



ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA DEL SUELO EN EL DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE EN LOS AÑOS 2002 - 2018 Y ESTIMACIÓN PARA EL AÑO 2030

**ANALYSIS OF LAND COVERAGE CHANGES IN THE
DEPARTMENT OF GUAVIARE IN THE YEARS 2002 - 2018
AND ESTIMATE FOR THE YEAR 2030**

Erika Johanna Ortiz Rojas
3101510
Ingeniera topográfica

Director:
Ing. Freddy León Reyes M.Ed

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
NOVIEMBRE DE 2020
BOGOTÁ-COLOMBIA**

ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA DEL SUELO EN EL DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE EN LOS AÑOS 2002 - 2018 Y ESTIMACIÓN PARA EL AÑO 2030

ANALYSIS OF LAND COVERAGE CHANGES IN THE DEPARTMENT OF GUAVIARE IN THE YEARS 2002 - 2018 AND ESTIMATE FOR THE YEAR 2030

Erika Johanna Ortiz Rojas
Ingeniera Topográfica
Especialización en Geomática.
Universidad Militar Nueva Granada.
Bogotá, Colombia
u3101510@unimilitar.edu.co

RESUMEN

El departamento del Guaviare es reconocido por su amplia riqueza natural, sin embargo, esta riqueza se ha venido deteriorando a lo largo de los años debido al incremento de deforestación, sequías, entre otros factores causados por actividades antrópicas. En el presente trabajo de investigación fue posible identificar las coberturas terrestres que en un periodo de 16 años ocuparon las coberturas características de esta zona, haciendo uso de la matriz de transición propuesta por Pontius y se utilizó el software Idrisi Selva desarrollado por ClarkLabs para obtener un mapa predictivo de coberturas terrestres para el año 2030.

Palabras claves: Guaviare, cambios de cobertura terrestre, Matriz de transición, predicción cambio de cobertura, Idrisi Selva.

ABSTRACT

The department of Guaviare is recognized for its wide natural wealth; however, this wealth has been deteriorating over the years due to increased deforestation, droughts, among other factors caused by anthropic activities. In the present research work, it was possible to identify the land covers that in a period of 16 years occupied the characteristic covers of this area, making use of the transition matrix proposed by Pontius and the Idrisi Selva software developed by ClarkLabs was used to obtain a predictive land cover map for the year 2030.

Keywords: Guaviare, land cover changes, transition matrix, cover change prediction, Idrisi Selva.

INTRODUCCIÓN

El departamento del Guaviare al estar ubicado dentro de la región de la amazonia colombiana es caracterizado por su enorme riqueza natural pero debido a diversos factores antropogénicos, hoy en día, según cifras recientes del IDEAM, se encuentra entre los 3 departamentos con más deforestación en Colombia. Factores como la ganadería extensiva y la expansión urbana presentada en los cuatro municipios que lo componen hacen evidente el cambio en la cobertura vegetal y el uso del suelo en la región.

El Instituto SINCHI (2018), asegura que en el Guaviare el 11,8 % del territorio que anteriormente estaba cubierto de bosques y vegetación silvestre ha sido remplazado por pastos, rastrojos, arboladas dispersas, cultivos y asentamientos humanos, convirtiéndose en uno de los principales focos de deforestación en la región amazónica, registrando pérdidas de bosques en mayor cantidad y de forma más acelerada (Meza & Armenteras, 2018).

El uso del suelo se relaciona con las actividades humanas o las funciones económicas del uso de la Tierra, por otro lado, la cobertura terrestre describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes junto con otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua (IDEAM, 2012). Los cambios en el uso y la cobertura de la tierra son tan generalizados que, pueden afectar significativamente aspectos clave del funcionamiento del sistema terrestre (Lambin, 2001). Muestra de ello, son las sequías a las que generalmente se ve enfrentada la zona de estudio causando incendios forestales y a su vez, pérdida en la flora y fauna de la región.

Así las cosas, los análisis de cambio de coberturas y uso del suelo son necesarios para obtener la evaluación de los impactos ambientales producidos por fenómenos climáticos y actividades económicas, lo anterior, permitirá aproximarse a futuros cambios en escenarios tanto ambientales como socioeconómicos, dicha aproximación servirá de apoyo para la planificación territorial (Ramos, Palomeque, Nuñez, & Sanchez, 2019).

Uno de los métodos empleados para realizar este tipo de análisis es el uso de matrices de transición aplicados en sistemas de información geográfica. Pontius 2004, plantea una metodología basada en el análisis de dos mapas cada uno de diferente época, a partir de los cuales se generarán matrices de tabulación cruzada (matriz de transición) con el fin de detectar los cambios significativos entre las diferentes categorías de cobertura del suelo.

La presente investigación busca determinar los cambios de cobertura del suelo que ha tenido el departamento del Guaviare entre los años 2002 y 2018 aplicando la metodología de Matrices de tabulación cruzada a los mapas de cobertura del suelo obtenidos por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) en los años en cuestión, y posteriormente realizar un mapa con la predicción de cambios de

cobertura en el Guaviare para el año 2030 haciendo uso del modelo denominado por Eastman 2006, Land Change Modeler (LCM) en el software IDRISI Selva (Clark Labs, 1987-2012).

