

Characterization spatio-temporal land use in watershed using geomatic techniques

Bettys Farias^a, Adriana Márquez^a, Demetrio Rey Lago^b y Edilberto Guevara^{*,c}

^aCentro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

^bInstituto de Matemática y Cálculo Aplicado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

^cTribunal Nacional de Resolución de Controversias Hídricas. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.

Abstract.- This research deals with the characterization of the soil and land cover applications that have occurred in the basin of the Pao River between the years 1986 and 2016. The methodology includes: 1) acquisition of two images of satellites Landsat, L5TM and L8OLI. 2) preliminary processing of images. 3) application of the technique of postclasificación for the detection of cambios. 4) assessment of accuracy temática. 5) validation of the classification of images. The study shows that classes presenting increments are: urban: - 1.37 %, agriculture: - 22.99 %, declines occur in classes: agricultural: 1.12; water: 0.55 %; vegetation: 8.1 %; denuded soil: 9.66 %; shadow: 2.28 %. As a result in this research has been generated a map of land uses providing information that leads to the conclusion that the Pao River basin has undergone changes in the use and land cover, the increase in urban use is predominantly located north i. in the upper basin of the Pao River, between the towns of Naguanagua and Valencia.

Keywords: remote sensing; detection of changes; land uses; geomatics.

Caracterización espacio-temporal del uso de tierras en cuencas mediante técnicas geomáticas

Resumen.- Esta investigación aborda la caracterización de los usos del suelo y la cobertura terrestre que han ocurrido en la cuenca del río Pao entre los años 1986 y 2016. La metodología incluye: 1) Adquisición de dos imágenes de satélites Landsat, L5TM y L8OLI. 2) Procesamiento preliminar de imágenes. 3) Aplicación de la técnica de postclasificación para la detección de cambios. 4) Evaluación de la exactitud temática. 5) Validación de la clasificación de imágenes. El estudio muestra que las clases que presentan incrementos son: urbano: -1.37 %, agropecuario: -22.99 %, los descensos ocurren en las clases: agrícola: 1.12; agua: 0.55 %; vegetación: 8.1 %; suelo deforestado: 9.66 %; sombra: 2.28 %. Como resultado en esta investigación se ha generado un mapa de usos del suelo proporcionando información que permite concluir que la cuenca del río Pao ha sufrido cambios en el uso y cobertura de la tierra, el incremento de uso urbano se ubica predominantemente al norte, es decir en la cuenca alta del río Pao, entre los municipios Naguanagua y Valencia.

Palabras claves: teledetección; detección de cambios; usos de la tierra; geomática.

Recibido: octubre 2017

Aceptado: febrero 2018

1. Introducción

En la mayor parte de los territorios, las actividades humanas (agricultura, explotación forestal, urbanización, entre otros.) son los motores principales de la dinámica del paisaje.

La heterogeneidad percibida en un momento o en un lugar dado es el resultado de la heterogeneidad espacio-temporal producida por las restricciones ambientales, los procesos ecológicos y las perturbaciones de origen humano o natural. El ser humano modifica el territorio para llevar a cabo actividades productivas o construir viviendas. Estas modificaciones producen importantes cambios en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, afectando en última instancia la propia calidad de vida de las personas [1]. En las últimas décadas el cambio de cobertura del suelo

*Autor para correspondencia:

Correo-e: eguevara99@gmail.com (Edilberto Guevara)

se ha acelerado como resultado de la presión de la población y el desarrollo económico. Es necesario comprender y controlar el impacto humano sobre el ambiente biofísico, así como participar y responder a los impactos ambientales de la humanidad [2]. El motor de estas transformaciones sobre el medio han sido las fuerzas sociales y económicas que interactúan de una manera muy compleja sobre los sistemas naturales como fuerzas impulsoras en la mayor parte del mundo [3]. En la actualidad la teledetección ha sido utilizada como valiosa herramienta y determinante a la hora de establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales, de manera especial en evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales. Un aporte destacado de la teledetección espacial al estudio medioambiental es su capacidad de seguir procesos dinámicos ya que las imágenes se captan por un sensor que observa la tierra desde una órbita estable y repetitiva [4]. La aplicación de técnicas de teledetección en conjunción con los sistemas de información geográfica (SIG) para la identificación, estudio y análisis de los cambios de las coberturas de suelo han supuesto un importante avance en cuanto al detalle y extracción de clases espectrales e informacionales en un determinado área de estudio [5].

Este estudio tiene como objetivo realizar una caracterización del uso de la tierra en la cuenca del río Pao durante los años 1986 y 2016, para determinar la zona de la cuenca que posea más densidad demográfica para la implementación de un plan de gestión de riesgos, en este estudio se utiliza información proveniente de satélites, así como las técnicas geomáticas que son un conjunto de tecnologías geoespaciales y programas informáticos especializados para el análisis de los datos y su representación espacial [6], se utilizó el proceso de clasificación supervisada, fundamentada en el previo conocimiento de las clases y de estadísticos que se relacionan a cada clase espectral de la imagen [7].

