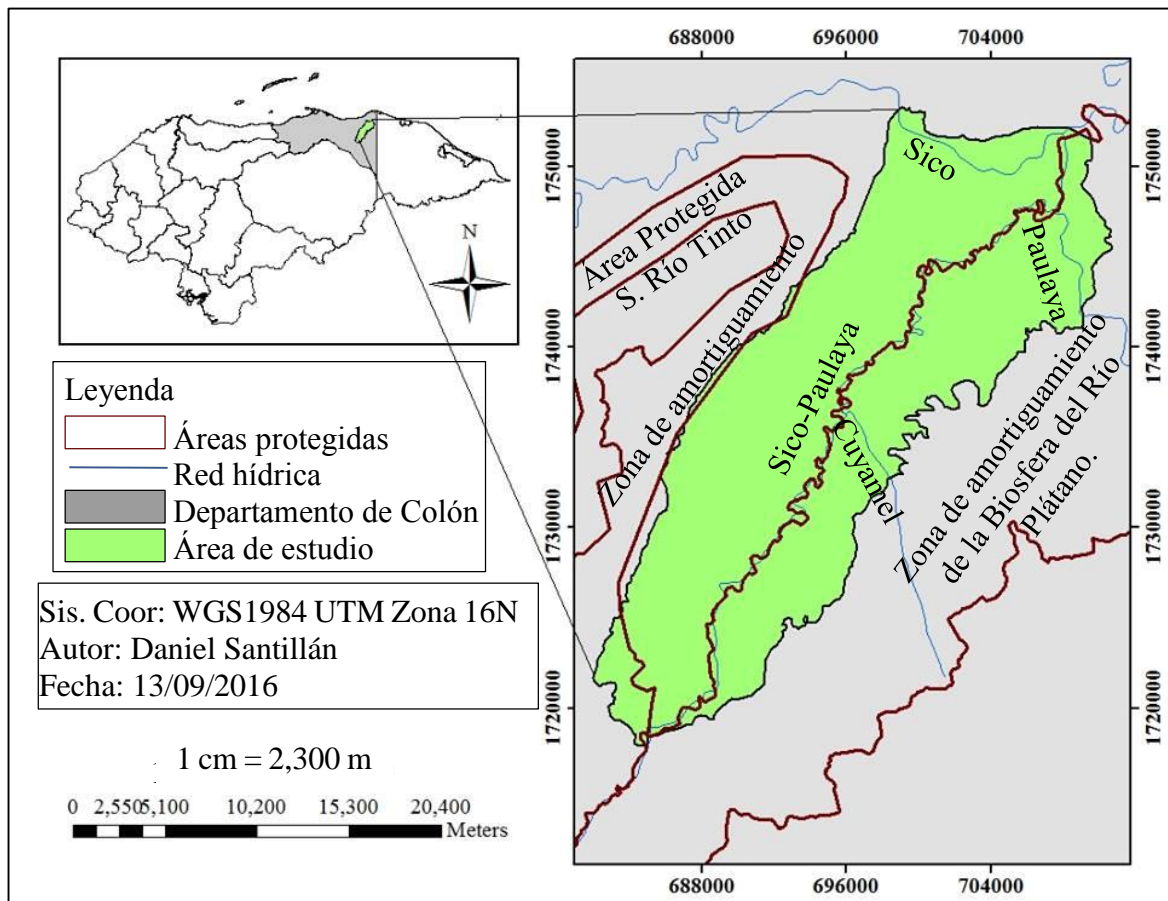


Figura 1. Ubicación espacial del valle de Sico-Paulaya, Municipio de Iruya del Departamento de Colón, Honduras. 2016.

Para identificar los principales usos y coberturas del valle en los años 2005 y 2016 se utilizaron imágenes Landsat 7 y 8 disponibles en el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Estas imágenes fueron sometidas a un proceso de clasificación, mismo que se dividió en tres partes: Preprocesamiento, procesamiento y posprocesamiento (Figura 2). Estas fases se llevaron a cabo por medio de diferentes herramientas de los programas ENVI 4.7[®] y ArcGis 10.3[®] y se explican más adelante.