1. MATERIALES Y MÉTODOS.

1.1. Zona de estudio.

El Departamento del Guaviare está situado en la parte oriental del país, en la región de la Amazonía, localizado entre los $00^{\circ}39'21''$ y $02^{\circ}55'33''$ de latitud norte y entre los $69^{\circ}59'45''$ y $73^{\circ}39'48''$ de longitud oeste. Limita por el Norte con los departamentos de Meta y Vichada, por el Este con Guainía y Vaupés, por el Sur con Caquetá y Vaupés, y por el Oeste con Meta y Caquetá (Camara de Comercio San José, 2010). Su extensión es de 55.549 km², se encuentra dividido políticamente en 4 municipios, su capital San José del Guaviare y los municipios El Retorno, Calamar y Miraflores.

El clima del departamento del Guaviare es de tipo tropical estacional con temperatura promedio anual de 26° C; su principal actividad económica se encuentra dentro del sector agropecuario; se encuentra dividido por las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas, su población según el censo del (Dane, 2018) es de 73.081 habitantes de los cuales el 4% pertenecen a comunidades indígenas.

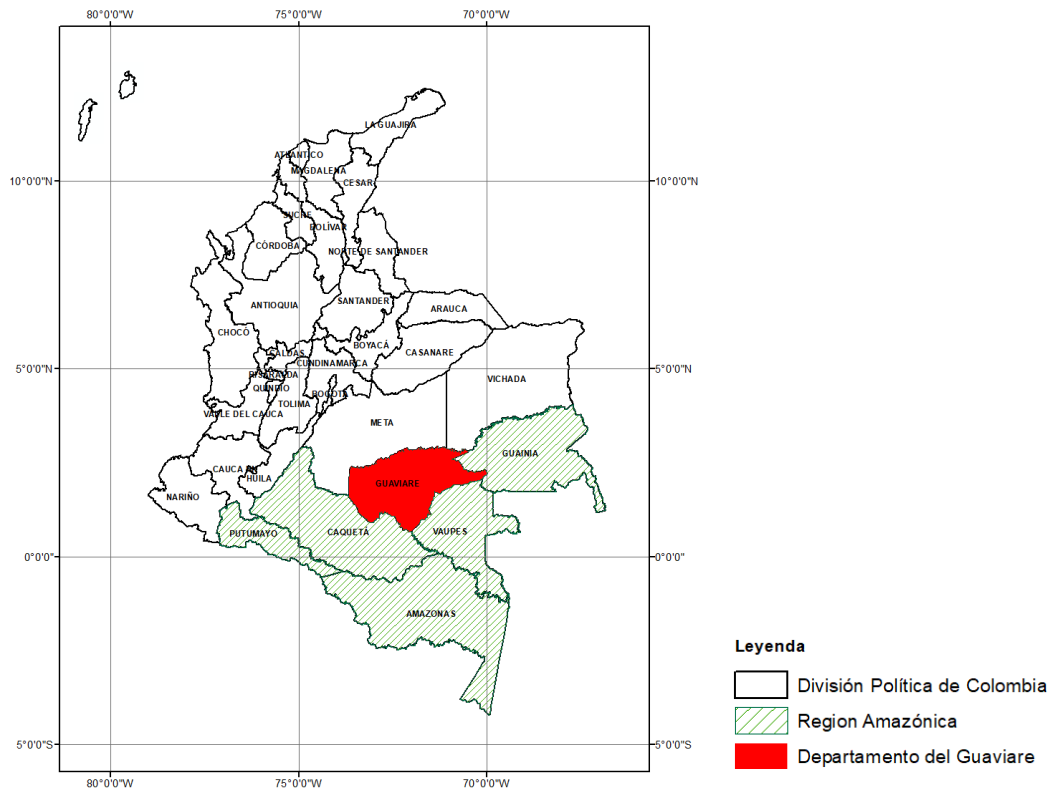


Ilustración 1. Ubicación geográfica del Departamento del Guaviare.

1.2. Obtención de información.

Teniendo presente que el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) genera mapas de cobertura de la Tierra de la amazonia colombiana cada 2 años “con el fin de entender la dinámica del territorio a partir de la caracterización de las coberturas naturales y antrópicas” a partir de la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000, se descargaron del geoportal SIATAC los shapefiles de coberturas de la Tierra de los años 2002 y 2018.

A través del metadato de cada una de las capas descargadas se tiene que para el año 2002 el SINCHI realizó la clasificación de coberturas a partir de la interpretación visual de las imágenes del satélite Landsat 5 (TM) y 7 (ETM+), utilizando la combinación de las bandas 4, 5, 3, (NIR, SWIR1, R). Por otro lado, en el año 2018 se obtuvo la clasificación de coberturas de la tierra mediante la interpretación de imágenes del satélite Landsat 8 (OLI) utilizando la misma combinación de bandas que en el 2002, siendo esta la apropiada para la identificación de coberturas vegetales.