2. Área de estudio

Para este estudio se ha seleccionado la cuenca del río Pao, cubre una superficie de 3019 km², distribuida entre los estados Carabobo (34.96 %), Cojedes (9.48 %) y Guárico (0.0018 %).

Se extiende entre las latitudes norte 9°33'38.991", 10°20'29.963", longitudes oeste 68°17'35.54", 67°48'319.348". Las elevaciones de la cuenca del río Pao varían desde 1788 hasta 119 msnm.

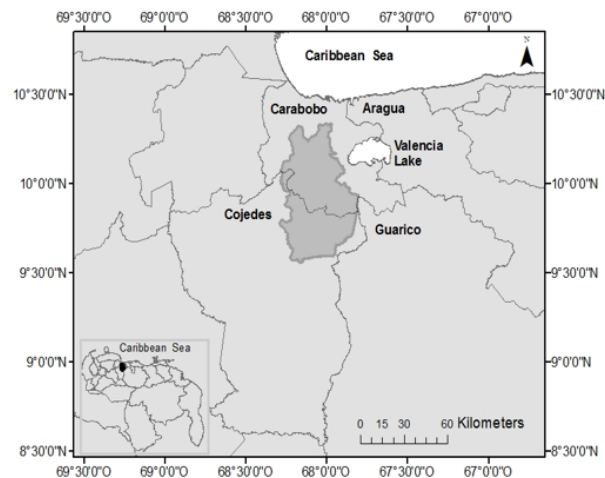


Figura 1: Ubicación geográfica de la cuenca del río Pao en la región Centro-Norte de la República de Venezuela.

Las elevaciones clasificadas con respecto al área ocupada en la cuenca del río Pao son: 119–339 msnm (777.08 km²; 25.74 %), 339.01–599 msnm (1483.57 km²; 49.14 %), 599.01–962 msnm (597.44 km², 19.79 % y 962.01 - 1 788 msnm (160.43 km², 5.31 %). La Figura 1 presenta la ubicación geográfica del área de estudio.

3. Materiales y métodos

Las fases que se desarrollan en esta investigación están dadas en los siguientes apartados

3.1. Selección, descarga de imágenes y pre-procesamiento

Las imágenes de satélites para el área de estudio correspondiente a los años 1986 y 2016 fueron

descargadas a través de la fuente de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). La imagen del año 1986 seleccionada del programa Landsat 7ETM, y la del año 2016 del programa Landsat L8OLI. Estas imágenes fueron tomadas en el periodo seco que en Venezuela corresponde a los meses de diciembre a marzo, para que estén lo más libre de coberturas de nubes.

Con respecto al pre-procesamiento esta fase incluye la selección de series de tiempo y compuestos de imágenes. Para la construcción de la serie de tiempo y los compuestos de imágenes es indispensable tener un co-registro exacto a nivel de pixel entre todas las imágenes adquiridas para cada escena. Una serie de tiempo puede definirse como una colección de observaciones ordenadas a través del tiempo [8], en el caso de las imágenes satelitales dichas observaciones corresponden a valores de reflectancia de las bandas espectrales o valores derivados. De esta forma para cada pixel se tienen los datos de todas las imágenes multi espectrales disponibles en el intervalo de tiempo de la serie. Este ajuste puede hacerse midiendo la diferencia entre los pixeles y re-proyectando las coordenadas de los extremos de la imagen desplazada en esta misma magnitud (teniendo en cuenta que las imágenes descargadas están en un sistema de proyección con unidades métricas). Resulta útil mantener el sistema de referencia geográfico UTM con el que se adquieren las imágenes durante todo el proceso hasta llegar al producto final, con el fin de evitar la pérdida del co-registro entre pixeles al aplicar los ajustes geométricos de los modelos de re-proyección cartográfica.

La imagen seleccionada para la cuenca del río Pao está bajo el Sistema de Referencia Mundial (WRS: World Reference System), Proyección UTM Zona 19.

3.2. Corrección geométrica, radiométrica y normalización de los datos

Antes de comenzar cualquier análisis sobre la información recogida desde un sensor remoto es necesario un tratamiento previo de los datos en cuestión. Esto típicamente involucra el procesamiento inicial de datos crudos de las imágenes a corregir para distorsiones geométricas,