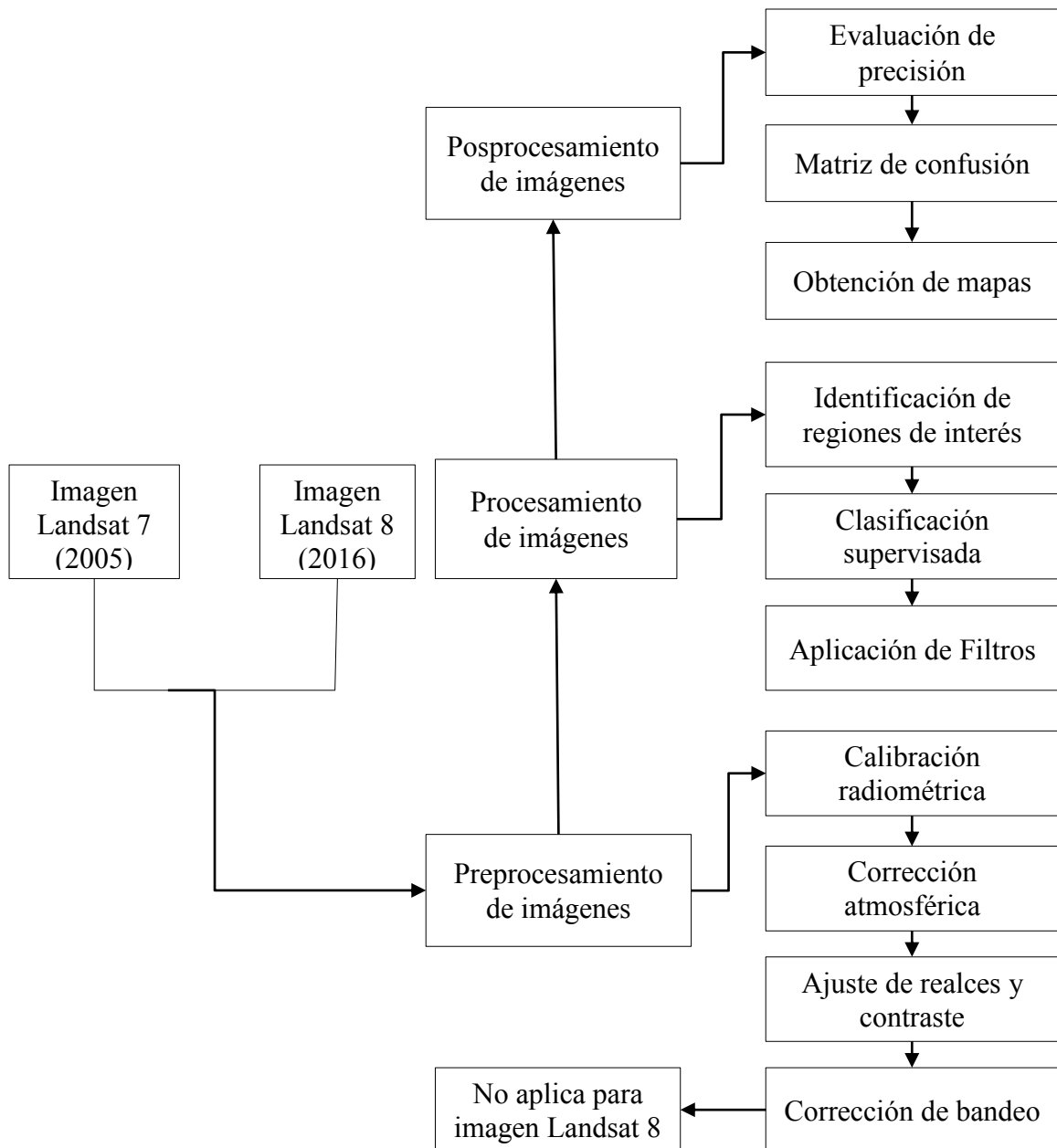


Figura 2. Descripción del proceso digital de las imágenes Landsat 7 y 8 para el año 2005 y 2016 que cubren el valle de Sico-Paulaya, Honduras 2016.

Preprocesamiento. Las imágenes satelitales Landsat 7 y 8 para el año 2005 y 2016 respectivamente se obtuvieron del USGS. La calibración radiométrica se ejecutó por medio del programa ENVI 4.7[®] para ambas imágenes Landsat y en este se establecieron los valores de radiancia del metadato correspondiente a cada banda de la imagen.

La imagen satelital Landsat 7 se obtuvo mediante la composición de las bandas 4, 5 y 3 y a la imagen Landsat 8 se aplicó una composición de las bandas 5, 6 y 4. La resolución de las bandas para ambas imágenes es de 30m de resolución. Estas combinaciones son las más utilizadas para investigaciones sobre los recursos naturales por tener una visualización espectral con una gama de colores en infrarrojo (Carrasco, Arce, Theodor y Moreira, 2005). Estas composiciones facilitan la identificación e interpretación de las características de las coberturas que se proyectan en las imágenes satelitales. Después de la composición de las imágenes se aplicó la corrección atmosférica usando el método “Dark Object Subtraction”, este proceso tiene la finalidad de reducir el efecto de dispersión del sensor causado por los gases atmosféricos (Chavez, 1988). Por otro lado, se ajustaron los realces y contrastes examinando los valores de Niveles Digitales (ND) para cada tonalidad de la composición de las bandas y estos valores se encuentran en un rango de 0 a 255. Esto sirve para ajustar la tonalidad de los píxeles y hacer más fácil la interpretación (Schowengerdt, 2006).

Finalmente, se corrigió el bandeo de la imagen Landsat 7 usando una imagen del mismo sensor con fecha cercana y con posición del bandeo diferente, esto se realizó por medio del proceso “masking” o enmascarado y construcción de un mosaico de ambas imágenes por medio del ENVI 4.7[®] (Figura 3). Este proceso consiste en copiar información de una imagen y pegarla sobre otra para completar la falta de información en las áreas de bandeo. Las imágenes Landsat 7 poseen un área 185×185 km, donde el bandeo representa el 22% del área total. Este error se debe a que el sensor Landsat 7 sufrió un fallo en el Corrector de Escaneo Lineal (SLC) que compensa el movimiento hacia delante del satélite al momento de adquirir la imagen (USGS). Esto causa una reducción de datos en las imágenes satelitales y por ende se requiere este proceso para completar la información de la imagen.