Luego de tener las capas de coberturas de la tierra de la amazonia colombiana se procede a realizar un clip o recorte en software ArcMap para obtener únicamente la información del departamento de interés teniendo como resultado una total de 30 coberturas para el año 2002 y 37 coberturas para el año 2018, para manejar la información de forma más compacta se agrupan algunas coberturas en los niveles 1, 2 y 3 teniendo en cuenta lo estipulado en la leyenda nacional de coberturas de la tierra adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), con el fin de trabajar únicamente con 11 de estas en todos los procesos que se llevaran a cabo. El resultado de la compilación de coberturas se visualiza en las ilustraciones 2 y 3.

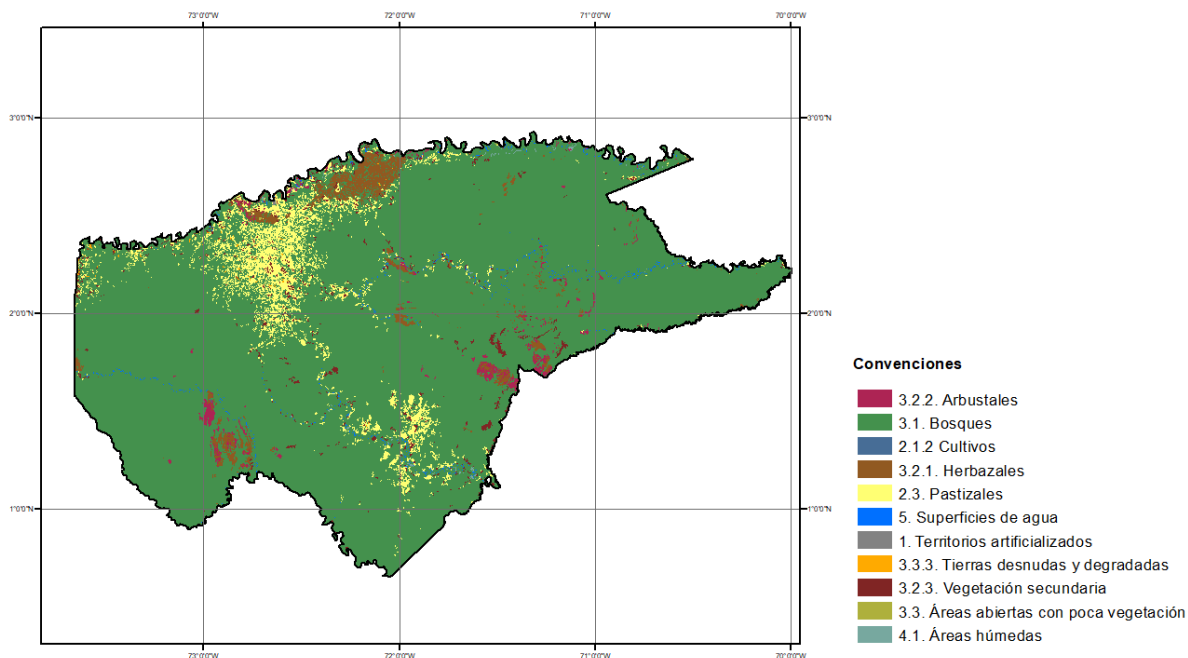


Ilustración 2. Mapa de coberturas departamento del Guaviare año 2002

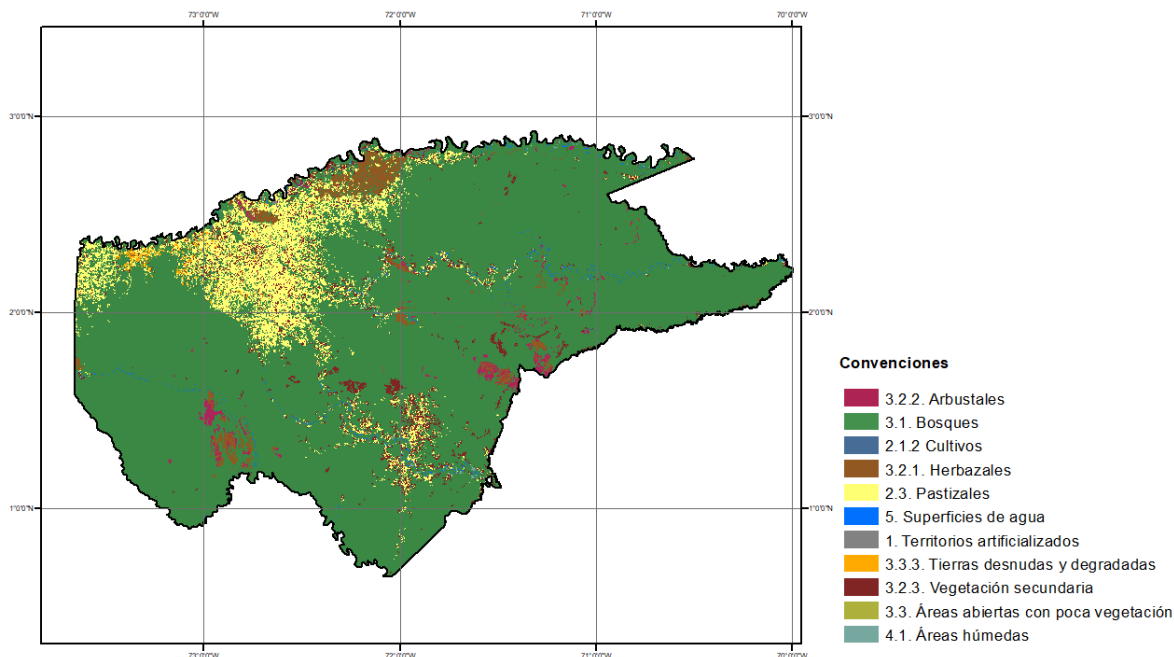


Ilustración 3. Mapa de coberturas departamental del Guaviare año 2018.

1.3. Matriz de tabulación cruzada

La matriz de tabulación cruzada es un punto de partida fundamental en el análisis del cambio de la tierra (Pontius, Shusas, & McEachern, 2004), este método consiste en realizar el análisis de dos mapas cada uno de un año diferente organizándolos en una matriz de modo que las categorías del uso del suelo del año A se ubican en filas y las categorías del uso del suelo del año B se ubican en columnas. De este modo, se podrá ver el cambio de una categoría a otra y la persistencia del uso del suelo será mostrada en diagonal (Gallardo & Martinez, 2012), tal como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Matriz de Tabulación Cruzada

	Tiempo B				Total T. A	Pérdida
	Cobertura 1	Cobertura 2	Cobertura 3	Cobertura 4		
Tiempo A						
Cobertura 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_1	$P_1 - P_{11}$
Cobertura 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_2	$P_2 - P_{22}$
Cobertura 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_3	$P_3 - P_{33}$
Cobertura 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_4	$P_4 - P_{44}$
Total T. B	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganancia	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Fuente: Adaptado de Pontius et al, 2004

Para el desarrollo de la presente investigación se asignará un valor numérico a cada cobertura que será la base principal para obtener el área en kilómetros cuadrados de las zonas en las cuales se presentó el cambio de cobertura terrestre, dichas áreas se

obtendrán con herramientas de geoprocésamiento en el software ArcMap 10.7 y se ingresarán a la matriz de transición. Los valores designados para cada cobertura se observan en la tabla 2 y la matriz propuesta en la tabla 3.

Tabla 2. Valores por ingresar en la matriz de transición para cada cobertura terrestre