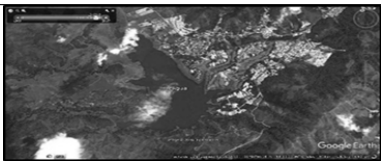
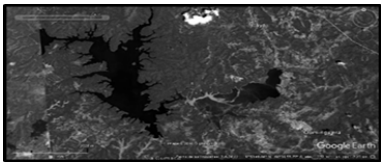
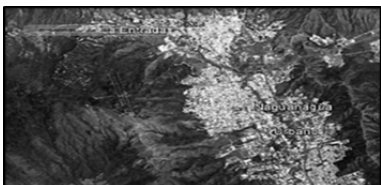



calibración radiométrica, y correcciones atmosféricas presentes en los datos [9]. Los valores de los pixeles de las imágenes se encuentran generalmente en unidades de niveles digitales y se deben transformar en unidades de energía reflejada, lo que se conoce como calibración radiométrica [10]. Adicionalmente, debido a que los datos radiométricos contienen información tanto de la superficie terrestre como de la atmósfera, se requiere aplicar una corrección que minimice los efectos atmosféricos en los valores de cada pixel, obteniendo una imagen de superficie de reflectancia, también conocido como normalización de los datos. En cuanto a la corrección radiométrica [11], señala que idealmente, el flujo de radiación recogido por un sensor remoto, en varias bandas, es una representación precisa del flujo de radiación de las características de la superficie terrestre. Las correcciones atmosféricas se realizan a causa de que no todos los componentes se ven afectados de igual forma. El espesor de la atmósfera puede variar y las nubes pueden afectar la percepción del sensor producto que no recibe la radiancia que efectivamente sale desde el suelo [4].

En este estudio la composición de las bandas espectrales de las dos imágenes se lleva a cabo utilizando como herramienta computacional ArGISv10.0, y las correcciones radiométricas, topográficas y atmosféricas absolutas aplicadas a cada imagen son ejecutadas en el entorno de la herramienta computacional de procesamiento de imágenes satelitales ENVI 4.7.

3.3. Análisis de detección de cambios

La detección de cambios consiste en identificar diferencias en el estado de una característica o fenómeno por observaciones que se hacen en diferentes épocas [12]. En esta fase se realiza el procesamiento de las imágenes que es el proceso mediante el cual los píxeles de una imagen satelital multibanda son etiquetados según la categoría a la que pertenecen. A partir de esta imagen puede generarse una cartografía temática y el inventario estadístico de la superficie involucrada en cada categoría. Existen dos métodos de clasificación: supervisado y no supervisado.

Tabla 1: Muestra de las imágenes de referencia extraídas desde Google Earth correspondientes a las coberturas / usos de la tierra clasificados en la cuenca del río Pao

ID	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	USO / COBERTURA
1		10°10'45.81"N	68°03'54"O	Agua (Embalse Guataparo)
2		9°53'49.06"N	68°06'55.77"O	Agua (Embalse Pao – La Balza)
3		10°14'17.89"N	68°0'35.26"O	Urbano
4		10°13'47.08"N	68°11'28.18"O	Agrícola
5		10°02'16.99"N	68°2'4.26"O	Agropecuario
6		10°16'0.01"N	68°12'7.29"O	Suelo Degradado

En esta investigación se utilizó el proceso de clasificación supervisada, este tipo de clasificación se fundamenta en el previo conocimiento de las clases y de estadísticos que se relacionan a cada clase espectral de la imagen [6]. Con la clasificación supervisada, un analista asigna píxeles que representan una cobertura terrestre, a una clase en la leyenda dependiendo del conocimiento que tenga el analista de la unidad

de superficie de estudio. Para [12], consta de dos (2) fases: entrenamiento y asignación. En la fase 1, el investigador, realiza un reconocimiento general de las áreas a estudiar, determinando patrones de formas y colores relacionadas a una clase, entrenando el conjunto de píxeles a cada clase encontrada, desarrolla una descripción numérica de las características espectrales de las bandas que discriminan los grupos de píxeles que pertenecen

a una misma clase mediante la generación de sus firmas espectrales [13]. En la fase 2, se asigna una lista de clases o nombres a cada patrón observado, generando mediante algoritmos una clasificación general de la imagen.

3.4. Evaluación de la exactitud temática

Una vez realizada la clasificación se recomienda comprobar que tan bien fue realizada ésta. Para ello, se utiliza como herramienta de medición una matriz de confusión la cual contempla tanto los píxeles clasificados, como los que no lo fueron. Con la matriz de confusión se generan tres tipos de exactitud: exactitud global, exactitud del usuario, exactitud del productor [14], además del índice de Kappa [15, 16].

3.5. Validación de la clasificación de imágenes

Para la validación de métodos de clasificación, se sugiere realizar el análisis de la exactitud o aciertos de las clasificaciones, comparándola con otra que el investigador declare como absoluta, proceso realizado utilizando una Matriz de Confusión y el Coeficiente Kappa [17, 18, 19].

La validación requiere información sobre la “condición real” del uso de la tierra en todo el área de estudio. La información puede provenir de dos fuentes

1. datos de referencia,
2. verificación de campos.

Los datos de referencia más comunes son las imágenes, que permita la validación contra la clasificación de la cobertura terrestre y de los usos de la tierra. Para algunas unidades de superficie, son utilizados con frecuencia los mapas mundis virtuales como Google Earth.

La Tabla 1 presenta las imágenes correspondientes a los *datos de referencia* utilizadas en esta investigación extraída de Google Earth.