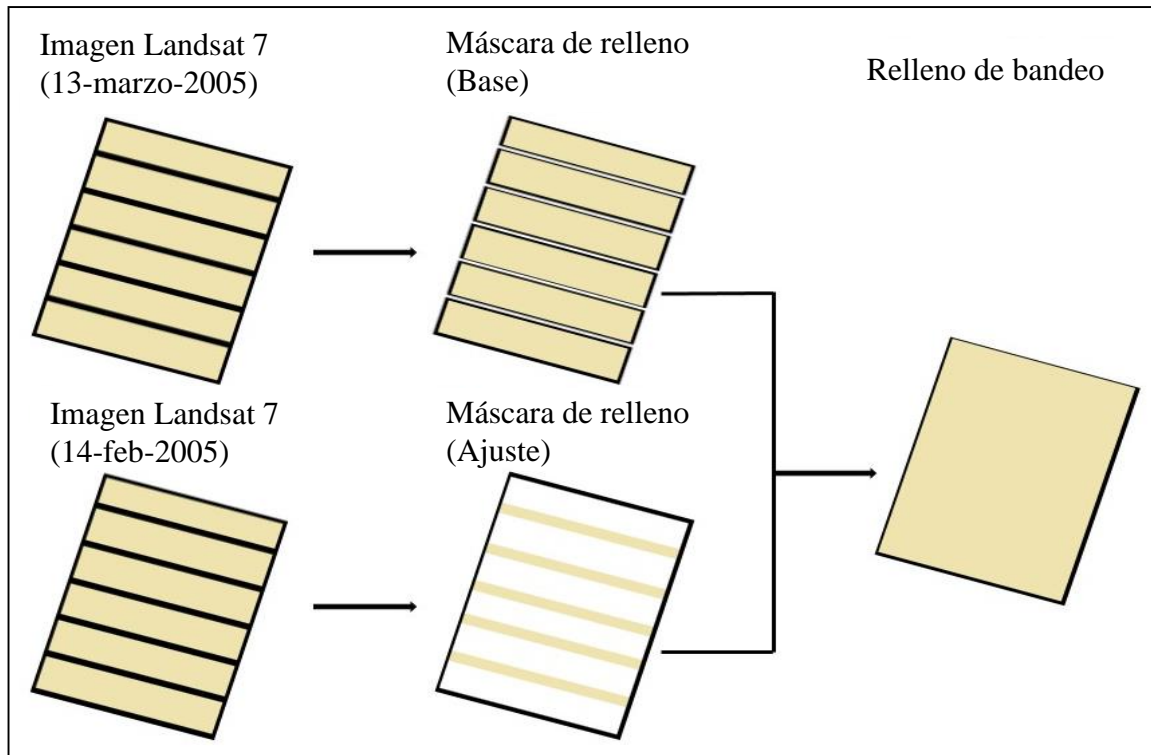


Figura 3. Proceso de corrección de bandeo por medio de una máscara y mosaico para la imagen Landsat 7 del mes de marzo de 2005.

Al finalizar la construcción del mosaico se identificaron algunas áreas donde la corrección de bandeo dejó algunos vacíos de información, ante esto se procedió a utilizar la herramienta de “Gapfill” incorporada en el programa ENVI 4.7[®] y así se obtuvo una imagen con la información completa. En el caso de la imagen Landsat 8 no fue necesario este tipo de corrección de bandeo ya que el sensor no presenta este inconveniente.

Procesamiento. En esta fase se determinó clasificar las imágenes correspondientes a cada año de estudio en cinco clases de usos y coberturas, entre ellas están el bosque latifoliado, pastizales, agricultura, matorrales y áreas urbanas. La clasificación de cada imagen se llevó a cabo por medio del método supervisado “Support Vector Machine” disponible en el programa ENVI 4.7[®]. Este tipo de clasificación requiere de firmas espectrales o regiones de interés (ROI’s, por sus siglas en inglés) previamente identificadas por un proceso de fotointerpretación para cada categoría de uso y cobertura.

Las regiones de interés fueron evaluadas mediante un análisis de separabilidad entre cada categoría de uso y cobertura que brinda el programa ENVI 4.7[®], esto se realizó con el fin de evaluar el grado de diferenciación entre píxeles que se distinguen espectralmente. Los valores de separabilidad se encuentran en un rango entre 0 y 2, donde el valor de 2 representa la máxima separabilidad entre las categorías y en este caso se buscó cumplir con una separabilidad superior a 1.8 para establecer una diferenciación entre las clases. Sin

embargo, lo recomendable es tener un valor mayor a 1.9 para obtener una alta separabilidad (Maussel, Kramber y Lee, 1990).

La separabilidad se aplicó para las primeras cuatro clases de usos y coberturas y fueron estas categorías las que se incluyeron en el proceso de clasificación. La clase de áreas urbanas se obtuvo por medio de un proceso de digitalización manual utilizando la imagen de “Google Earth Pro” correspondiente al año 2005 y para el 2016 se utilizó la banda pancromática de la imagen Landsat 8.

Posprocesamiento. Después de realizar la clasificación de las imágenes Landsat 7 y 8 se procedió a evaluar la precisión por medio de la matriz de confusión (Cuadro 1). Esta matriz indica la precisión del método clasificador de los ROI's bajo ciertos clasificadores que se explican más adelante.

Cuadro 1. Estructura de una matriz de confusión.

Clases	Referencia				Total	Exactitud Usuario	Error Comisión
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n			
Clase 1	X ₁₁				X ₁₊	X ₁₁ /X ₁₊	1-X ₁₁ /X ₁₊
Clase 2		X ₂₂			X ₂₊	X ₂₂ /X ₂₊	1-X ₂₂ /X ₂₊
Clase 3			X ₃₃		X ₃₊	X ₃₃ /X ₃₊	1-X ₃₃ /X ₃₊
Clase n				X _{nn}	X _{n+}	X _{nn} /X _{n+}	1-X _{nn} /X _{n+}
Total	X ₊₁	X ₊₂	X ₊₃	X _{+n}	∑X _{ij}		
Exactitud Productor	X ₁₁ /X ₊₁	X ₂₂ /X ₊₂	X ₃₃ /X ₊₃	X _{nn} /X _{+n}			
Error Omisión	1-X ₁₁ /X ₊₁	1-X ₂₂ /X ₊₂	1-X ₃₃ /X ₊₃	1-X _{nn} /X _{+n}			

Fuente: Adaptado de Chuvieco (2010).

La evaluación de precisión se determina bajo los errores de omisión y comisión. Estas medidas se relacionan con la respectiva imagen clasificada del área de estudio (Chuvieco, 2010). Los errores por omisión son las columnas donde los marginales muestran los pixeles correspondientes a una clase de cobertura, pero no fueron incluidos en ella. Donde X_{+i} es el marginal de la columna i, y X_{ii} la diagonal de dicha columna (Ecuación 1).

$$E_{o,i} = \frac{X_{+i} - X_{ii}}{X_{+i}} \quad [1]$$

Los errores por comisión son las filas donde los pixeles son clasificados como una clase de cobertura perteneciendo realmente a otra. Donde X_{i+} indica el marginal de la fila i, y X_{ii} la diagonal de dicha fila (Ecuación 2).

$$E_{c,i} = \frac{X_{i+} - X_{ii}}{X_{i+}} \quad [2]$$

Por otro lado, se destaca la exactitud del productor y del usuario (Aronoff, 1982). La primera se relaciona inversamente con los errores de omisión (Ecuación 3), mientras la segunda se relaciona con los errores de comisión (Ecuación 4).

$$F_{p,i} = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \quad [3]$$

$$F_{u,i} = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \quad [4]$$

Estos valores indican que, si el error de omisión es bajo, la precisión del productor es alta, por lo tanto, la probabilidad que tiene la ubicación del punto en su respectiva cobertura es alta. Por otro lado, si el error de comisión es alto, indica una baja precisión del usuario mostrando una baja probabilidad de la zona de clasificación en el mapa.