Cobertura de la tierra	Año 2002	Año 2018
1. Territorios artificializados	10	1
2.1.2 Otros cultivos transitorios	20	2
2.3 Pastizales	30	3
3.1. Bosques	40	4
3.2.1. Herbazal	50	5
3.2.2. Arbustal	60	6
3.2.3 Vegetación secundaria o en transición	70	7
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	80	8
3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	90	9
4.1. Áreas húmedas continentales	100	10
5. Superficies de agua	300	200

Tabla 3 Matriz de transición propuesta para analizar los cambios de cobertura entre 2002 y 2018

Código Cobertura	Valor	Año 2018											
		1	2.1.2	2.3	3.1	3.2.1	3.2.2	3.2.3	3.3	3.3.3	4.1	5	
Año 2002	1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	210
	2.1.2	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	220
	2.3	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	230
	3.1	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	240
	3.2.1	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	250
	3.2.2	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	260
	3.2.3	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	270
	3.3	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	280
	3.3.3	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	290
	4.1	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	300
	5	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	500

1.4. Estimación de cambio de cobertura del suelo.

Para realizar la estimación de cambio de cobertura del suelo será necesario emplear el módulo Land Change Modeler (LCM) del software IDRISI Selva, este módulo se encuentra basado en el modelo denominado Cadenas de Markov que emplea algoritmos de regresión y transición espacial (Eastman, 2012).

Los algoritmos de regresión establecen las relaciones entre las coberturas del suelo y las probabilidades de cambio de esta cobertura, esta relación se modela como una función de decaimiento, donde la influencia decrece con el incremento de la distancia (Méndez-Morales, 2012). En resumen, este algoritmo calcula la probabilidad de que una cobertura determinada presente un cambio en un tiempo 2, en función de su estado en el tiempo 1 (Pérez, González, & Valdez, 2011). El proceso se define con la ecuación:

$$V_{t2} = M \times V_{t1}$$

Dónde:

V_{t2} = mapa de coberturas tiempo 2

V_{t1} = mapa de coberturas tiempo 1

M = matriz de probabilidad de transición para el intervalo de tiempo (Δt)

(Δt): $\Delta t = t_2 - t_1$

La matriz de probabilidad de transición describe la probabilidad de que un píxel dado permanezca en la misma cobertura o cambie a otra. Indica la probabilidad de que cada tipo de cobertura pertenezca a la clase designada en el futuro próximo, esto condicionado a su estado actual (Pérez, et al., 2011).