Para realizar la validación en las áreas de entrenamiento seleccionadas, se ha visitado la zona de estudio identificando el tipo de material en las cubiertas de interés. La Tabla 2 presenta fotografías con las coordenadas geográficas respectivas y descripción de las características de la cobertura del sitio para validar la clasificación digital realizada.

Se hizo un recorrido de la zona, en el mes de marzo de 2017 tomando datos de las diferentes zonas de interés, en las fotos se captan imágenes de los diferentes usos y coberturas de la tierra en la cuenca del río Pao.

4. Presentación y discusión de resultados

Los resultados de la aplicación del método post-clasificación para las imágenes seleccionadas de los años 1986 y 2016 se ilustran en las Figuras 2 y 3 respectivamente. En ambas imágenes se reflejan las diferentes clasificaciones de las coberturas y usos de la tierra para la cuenca del río Pao son






1. no clasificado;
2. urbano;
3. agropecuario
4. agrícola;
5. agua;
6. vegetación;
7. suelo deforestado;
8. nubes
9. sombras.

El cubrimiento de tierra es principalmente: matriz de vegetación, agricultura y suelo degradado. Las áreas urbanas tienen su máxima representación en la zona norte de la cuenca.

La Tabla 3 presenta los resultados del método de postclasificación expresados mediante la matriz de error correspondiente a los mapas de clasificación de los usos y las coberturas de la tierra obtenidos basados en las imágenes de la reflectancia en la cuenca del río Pao para 1986. Los resultados de la matriz de error incluyen la comparación de 256 píxeles seleccionados al azar sobre la imagen de estudio –columna izquierda– con respecto a los usos observados en la imagen de referencia de Google Earth 1986 –fila superior–. Las clases son

1. No Clasificado;
2. Urbano;
3. Agropecuario;
4. Agrícola;
5. Agua;
6. Vegetación;
7. Suelo degradado;
8. Nubes;

Tabla 2: Muestra de las fotografías de verificación de campo correspondientes a las coberturas / usos de la tierra clasificados en la cuenca del río Pao

ID	IMAGEN	LATITUD	LONGITUD	USO / COBERTURA
1		10°11'13,8"N	68°03'38"O	Agua (Embalse Guataparo)
2		10°14'26,6"N	67°59'47,8"O	Urbano
3		10°12'20,2"N	68°11'20,7"O	Agropecuario
4		10°13'02,7"N	68°11'35,7"O	Agrícola
5		10°12'27,0"N	68°11'53,3"O	Vegetación

9. Sombras.

La diagonal principal resaltada en negritas muestra las celdas dentro de la imagen clasificada sin modificaciones, es decir que no sufrieron cambios. Por el contrario las clases que se encuentran fuera de la diagonal principal indican las áreas que han sufrido cambios durante dicho periodo de tiempo.

Los pixeles en el mapa clasificado, la exactitud de usuario y el índice Kappa son

- 1. Urbano: 8, 87.5 %, 0.8715;
- 2. Agropecuario: 10, 90 %, 0.8694;

- 3. Agrícola: 4,100 %, 1;
- 4. Agua: 3, 100 %, 1;
- 5. Vegetación: 103, 98.5 %, 1;
- 6. Suelo degradado: 56, 96.43 %, 0.9543;
- 7. Nubes: 5, 80 %, 0.7968;
- 8. Sombras: 1, 100 %, 1.

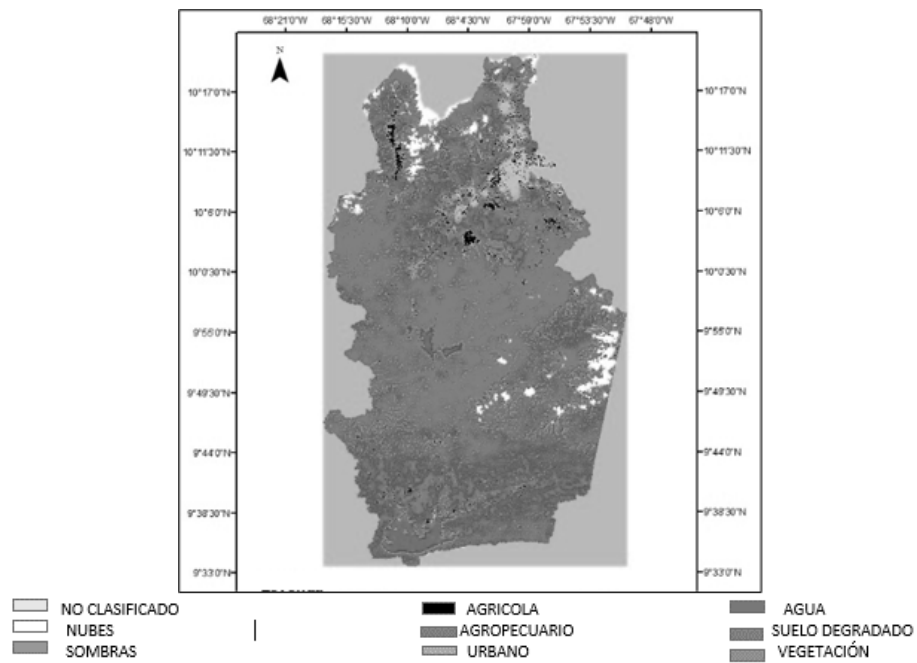


Figura 2: Resultados del método de la comparación postclasificación expresados mediante los mapas de los usos y coberturas terrestres de la cuenca del río Pao aplicado sobre imágenes de la reflectancia del satélite Landsat desde 1986