Después de evaluar la precisión de la clasificación se procedió a exportar la clasificación de un formato ENVI 4.7[®] a formato ráster del programa ArcGIS 10.3[®]. En este último programa se realizó el proceso de inclusión o eliminación del efecto sal y pimienta que se produce después de una clasificación, esto produce pixeles aislados a las clases compactas de las diferentes categorías de usos y coberturas. Para ello es necesario aplicar filtros, en este caso solamente se aplicaron dos entre ellos están el “Majority Filter” y el “Boundary Clean” (Vélez, 2013). Después de aplicar estos filtros se procedió a cuantificar las áreas en hectáreas de cada categoría de uso y cobertura. Los estudios de Lencinas y Siebert (2009) indican que la Unidad Mínima Cartografiada para la imagen Landsat con una resolución de 30 m es de 5 ha en una escala cartográfica máxima de 1:100,000.

Matriz de transición de Pontius. Para evaluar los cambios de usos y coberturas ocurridos entre los años 2005 y 2016 del valle del Sico-Paulaya se utilizó la matriz de Pontius. Esta matriz calcula las pérdidas, ganancias, cambio neto, cambio total y persistencia de cada uso y cobertura (Pontius, Shusas y McEachern, 2004). De esta manera se puede determinar la cobertura que ha sufrido mayores cambios en el área de estudio. La matriz de Pontius permite incluir dos entradas de tiempo (Cuadro 2). El tiempo uno (2016) y el tiempo dos (2005), aquí se representan los valores de área correspondiente para cada categoría de uso y cobertura. Los valores de la matriz se obtuvieron usando la herramienta “combine” con el programa ArcGIS 10.3[®]. Esta herramienta permite combinar los valores de pixeles de los dos mapas para calcular el valor de pixeles de la transición de cada cobertura.

Cuadro 2. Matriz de transición de usos y coberturas de Pontius.

	Tiempo 2 (j)				Total T1	Pérdidas
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4		
Tiempo 1 (i)						
Categoría 1	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₊	P ₁₊ -P ₁₁
Categoría 2	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₂₊	P ₂₊ -P ₁₂
Categoría 3	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃	P ₃₄	P ₃₊	P ₃₊ -P ₁₃
Categoría 4	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃	P ₄₄	P ₄₊	P ₄₊ -P ₁₄
Total T2	P ₊₁	P ₊₂	P ₊₃	P ₊₄	1	
Ganancias	P ₊₁ -P ₁₁	P ₊₂ -P ₂₂	P ₊₃ -P ₃₃	P ₊₄ -P ₄₄		

Fuente: Adaptado de Pontius et al. (2004).

De esta manera el total del tiempo 1 (P_{i+}), indica el área total de la categoría i en el tiempo 1, se calcula sumando el total de la j de P_{ij}. Así mismo el total del tiempo 2 (P_{+j}), indica el área total de la categoría j en el tiempo 2, se calcula sumando todos los i para P_{ij}. Los valores de P_{ij} indican la proporción del paisaje que resulta un cambio en la transición de la categoría i a la categoría j donde las categorías dependen del estudio. Los valores de P_{ij} permanecen de acuerdo a la categoría (cobertura) del paisaje al final del período de estudio. Es decir que no ha ocurrido ningún cambio de los usos y coberturas. Estos valores se intersectan en cada categoría de la matriz.

La fila de ganancias se obtiene en la diferencia entre el total del área y la persistencia de la categoría correspondiente en la columna (Ecuación 5). Donde G_{ij} muestra los valores del paisaje que adquiere ganancias netas en la categoría j entre el tiempo 1 y tiempo 2.

$$G_{ij} = P_{+j} - P_{ij} \quad [5]$$

La columna de pérdidas se obtiene en la diferencia entre el total del área y la persistencia de la categoría correspondiente en la columna (Ecuación 6). Donde L_{ij} muestra los valores del paisaje que obtiene pérdidas netas en la categoría i entre el tiempo 1 y tiempo 2.

$$L_{ij} = P_{j+} - P_{ij} \quad [6]$$

El cambio neto (CN) se define como el cambio en cada cobertura del paisaje en el periodo de estudio. Este cambio es el valor absoluto que se obtiene a través de la resta de las pérdidas y ganancias de cada categoría (Ecuación 7).

$$CN = |P_{+i} - P_{j+}| \quad [7]$$

El cambio total (CT) son los cambios de cada cobertura en todo el paisaje. Se obtiene a través de la suma de las ganancias y las pérdidas (Ecuación 8).

$$CT = G_{ij} + L_{ij} \quad [8]$$

Tasa de deforestación. Para obtener la tasa anual de deforestación (r), se utilizó la fórmula propuesta por Puyravaud (2003), esta fórmula indica el porcentaje que disminuye el área de bosque por año (Ecuación 9). Es decir, la tasa anual de cambio en el período de estudio.

$$r = \left(\frac{1}{(t2 - t1)} \times \ln \frac{A2}{A1} \right) \times 100 \quad [9]$$

Donde: A1 corresponde al área boscosa inicial expresada en ha, A2 corresponde el área boscosa final del período en ha, t1 indica el año inicial del periodo y t2 el año final del período (Puyravaud, 2003).

Si el resultado de r es negativo quiere decir que presenta deforestación del área boscosa, pero si r es positivo indica que el área se está reforestando. Para el cálculo de la tasa de deforestación se consideró el área de bosque latifoliado total para ambas fechas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales Landsat 7 y 8 correspondiente al año 2005 y 2016 respectivamente, se obtuvieron dos capas de usos y coberturas para el valle del Sico-Paulaya. Ambas capas contienen las categorías de bosque latifoliado, pastizales, agricultura, áreas urbanas, matorrales y cuerpos de agua (Figura 4). En el año 2016 es notable identificar la predominancia de las áreas agrícolas y de pastizales, mientras que en el año 2005 se observan principalmente áreas de bosque y de matorrales.

El área con mayor cobertura vegetal en el año 2005 corresponde a los bosques latifoliado. Las coberturas de agricultura y pastizales poseen una gran extensión territorial debido a la necesidad de suplir alimentos para la población. Sin embargo, al comparar visualmente los mapas entre el año 2005 y 2016, se puede observar que las coberturas de pastizales y agricultura han reducido las áreas boscosas.