2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

2.1. Matriz de transición

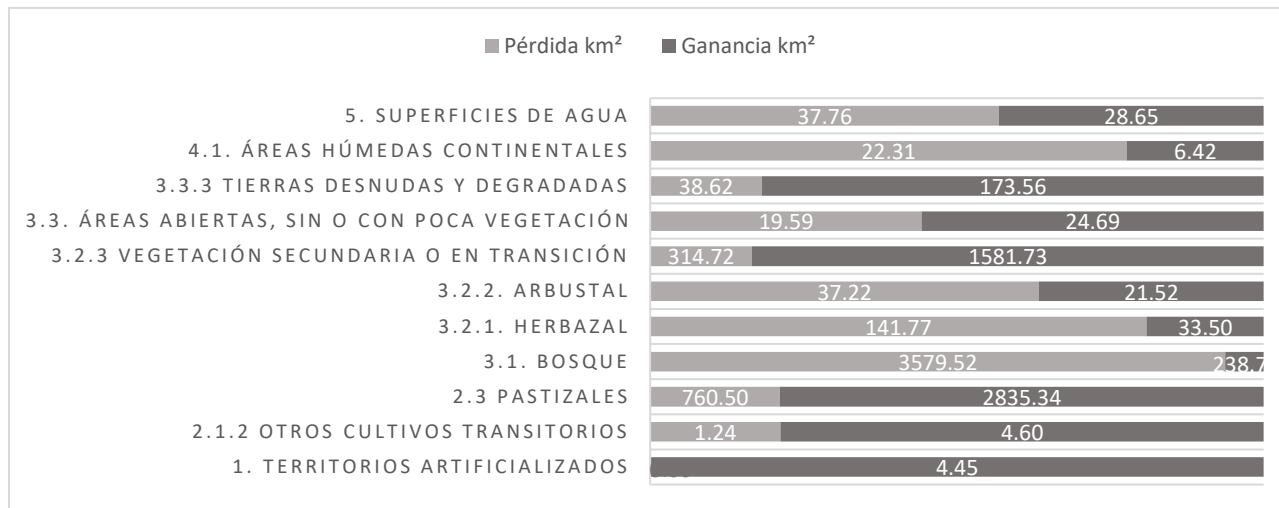
A partir de los valores numéricos asignados a cada cobertura terrestre se procedió a realizar un cruce con el fin de determinar nuevos valores para las áreas donde se produjo cambios de cobertura en un periodo de 16 años (2002 – 2018). Tal como lo plantea la metodología de Pontius, fue posible obtener las áreas de pérdida y de ganancia neta de cada una de las coberturas en la temporalidad de interés. Cabe resaltar que el cruce o intersección fue realizado en el software ArcMap 10.7 con el fin de obtener valores de área en kilómetros cuadrados. Se puede observar la matriz de transición en la tabla 4.

Tabla 4. Matriz de transición de coberturas terrestres departamento del Guaviare periodo 2002 - 2018

Código Cobertura	Valor	Año 2018											Total 2002	Pérdida		
		1	2.1.2	2.3	3.1	3.2.1	3.2.2	3.2.3	3.3	3.3.3	4.1	5				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	200				
A ñ o 2 0 0 2	1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	210	7.29	0.002	
			7.292	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2.1.2	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	220	1.67	1.24	
			0.001	0.432	0.000	0.000	0.785	0.453	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2.3	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	230	2994.59	760.50	
			4.017	1.122	2234.081	106.907	1.246	0.364	609.07	0.129	34.941	0.997	1.714	2994.59	760.50	
	3.1	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	240	49406.41	3579.52	
			0.233	2.428	2488.799	45826.89	10.419	10.492	913.017	1.645	135.832	2.352	14.297	49406.41	3579.52	
	3.2.1	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	250	1310.50	141.77	
			0.067	0.367	101.149	14.039	1168.738	0.194	24.793	0.000	0.358	0.787	0.011	1310.50	141.77	
	3.2.2	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	260	553.37	37.22	
			0.000	0.505	12.172	2.555	0.899	516.159	17.319	0.243	0.000	1.034	2.490	553.37	37.22	
	3.2.3	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	270	756.40	314.72	
		0.017	0.098	195.070	111.499	1.304	0.000	441.671	0.431	2.427	0.048	3.830	756.40	314.72		
3.3	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	280	34.14	19.59		
		0.000	0.000	0.310	0.608	4.274	1.529	7.105	14.549	0.000	0.000	5.761	34.14	19.59		
3.3.3	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	290	40.31	38.62		
		0.109	0.000	33.805	0.302	2.818	0.000	1.582	0.000	1.689	0.000	0.000	40.31	38.62		
4.1	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	300	66.36	22.31		
		0.000	0.084	0.666	0.529	11.752	7.221	1.516	0.000	0.000	44.042	0.547	66.36	22.31		
5	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	500	378.12	37.76		
		0.000	0.000	3.372	2.355	0.001	1.263	7.327	22.238	0.003	1.200	340.356	378.12	37.76		
Total 2018		11.737	5.036	5069.425	46065.689	1202.236	537.675	2023.399	39.234	175.251	50.460	369.006				
Ganancia		4.445	4.604	2835.343	238.794	33.499	21.516	1581.728	24.686	173.562	6.418	28.650				