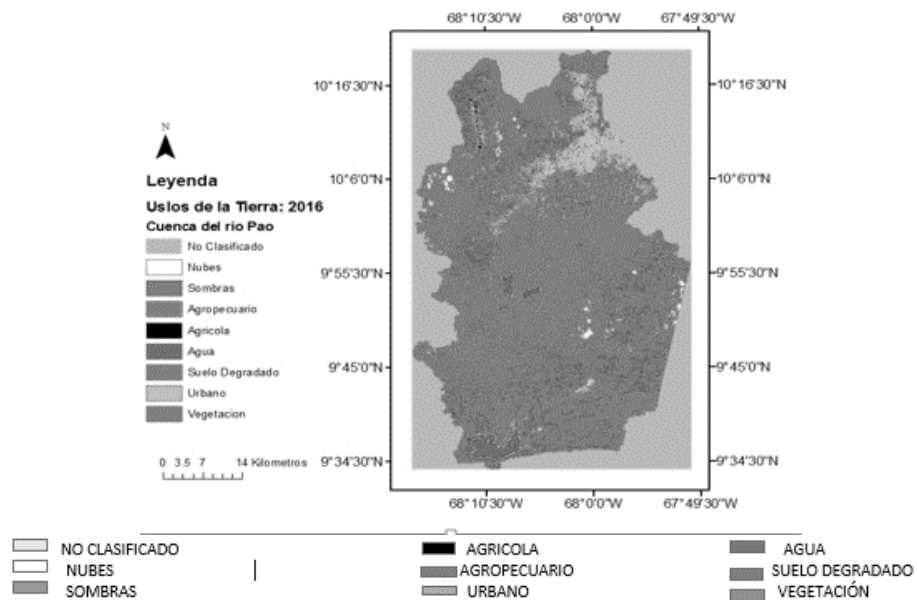


Figura 3: Resultados del método de la comparación postclasificación expresados mediante los mapas de los usos y coberturas terrestres de la cuenca del río Pao aplicado sobre imágenes de la reflectancia del satélite Landsat desde 2016

Los pixeles en la imagen de referencia y la exactitud de productor son

1. Urbano: 7, 100 %;
2. Agropecuario: 9, 100 %;
3. Agrícola: 5,80 %;

Tabla 3: Resultados del método de la comparación postclasificación expresados mediante la matriz de error correspondiente al mapa de clasificación de los usos y las coberturas de la tierra obtenidos basados en las imágenes de la reflectancia en la cuenca del río Pao para el año 1986

Datos de referencia, 1986														
	Uso de la tierra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total en filas	Exactitud de usuario (%)	Kappa Total	
Mapa clasificado	1	66									66	100	1	
	2		7					1			8	87.5	0.8715	
	3			9				1			10	90	0.8694	
	4				4						4	100	1	
	5					3					3	100	1	
	6						103				103	98.5	1	
	7						2	54			56	96.43	0.8543	
	8				1					4	5	80	0.7869	
	9										1	100	1	
Total en Columna		66	7	9	5	3	105	56	4	1	256			
Exactitud del productor (%)		100	100	100	80	100	98.1	96.43	100	100		98.05		
Índice Kappa total														0.9728

Tabla 4: Resultados del método de la comparación postclasificación expresados mediante la matriz de error correspondiente al mapa de clasificación de los usos y las coberturas de la tierra obtenidos basados en las imágenes de la reflectancia en la cuenca del río Pao para 2016

Datos de referencia, 2016														
	Uso de la tierra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total en filas	Exactitud de usuario (%)	Kappa Total	
Mapa clasificado	1	164									164	100	1	
	2		16	1				1			18	88.89	0.8853	
	3			99			1				100	99	0.8875	
	4				1						1	100	1	
	5					4					4	100	1	
	6						165				165	100	1	
	7			1					56		57	98.25	0.9803	
	8									2	2	100	1	
	9										1	100	1	
Total en Columna		164	16	101	1	4	165	57	2	1	512			
Exactitud del productor (%)		100	100	98.2	100	100	99.4	98.25	100	100		99.22		
Índice Kappa total														0.9895

- 4. Agua: 3, 100 %,1;
- 5. Vegetación: 105, 98.1 %;
- 6. Suelo degradado: 56, 96.43 %;
- 7. Nubes: 4, 100 %, 1;
- 8. Sombras: 1, 100 %.