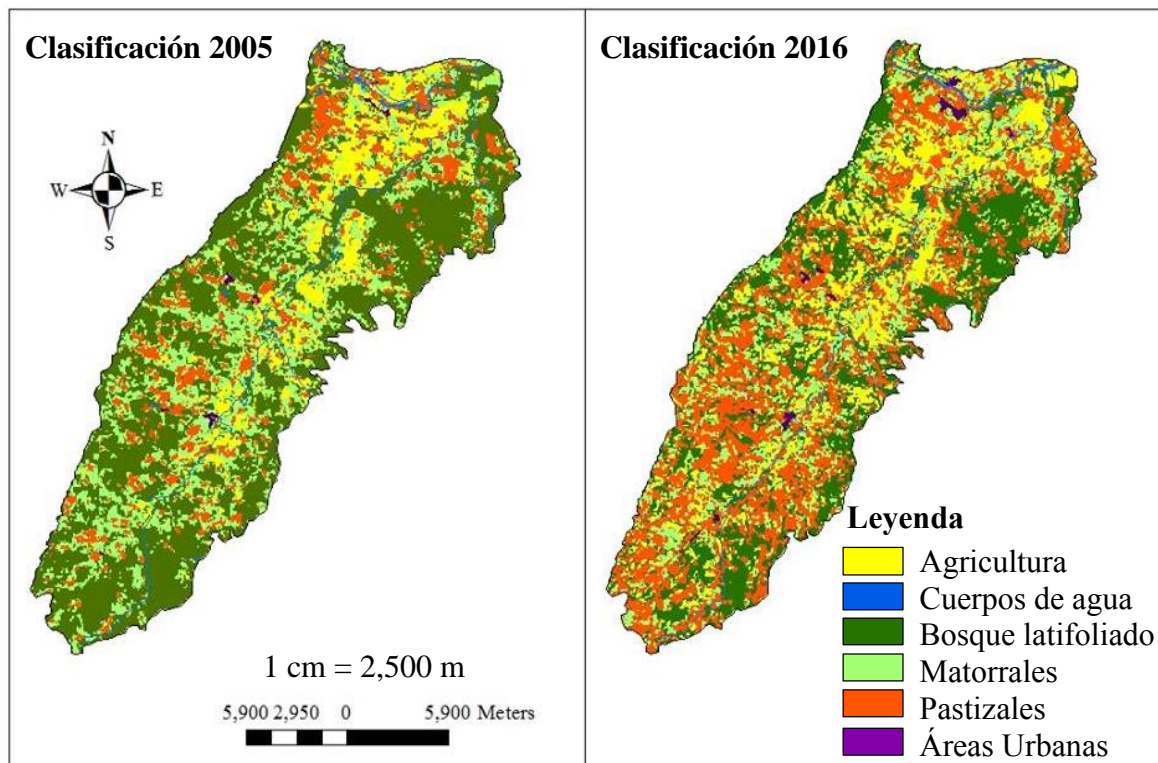


Figura 4. Clasificación de usos y coberturas de la tierra del valle de Sico-Paulaya para el año 2005 y 2016.

Cada una de las capas de usos y coberturas presenta la categoría y su respectiva área en ha, esta información es clave al momento de realizar el análisis de cambios por medio de la matriz de Pontius. La principal pérdida en el período analizado ocurrió en la categoría de bosque latifoliado, presentando una disminución de 11,202.03 ha y la mayor parte de esta pérdida se explica por el cambio hacia la categoría de pastizales. En esta misma categoría de bosque, nótese que en el año 2005 habían 20,449.8 ha, de estas persistieron 9,247.7 ha a través del tiempo. Por otro lado, obsérvese que la categoría de agricultura tuvo una ganancia de 4,279.7 ha, misma que se explica por la transición de bosque latifoliado y matorrales a esta categoría (Cuadro 3).

Cuadro 3. Matriz de transición de Pontius para los usos y coberturas en hectáreas evaluados en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras. 2016.

	2016						Total 2005	Pérdidas
	Agr	CA	BL	Ma	Pa	AU		
2005								
Agr	1491.9	19.5	295.9	1115.1	1194.5	33.3	4150.3	2658.4
CA	31.4	38.0	48.6	22.0	92.8	0.0	233.1	195.0
BL	1730.1	61.3	9247.7	2606.2	6777.9	26.3	20449.8	11202.0
Ma	1720.8	47.0	2092.5	2732.4	4028.9	53.3	10675.1	7942.7
Pa	796.3	48.0	641.7	1644.3	2388.8	50.3	5569.7	3180.8
AU	0.9	0.0	0.1	2.9	22.5	84.1	110.8	26.7
Total 2016	5771.6	214.1	12326.9	8123.1	14505.7	247.5	41189.0	
Ganancias	4279.7	176.0	3079.1	5390.7	12116.8	163.3		

Las siguientes variables hacen referencia a: Agr= Agricultura; CA= Cuerpos de agua; BL= Bosque Latifoliado; Ma= Matorrales; Pa= Pastizales; AU= Áreas Urbanas.

El cambio neto de la cobertura de pastizales aumentó en 8,936.01 ha del área total del valle. De esta estimación, los pastizales se convierten en la cobertura con mayor área del valle de Sico-Paulaya en el año 2016 con 14,505.7 ha. Esta cobertura es la principal amenaza de reducción en la frontera occidental de la reserva Biosfera del Río Plátano, además la tala ilegal de bosques y la intensificación de la agricultura.

El mayor cambio total se dio en la cobertura de pastizales (15,297.75 ha) y bosques latifoliado (14,281.2 ha). De esta manera se explica la fuerte dinámica de los cambios de coberturas para ambas categorías. La explicación del cambio de matorrales a agricultura podría darse a la invasión de nuevas comunidades, mientras que las ganancias de matorrales podrían estar vinculado al desalojamiento de las actividades agrícola por su baja productividad (Ulloa, 2012).