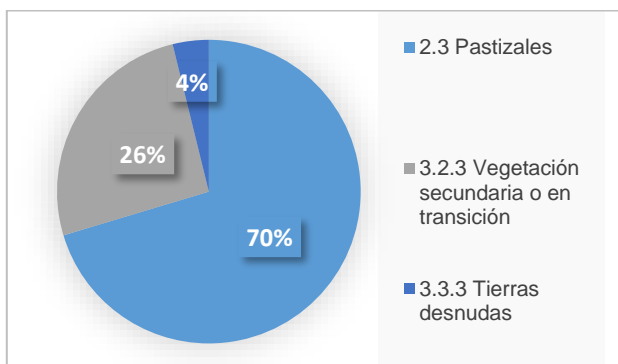
En la matriz de transición las pérdidas y las ganancias hacen referencia a los cambios dentro de la cobertura y no a las pérdidas y ganancias totales.

En la gráfica 1, se establece la relación entre pérdidas y ganancias entendiéndose que, por ejemplo, en el caso de los bosques el valor de ganancia neta (238 km²) hace referencia a la ocupación de bosque dentro de una o varias coberturas en las que en el 2002 no existía bosque y no a la ganancia total de bosque entre 2002 y 2018.

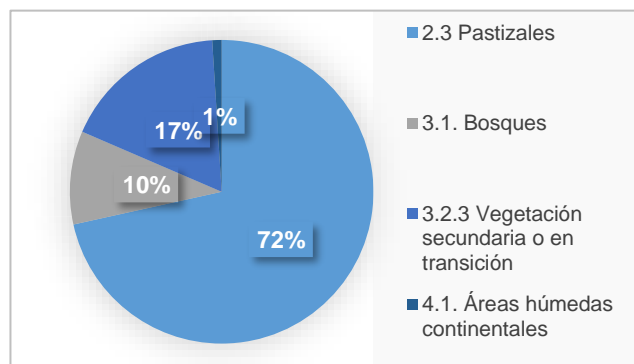


Gráfica 1. *Relación entre pérdidas y ganancias de ocupación de cobertura terrestre.*

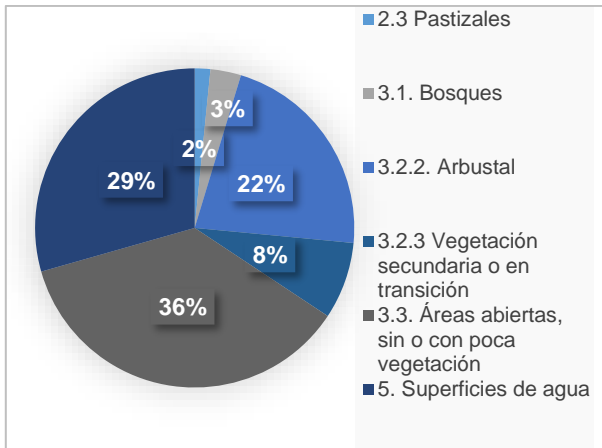
Para visualizar gráficamente lo expuesto en la matriz de transición e identificar las coberturas terrestres que han causado mayor pérdida dentro de las 5 coberturas listadas en la tabla 5, la gráfica 2 muestra las coberturas que ocuparon los 3340.72 km² de bosque a lo largo de los 16 años de estudio, de igual manera, las gráficas 3, 4, 5 y 6 muestran las coberturas que han invadido los otros 4 tipos coberturas que han perdido área.



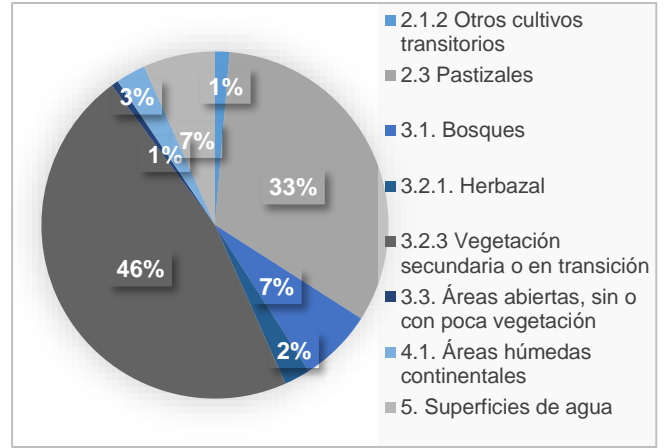
Gráfica 2. *Coberturas que han invadido bosque.*