El índice de exactitud global es a 98.04 % y el índice de Kappa Total es 0.9728.

La Tabla 4 presenta los resultados del método de

postclasificación expresados mediante la matriz de error correspondiente a los mapas de clasificación de los usos y las coberturas de la tierra obtenidos basados en las imágenes de la reflectancia en la cuenca del río Pao para 2016. Los resultados de la matriz de error incluyen la comparación de 512 pixeles seleccionados al azar sobre la imagen de estudio –columna izquierda– con respecto a los

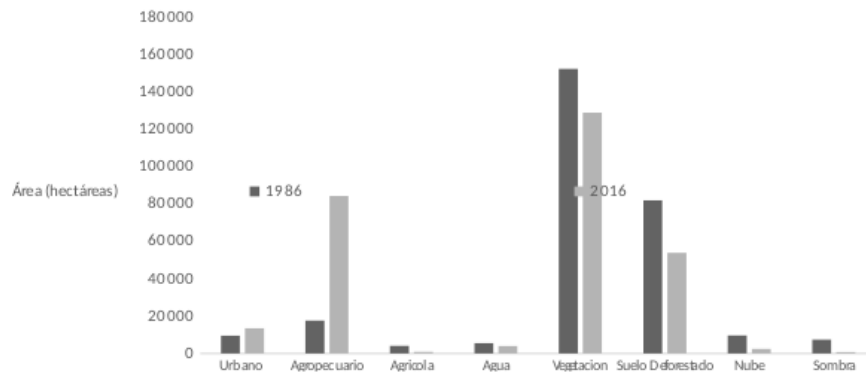


Figura 4: Resultados del método de la comparación postclasificación expresados mediante el área de las clasificaciones de uso y cobertura de la tierra tanto en Ha

usos observados en la imagen de referencia de Google Earth 1986 –fila superior–. Las clases son

1. No Clasificado;
2. Urbano;
3. Agropecuario;
4. Agrícola;
5. Agua;
6. Vegetación;
7. Suelo degradado;
8. Nubes;
9. Sombras.

La diagonal principal muestra las celdas dentro de la imagen clasificada sin modificaciones, es decir que no sufrieron cambios. Por el contrario las clases que se encuentran fuera de la diagonal principal indican las áreas que han sufrido cambios durante dicho periodo.

Los pixeles en el mapa clasificado, la exactitud de usuario y el índice Kappa son

1. Urbano: 18, 88.9 %, 0.8853;
2. Agropecuario: 100, 99 %, 0.9875;
3. Agrícola: 1, 100 %, 1;
4. Agua: 4, 100 %, 1;
5. Vegetación: 165, 100 %, 1;
6. Suelo degradado: 57, 98.25 %, 0.9803;
7. Nubes: 2, 100 %, 1;
8. Sombras: 1, 100 %, 1.

Los pixeles en la imagen de referencia y la exactitud de productor son

1. Urbano: 16, 100 %;

2. Agropecuario: 101, 98.02 %;
3. Agrícola: 1, 100 %;
4. Agua: 4, 100 %, 1;
5. Vegetación: 165, 99.4 %, e) Suelo degradado: 57, 98.25 %, g) Nubes: 2, 100 %;
6. Sombras: 1, 100 %.

El índice de exactitud global es igual a 99.22 % y el índice de Kappa Total es 0.9895.

La Figura 4 presenta las áreas de cada clasificación realizada a las diferentes coberturas usos de la tierra en la cuenca expresadas en Ha, estos resultados permiten determinar cuáles son los usos o coberturas que han sufrido cambios durante el lapso de tiempo que cubre el estudio.

La Figura 5 presenta la relación porcentual con respecto al área total de la cuenca del río Pao.

La clase urbana y la clase agropecuaria han mostrado incrementos. Las zonas de usos vegetación y suelo deforestado presentaron disminución a lo largo del periodo de estudio.

La Tabla 5 muestra la diferencia bi-temporal de las áreas ocupadas según la clase expresada en proporción porcentual correspondiente a la cuenca del río Pao de los años 1986 y 2016. Se observan las clases que presentan los incrementos y aquellas dónde ocurren los descensos.

4.1. Validación

Para la validación de estos resultados se realizan visitas de campo en la parte alta de la cuenca del río Pao, con el fin de comparar los resultados obtenidos de la clasificación con respecto a uso o cobertura real del terreno.