Para ilustrar mejor la deforestación en los bosques latifoliado, se tomó como referencia el mapa de cambios de usos y coberturas entre el año 2005 y 2016. Se realizó un mapa de bosque y no bosque para el valle de Sico-Paulaya (Figura 5). De esta manera se puede

observar que el área boscosa para el año 2005 tenía mayor extensión de bosque comparado con el año 2016. Esto es debido a la alta tasa de deforestación que existe en el valle de Sico-Paulaya, donde el principal fenómeno de cambio se debe a las actividades agropecuarias. La tasa de deforestación según la ecuación de Puyravaud (2003) estima un valor de -4.6% para el período 2005 y 2016. Es decir que la tasa de cambio anual en el período de estudio se reduce un 4.6% del área de bosques, lo que representa 940.69 ha/año en los últimos 11 años.

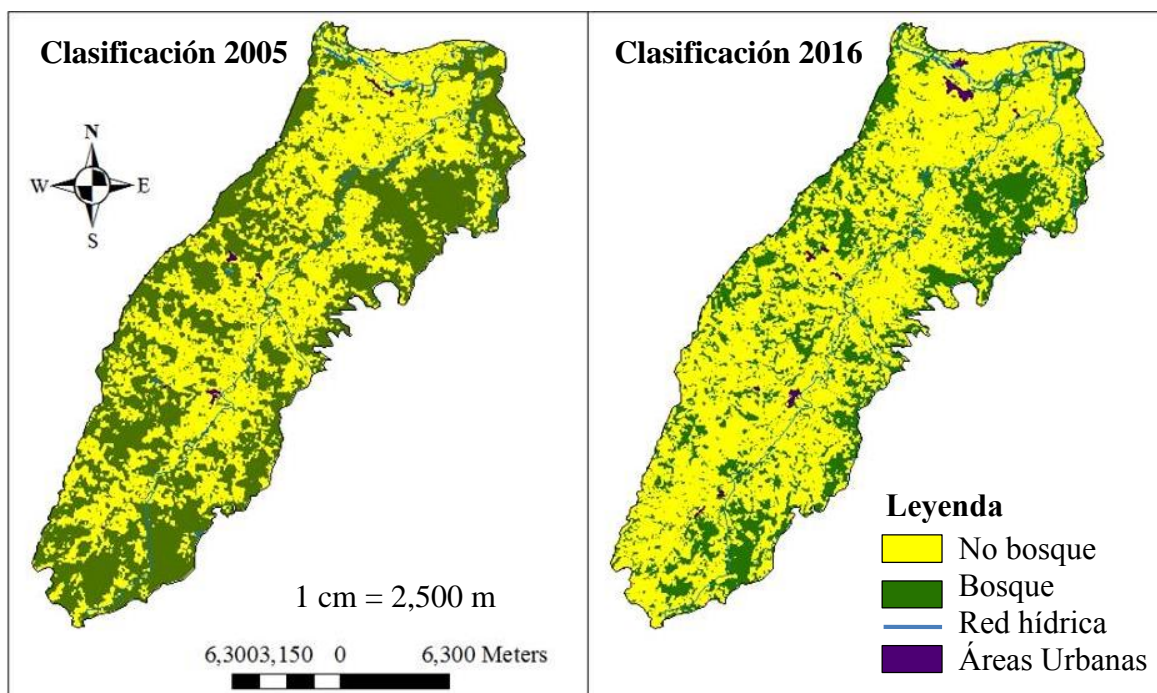


Figura 5. Clasificación de coberturas de bosque y no bosque en el valle de Sico-Paulaya, Honduras.

Con la aplicación de SIG se determinó que el valle representa un área de 16,333.94 ha. En esta zona, para el año 2005 los bosques latifoliado representaban un área de 8,740.29 ha, pero debido a la tala ilegal de bosques para la instalación de actividades de ganadería extensiva, las áreas boscosas se redujeron a un área 5,505.89 ha para el año 2016. La zona de amortiguamiento del Área Protegida de la Sierra del Río Tinto se conecta al valle de Sico-Paulaya con pequeñas zonas de amortiguamiento, sin embargo, estas áreas pueden estar amenazadas por el avance de la ganadería extensiva.

4. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los análisis de separabilidad para cada cobertura, los índices alcanzan valores mayores a 1.80, mostrando una diferencia en la clasificación de las coberturas para ambas fechas. Así mismo, el porcentaje de los errores de omisión y comisión son muy bajos para ambas imágenes, lo que indica una alta precisión en los clasificadores del productor y usuario, donde el resultado supera el 90% para los años 2005 y 2016.
- Las coberturas más complejas de clasificar para la imagen Landsat 7 y 8 fue la categoría de matorrales y bosque latifoliado, debido a que hubo píxeles intersectados para ambas categorías y tienden a resultar errores en la clasificación. Por ende, mediante los ajustes de realces y contraste se pudo identificar la tonalidad de los píxeles ubicando su respectiva categoría. Además, con la fase de entrenamiento de las firmas espectrales se pudo lograr clasificar los usos y coberturas para cada clase.
- En base a los mapas de usos y coberturas del valle de Sico-Paulaya en los años 2005 y 2016, se observa que la predominancia de cobertura para el año 2005 corresponde al bosque latifoliado, mientras que, en el año 2016, se nota una transición de áreas boscosas a pastizales que resultó una predominancia en la cobertura del área total del valle para ese año.
- El área de bosque latifoliado del valle del Sico-Paulaya tuvo una pérdida de 8,122.86 hectáreas de cambio neto entre los años 2005 y 2016. Esto se puede explicar por las ganancias de la cobertura de pastizales que aumentó 12,116.8 ha en los últimos 11 años. Esto crea una reducción de las áreas boscosas del valle y genera un peligro de extinción sobre las especies de la Reserva Biosfera del Río Plátano y el Área Protegida de la Sierra del Río Tinto.
- Del área total de la zona de amortiguamiento de la reserva Biosfera del Río Plátano, el valle representa un área de 16,333.94 ha. En esta área, las zonas boscosas se han reducido de 8,740.29 ha a 5,505.89 ha en los últimos 11 años, lo que provoca una pérdida de biodiversidad, una amenaza en la extinción de especies y una a posibilidad de la fragmentación del hábitat.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar análisis multitemporales anualmente para el mismo lugar con la finalidad de monitorear la dinámica de las coberturas, debido a que pueden surgir problemas de intensificación agrícola y tala ilegal en el valle de Sico-Paulaya que causan una reducción en las áreas boscosas. Estos estudios a corto plazo pueden realizarse utilizando imágenes Landsat 8 para identificar los cambios de cobertura y la tasa de deforestación en el valle de Sico-Paulaya.
- Diseñar un escenario tendencial sobre las probabilidades de cambios de usos y coberturas del valle de Sico-Paulaya para futuros años de estudio. De esta manera se puede inferir sobre las posibles pérdidas y ganancias que pueden seguir ocurriendo en el valle.
- En el caso de realizar estudios con imágenes Landsat 7, asegurar que no contenga altos porcentajes de nubosidad y sombras para evitar complicaciones en la clasificación de usos y coberturas.
- Informar a las instituciones de conservación forestal sobre la deforestación en el valle de Sico-Paulaya para proponer planes de manejos de los recursos naturales, debido a que posee áreas en las zonas de amortiguamiento para la biosfera del Río Plátano y el Área Protegida de la Sierra del Río Tinto.
- Debido a que el valle de Sico-Paulaya funciona como zona de amortiguamiento para la reserva Biosfera del Río Plátano, es importante realizar estudios en el área total de la zona de amortiguamiento de la reserva Biosfera del Río Plátano para estimar la dinámica de los cambios de usos y coberturas para proponer un control sobre estas áreas.