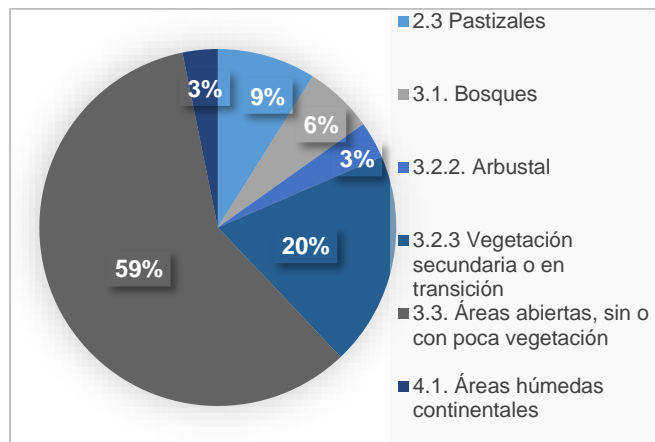
Gráfica 3. *Coberturas que han invadido herbazal.*



Gráfica 4. Coberturas que han invadido áreas húmedas.



Gráfica 5. Coberturas que han invadido arbustal



Gráfica 6. Coberturas que han invadido superficie de agua.

Por medio de la matriz de transición se evidencia que las coberturas que más presentaron aumento son territorios artificializados, otros cultivos transitorios, pastizales, vegetación secundaria y tierras desnudas y degradadas, mientras que la cobertura de bosques fue la que presentó mayor reducción en el periodo de estudio. En las tablas 5 y 6 se observarán las coberturas que obtuvieron ganancias y aquellas que obtuvieron pérdidas con sus valores totales.

Tabla 5. Ganancias totales obtenidas por cada cobertura periodo 2002 - 2018

Ganancias totales km ²	
Pastizales	2074.84
Vegetación secundaria o en transición	1267.00
Tierras desnudas y degradadas	134.95
Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	5.10
Territorios artificializados	4.44
Cultivos transitorios	3.36

Tabla 6. Pérdidas totales obtenidas por cada cobertura periodo 2002 - 2018

Pérdidas totales km ²	
Bosques	3340.72
Herbazal	108.27
Áreas húmedas continentales	15.90
Arbustal	15.70
Superficies de agua	9.11

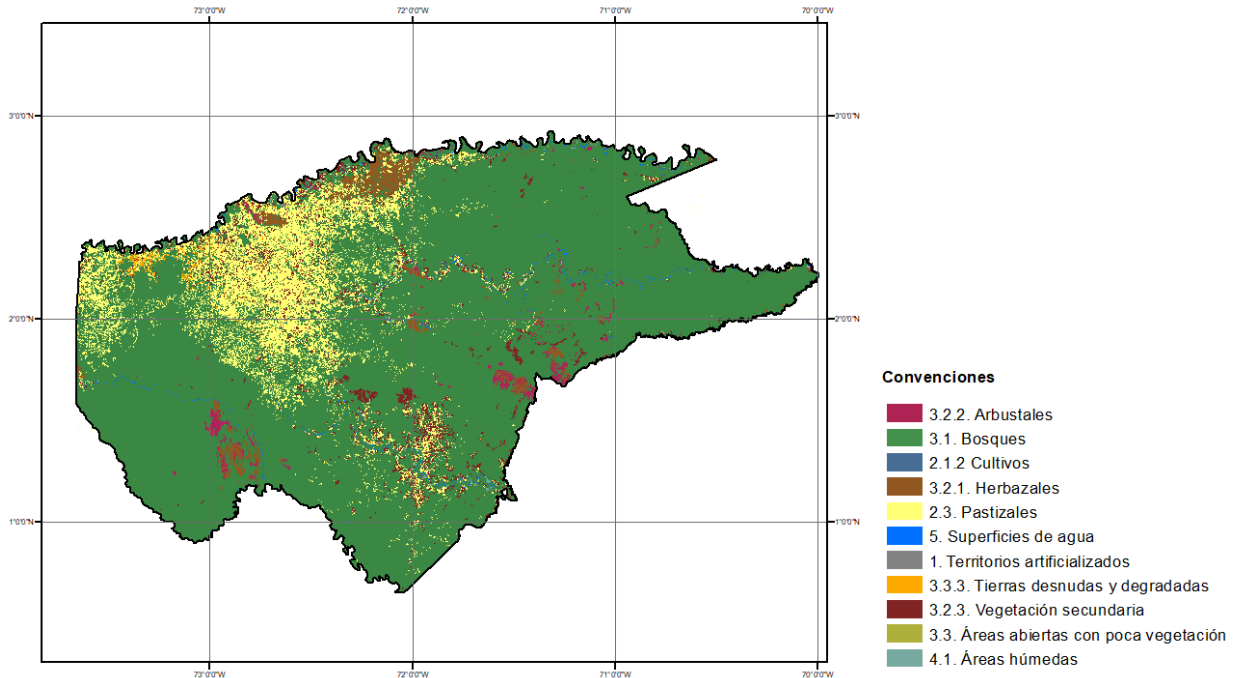
2.2. Estimación cambio de cobertura año 2030.