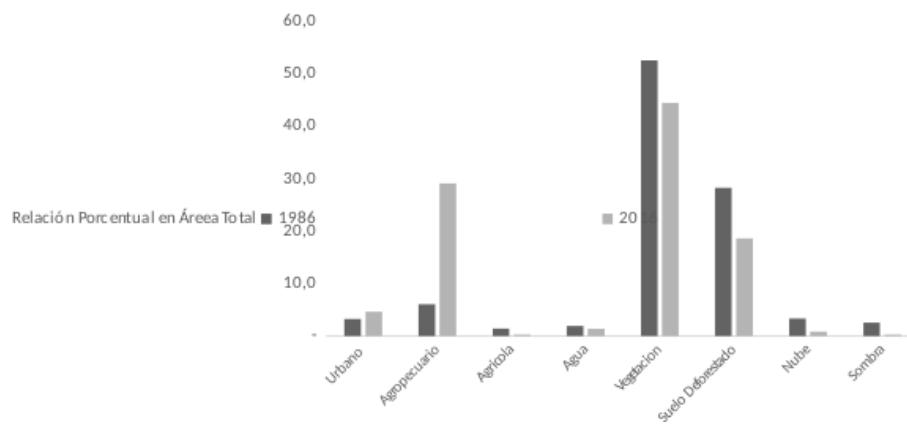


Figura 5: Resultados del método de la comparación postclasificación expresados mediante el área de las clasificaciones de uso y cobertura de la tierra como en relación porcentual con respecto al área de la cuenca del río Pao

Tabla 5: Resultados del método de la comparación postclasificación expresados mediante la diferencia en proporción porcentual bi-temporal de las áreas de cobertura y usos terrestres en la cuenca del río Pao desde 1986-2016.

Imágenes bitemporales	Urbano (1)	Agropecuario (2)	Agrícola (3)	Agua (4)	Vegetación (5)	Suelo deforestado (6)	Nube (7)	Sombra (8)
1986 – 2016	-1.37	-22.99	1.12	0.55	8.10	9.66	2.49	2.28

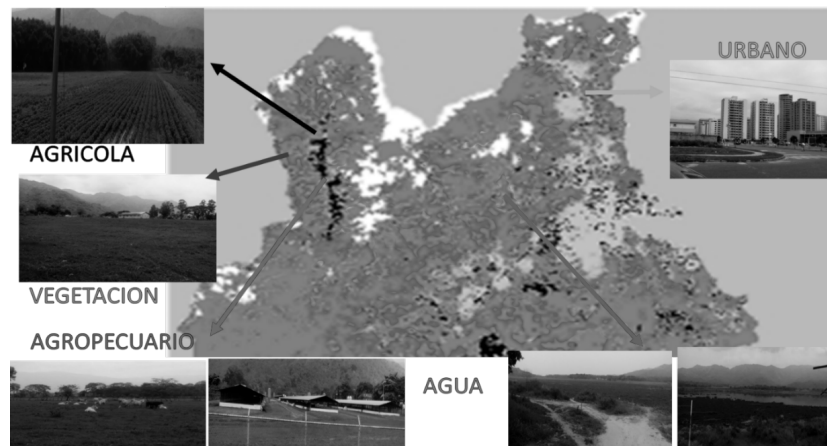


Figura 6: Resultado de las visitas de campo para la verificación de las clasificaciones de usos y coberturas de la cuenca del río Pao

La Figura 6 muestra diferentes fotografías que validan la clasificación obtenida con el método de postclasificación empleado en este estudio, reporta como usos de la tierra los siguientes

1. urbano;
2. agrícola;
3. agropecuario;
4. agua;
5. suelo degradado;
6. vegetación;
7. nubes;
8. sombra y;
9. no clasificado.

Las fotografías corresponden a imágenes del embalse Guataparo como muestra de uso de

cobertura *agua*, fotografías de la zona urbana del municipio Naguanagua, zonas agrícolas, agropecuarias del municipio Bejuma.

Al comparar los resultados obtenidos para los índices de validación, kappa y exactitud del productor con datos bibliográficos, los valores promedios obtenidos durante todo el periodo de estudio para el índice de exactitud del productor es 98.48 % y el resultado del índice kappa es de 0.9845. Para el resultado obtenido del índice kappa el resultado de la clasificación realizada está en la categoría de casi perfecta comparándola con el nivel de concordancia de [18]. Para otros autores Kappa representa el valor de K o fuerza de concordancia, el valor obtenido cae en el rango de 0.81 a 1 que está catalogado como *muy buena*.

De los resultados arrojados de la diferencia de las áreas ocupadas según cada clasificación de uso y cobertura de la cuenca se puede observar que hay dos clases que muestran un aumento entre los años 1986 y 2016. La clase urbana con un incremento de 1.37 % y la clase agropecuaria con 23 %. El resto de las zonas clasificadas en esta cuenca presentaron disminución a lo largo del periodo de estudio.

En la Figura 3 señalada con un círculo se puede apreciar la disminución del área correspondiente a los tres embalses de la cuenca. Se puede observar que la clase urbana está alojada en mayor proporción en la zona norte de la misma, en la cuenca alta del río Pao, específicamente en el municipio Naguanagua.

En el folleto del Instituto Nacional de Estadísticas 2012 se establece que la población del municipio Naguanagua para el año 1986 estaba estimada en 94.408 habitantes, el censo del año 1990 reportó 97.572 habitantes, en el censo del año 2001 se reportaron 132.368 habitantes, en el último censo del año 2011 la población era de 157.437 habitantes lo que reportó un incremento en la densidad poblacional y la ubica en 837,43 Hab./Km², en comparación con los censos de los años anteriores.