6. LITERATURA CITADA

- Administración Federal del Estado - Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal. (2002). *Informe sobre la Efectividad del Manejo Sitio de Patrimonio Mundial Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano Revista de Biología tropical*. Recuperado el 21 de Agosto de 2016, de <http://www.bionica.info/biblioteca/InformeReservaRioPlatano.pdf>
- Aronoff, S. (1982). The map accuracy report: A user's view, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48, 1309-1312.
- Carrasco, P., Arce, E., Theodor, B. y Moreira, J. (2005). *Aplicaciones agrícolas y forestales de las bandas 3 y 4 del sensor CCD en combinación con la banda 2 del sensor IR-MSS del satélite CBERS*. Goiânia, Brasil. Recuperado el 26 de Julio de 2016, de <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.20.24/doc/857.pdf>
- Chavez, P. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote sensing of environment*, 24(3), 459-479.
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección* (3 ed.). (RIALP, Ed.) Madrid, España.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio* (3 ed.). (Planeta, Ed.) Barcelona, España.
- Coto, R. W. (2012). Cuatro áreas forestales hondureñas ingresan a la Red Iberoamericana de Bosques Modelo, Honduras, *La Tribuna*.
- Instituto de Conservación Forestal. (15 de Junio de 2011). Tala Imparable y tráfico ilegal de madera en Sico y Paulaya, Honduras. *La Tribuna*.
- Lambin, E. F. (1997), Modelling deforestation processes: a review tropical ecosystem environment observations by satellites, European Commission Joint Research Centre-Institute for Remote Sensing Applications European Space Agency, Luxembourg, TREE Series B., Research Report No. 1.
- Lencinas, J. D. y Siebert, A. (2009). Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala. *Quebracho*, 17(1,2):101-105.

- Maussel, P., Kramber, J. y Lee, J. (1990), "Optimum band selection for supervised classification of multispectral data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 56, no. 1, pp. 55–60.
- Mesa de Ambiente y Producción Sico Paulaya. (2011). *Propuesta de Bosque Modelo Sico Paulaya*. Recuperado el 16 de Agosto de 2016, de <http://mesa-mapsp.blogspot.com/p/1.html>
- Murillo, A. (2011). *Estimaciones de la deforestación en Honduras*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2016, de <http://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2015/12/PREFO-La-deforestacio-en-Honduras.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales hacia la ordenación forestal sostenible*. Roma, Italia.
- Orozco, H. E., Peña, V., Franco, R. y Pineda, N. (2004), "Atlas Agrario Ejidal del Estado de México", Cuadernos de Investigación, núm., 34, UAEM, Toluca, México.
- Pontius Jr, R. G., Shusas, E. y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems Environment* 101(2):251-268.
- Puyravaud, J.P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177(1):593-596.
- Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote sensing: models and methods for image processing* (3 ed.). (A. Predd, Ed.) San Diego, California, USA.
- Soulé, M. y Orians, G. (2001). *Conservation biology: research priorities for the next decade*. (I. Press, Ed.) Sunderland, MA, USA.
- Ulloa, B. H. (2012). Análisis del cambio de uso de tierra y desarrollo de lineamientos para una estrategia de reducción de emisiones de Co2 en el valle de Sico Paulaya y zona de amortiguamiento de la reserva de biosfera del río plátano (Tesis de maestría). Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad (CATIE), Turrialba, Costa Rica,
- United State Geological Survey. (2010). *Using Landsat 7 Data*. Recuperado el 27 de Julio de 2016, de http://landsat.usgs.gov/Landsat_7_ETM_SLC_off_data_products.php
- Velázquez, A., Duran, E., Larrazábal, A., López, F., y Medina, C. (2010). *La cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2016, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/601/cobertura.pdf>