A partir del cambio de cobertura presentado entre 2002 y 2018, en el software IDRISI Selva se obtuvo la matriz de probabilidad de cambio para el año 2030 obteniendo las áreas totales que se podrían tener en ese año para cada cobertura terrestre en el municipio del Guaviare (tabla 7), se observa que se mantiene el incremento en la cobertura pastizales afectando en gran medida los bosques y herbazales, también se puede observar una fuerte disminución en áreas húmedas y superficies de agua.

Tabla 7. Tablas con valores totales de área años 2002, 2018 y 2030.

Cobertura de la tierra	Área año 2002 km ²	Área año 2018 km ²	Área total estimada año 2030 km ²
1. Territorios artificializados	7.29	11.74	15.07
2.1.2 Otros cultivos transitorios	1.87	5.24	7.76
2.3 Pastizales	2994.59	5069.42	6625.55
3.1. Bosques	49406.41	46065.69	43560.15
3.2.1. Herbazal	1310.50	1202.24	1121.04
3.2.2. Arbustal	553.37	537.67	525.90
3.2.3 Vegetación secundaria o en transición	756.40	2023.40	2973.65
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	34.14	39.23	43.06
3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	40.31	175.25	276.46
4.1. Áreas húmedas continentales	66.36	50.46	38.54
5. Superficies de agua	378.12	369.01	362.17

El mapa final de coberturas terrestres para el municipio del Guaviare con estimación de cambio para el año 2030 se observa a continuación.



3. CONCLUSIONES

La matriz de tabulación cruzada o de transición basada en Pontius permitió obtener la cantidad de área en km² que cambió de una cobertura a otra en un periodo de 16 años brindando resultados acordes con lo esperado. La cobertura terrestre 2.3 pastizal es aquella que más aumento presenta mientras que la cobertura 3.1. bosque es la que más ha disminuido, este resultado permite deducir que actividades como la ganadería y el crecimiento urbano pueden ser los principales causantes de los cambios presentados.

Para estimar las pérdidas y ganancias de cobertura terrestre que se tendrán en el futuro es necesario evaluar las tendencias de cambio que se han presentado en el pasado. La pérdida de la cobertura de bosques causa efectos negativos dentro del ecosistema, generando sequías que conllevan a la pérdida de superficies de agua y áreas húmedas. De mantenerse el porcentaje de cambio presentado de 2002 a 2018, para el año 2030 se tendrán 2505.54 km² menos de bosque lo que representa aproximadamente una pérdida anual de 20879.5 hectáreas.

El software Idrisi Selva, contiene gran variedad de herramientas que permiten realizar el análisis de cambio de coberturas terrestres, esto permitirá evaluar a tiempo las medidas que se deben aplicar para que estos cambios reduzcan sus efectos negativos al medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Instituto SINCHI. (2018). *RELICTOS BOSQUE EN EL DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE*.
- [2] Meza Elizalde, M. C., & Armenteras, D. (2018). Uso del suelo y estructura de la vegetación en paisajes fragmentados en la amazonia, Colombia. *Colombia Forestal*, 205-223.
- [3] IDEAM. (2012). *IDEAM*. Obtenido de:
<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>
- [4] Lambin, E. a. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11, 261-269.
- [5] R, R. R., M, P. d., J, C. N., & R, S. H. (2019). Análisis geomático espacial del cambio de uso del suelo en Huimanguillo, Tabasco (2000 - 2010 - 2030). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 10*, 118-139.
- [6] Eastman, J. R. (2006). Guide to GIS and Image Processing. En IDRISI. Selva. Worcester, Clark University.
- [7-10] Pontius, R., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, V. 101, 251-268.
- [8] Camara de Comercio San José. (2010). *Camara de Comercio San José*. Obtenido de
http://camarasanjose.org.co/archivos/file/Situaci%C3%B3n%20socio%20econ%C3%B3mica_Guaviare_2010.pdf
- [9] IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- [11] Gallardo, M., & Martínez, V. J. (2012). Cambios de usos del suelo en la comunidad de Madrid: analizando el pasado y simulando el futuro. *XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica* . Madrid.
- [12] Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva GIS and image processing software version 17.0.* Worcester, MA USA: Clark Labs.
- [13] Méndez-Morales, M. (2012). Predicción del impacto del cambio temporal en el uso del suelo sobre cuencas hidrológicas de alta pendiente en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 26, Nº 3., 13-25.
- [14] Pérez-Miranda, R. &, González Hernández, A., & Valdez Hernández, J. I. (2011). Predicción espacial de cambios del uso de suelo en Texcoco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, Vol. 2, núm.5, 59-72.

- [15] Murcia, U., Medina, R., Rodríguez, J., Hernández, A., Herrera, E., & Castellanos, H. (2014). *Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia Colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales 2002 al 2012, con énfasis en el periodo 2007 - 2012*. Bogotá, D.C: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI".
- [16] Pineda de Carías, M. C., Flores, G., Castro, M., Jimenez, P., Reyes, G., & López, E. (2015). Cambios importantes en la cobertura de la tierra y análisis de transiciones sistemáticas en un sector del occidente de Honduras. *Revista Ciencias Espaciales, Volumen 8*, 469-492.