En fuentes más recientes como la generada por el Instituto Nacional de Estadística de Venezuela. Proyección de la población al 30 de junio con base al censo 2011, según entidad federal y municipios, 2000–2050 no publicada; se establece que para el

año 2016 la población del Municipio Naguanagua es de 183.804 habitantes con una proyección de 225.123 habitantes para el año 2050.

5. Conclusión

La técnica de detección de cambios postclasificación se adapta al logro del objetivo de este estudio que aborda la caracterización espacio-temporal de los procesos dinámicos de cambios en el uso del suelo y la cobertura terrestre de la cuenca del río Pao entre 1986 y 2016. La evaluación de exactitud o aciertos de las clasificaciones realizadas mediante las matrices de confusión y el índice Kappa permitió calificar los resultados como muy buenos, los mismos a su vez fueron verificados en campo.

Los resultados de esta investigación permiten concluir que el Municipio Naguanagua es el sitio adecuado para aplicar un plan de gestión de riesgos de desastres por poseer la mayor densidad demográfica.

Reconocimiento

El trabajo se ha llevado a cabo dentro de las líneas de investigación del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAMUC), por lo cual los autores expresan su especial reconocimiento por el apoyo recibido.

6. Referencias

- [1] J.M. Paruelo, J.P. Guerschman, G. Piñeiro, E.G. Jobbágy, S.R. Verón, G. Y. Baldi, and S Baeza. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*, X(2):47–61, 2006.
- [2] Ronald Rindfuss and Paul Stern. *People and Pixels: Linking Remote Sensing and Social Science*, chapter The Need and the Challenges, pages 1–27. The National Academies Press, 1998.
- [3] R. T. T. Forman and S. K Collinge. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. *Landscape and Urban Planning*, 37(1–2):129–135, 1997.
- [4] Emilio S. Chuvieco. *Teledetección Ambiental La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel Ciencia, Barcelona, España, 2002.

- [5] J. Rejas and A. Cárcamo. Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraiso, en los años 1987–2011. *Revista Ciencias Espaciales*, 8(2):259–271, 2015.
- [6] D. Ponver, F. Samuel, and I. Reyes. Las técnicas geomáticas aplicadas en la agricultura al catastro agrícola en Cuba. *Revista Ciencias Espaciales*, 8(2):12–28, 2015.
- [7] E.G. Rojas and I.O. Ortiz. Identificación del cilindro nudoso en imágenes tc de trozas podadas de pinus radiata utilizando el clasificador de máxima verosimilitud. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, 11(2):117–127, 2009.
- [8] C. Chatfield. *The Analysis of Time Series: An Introduction*. Chapman & Hall/CRC Press, Florida, E.E.U.U., 2003.
- [9] T.M. Lillesand, R.W. Kiefer, and J.W. Chipman. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ., 2008.
- [10] G. Asner, E. Tasar, S. Sousan, and D. Knapp. Clasite forest monitoring technology. Use Guide Version 3.0, institution, Standford: Carnegie Institution for Science, 2013.
- [11] J.R. Jensen. *Remote Sensing of the Environment an Earth Resource Perspective*. Pearson New Delhi, 2014.
- [12] B. Sánchez and A. Reyes. Estudio de la expansión urbana de las principales ciudades de venezuela utilizando técnicas de geomática. In *Memorias de las VI Jornadas Nacionales de Geomática y 1er Congreso Nacional de Geomática*, Caracas, Venezuela, Agosto 2016.
- [13] R. Lang, G. Shao, B.C. Pijanowski, and R.L. Farnsworth. Optimizing unsupervised classifications of remotely sensed imagery with a data – assisted labeling approach. *Computers and Geosciences*, 34(12):1877–1885, 2008.
- [14] G.M. Arango, B.J.W. Branch, and F.V. Botero. Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: — landsat - etm+ii. *Revista Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*, 58(1):2611–2634, 2005.
- [15] M. Li, Y. Wu, and Q Zhang. SAR image segmentation based on mixture context and wavelet hidden – class – label Markov random field. *Computers and Mathematics with Applications*, 57(6):961–969, 2009.
- [16] Instituto Geográfico Agustín Codazzi. United Nations. Office for Outer Space Affairs. *Manual Erdas Imagine*, 2011.
- [17] J.C. Santos. Extracao de atributos de forma e selecao de atributos usando algoritmos genéticos. Tesis de maestría, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil, 2007.
- [18] J. Cerda and L. Villarroel. Evaluación de la concordancia inter–observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1):54–58, 2008.
- [19] J. Borràs, J. Delegido, A. Pezzola, M. Pereira, G. Morassi, and G. Camps-Valls. Land use classification from sentinel–2 imagery. *Revista de Teledetección*, 48:55–66, 2017.