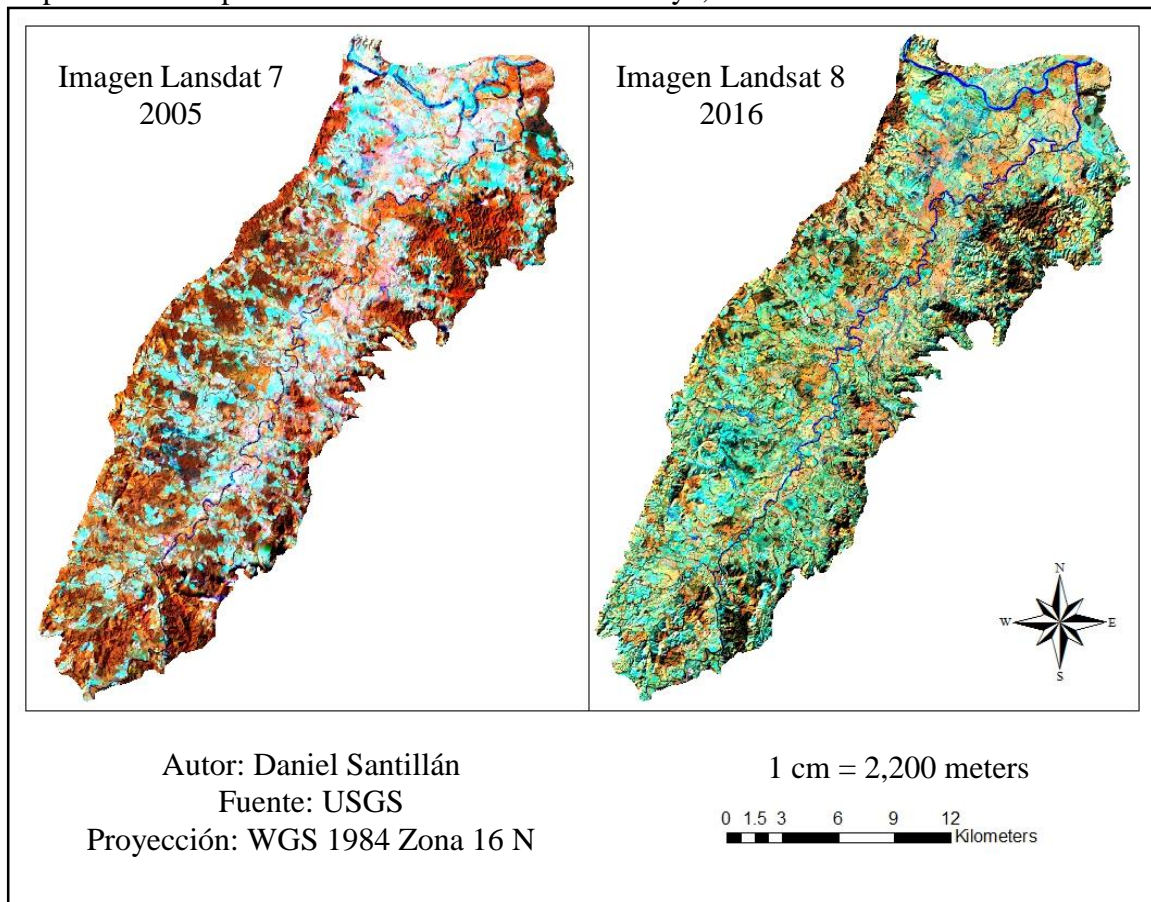
Vélez, C. (2013). Cartografía de las coberturas y los usos de la tierra para una evaluación de la fragmentación en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán (Tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Francisco Morazán, Honduras.

7. ANEXOS

Anexo 1. Imágenes Landsat usadas para la clasificación de coberturas.

Fecha de captura	Sensor y Satélite
13-mar-05	ETM+ - Landsat 7
14-feb-05	ETM+ - Landsat 7
16-abr-16	OLI - Landsat 8

Anexo 2. Composición de las imágenes Landsat 7 y 8 usando las bandas 453 y 564 respectivamente para el área del valle de Sico-Paulaya, Honduras. 2016.



Anexo 3. Valores de separabilidad entre usos y coberturas de la tierra del valle de Sico-Paulaya, Honduras.

Año	Coberturas		Separabilidad
2005	Matorral	Bosque Latifoliado	1.84
	Agricultura	Matorral	1.89
	Cuerpos de agua	Pastizales	1.98
	Pastizales	Matorral	1.99
	Pastizales	Agricultura	1.99
	Cuerpos de agua	Bosque Latifoliado	1.99
	Agricultura	Bosque Latifoliado	1.99
	Cuerpos de agua	Matorral	1.99
	Cuerpos de agua	Agricultura	1.99
	Pastizales	Bosque Latifoliado	1.99
2016	Matorral	Agricultura	1.82
	Agricultura	Bosque Latifoliado	1.94
	Pastizales	Matorral	1.99
	Pastizales	Agricultura	1.99
	Matorral	Bosque Latifoliado	1.99
	Cuerpos de agua	Bosque Latifoliado	1.99
	Pastizales	Bosque Latifoliado	1.99
	Cuerpos de agua	Agricultura	1.99
	Cuerpos de agua	Matorral	1.99
Cuerpos de agua	Pastizales	1.99	

Anexo 4. Matriz de confusión para la clasificación 2005.

Clases	Píxeles					Total	Exactitud Usuario	Error Comisión
	CA	Pa	Ag	Ma	BL			
CA	213	0	0	0	0	213	100.00%	0.00%
Pa	0	1017	0	1	0	1018	99.90%	0.10%
Ag	0	1	845	4	0	850	99.41%	0.59%
Ma	0	1	0	324	8	333	97.30%	2.70%
BL	0	1	1	15	3208	3225	99.47%	0.53%
Total	213	1020	846	344	3216	5639		
Exactitud Productor	100.00%	99.71%	99.88%	94.19%	99.75%			
Error Omisión	0.00%	0.29%	0.12%	5.81%	0.25%			

Las siguientes variables hacen referencia a: CA= Cuerpos de agua; Pa= Pastizales; Ag= Agricultura; Ma= Matorrales; BL= Bosque Latifoliado.

Anexo 5. Matriz de confusión para la clasificación 2016.

Clases	Píxeles					Total	Exactitud Usuario	Error Comisión
	CA	Pa	Ag	Ma	BL			
CA	125	0	0	0	0	125	100.00%	0.00%
Pa	0	1639	1	0	0	1640	99.94%	0.06%
Ag	0	0	1032	7	3	1042	99.04%	0.96%
Ma	0	20	6	301	1	328	91.77%	8.23%
BL	0	0	1	0	500	501	99.80%	0.20%
Total	125	1659	1040	308	504	3636		
Exactitud Productor	100.00%	98.79%	99.23%	97.73%	99.21%			
Error Omisión	0.00%	1.21%	0.77%	2.27%	0.79%			

Las siguientes variables hacen referencia a: CA= Cuerpos de agua; Pa= Pastizales; Ag= Agricultura; Ma= Matorrales; BL= Bosque Latifoliado.