

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA BOSCOA EN LA SUBZONA
HIDROGRÁFICA RÍO PAUTO, CASANARE, COLOMBIA**

HEILER MARTIN RICAURTE AVELLA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA DE POSGRADOS EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
TUNJA
2018**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA BOSCOA EN LA SUBZONA
HIDROGRÁFICA RÍO PAUTO, CASANARE, COLOMBIA**

HEILER MARTIN RICAURTE AVELLA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE MAGISTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL
MODALIDAD INVESTIGACIÓN**

**Directora
MARÍA EUGENIA MORALES PUENTES
PhD. Ciencias-Biología**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA DE POSGRADOS EN INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
TUNJA
2018**

Nota de aceptación:

Firma presidente del Jurado

Firma jurado: Rigaud Sanabria Marín

Firma jurado: Manuel Galvis Rueda

Ciudad: Tunja, día: 15 Mes: mayo, Año: 2018

Dedicado a:

Mi Familia y a los defensores y gestores de la Universidad Pública como medio de desarrollo integral de nuestra querida Colombia.

Si la Universidad Pública se echa al hombro el País, lograremos un verdadero desarrollo con equidad y bienestar para todos...

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la mano y guiarme cada paso de mi vida, con una gran sonrisa y bienaventuranzas.

Al Instituto de Ciencias de la Universidad Nacional especialmente al Doctor Orlando Rangel Churio, por acogerme en su grupo y darle viabilidad a la investigación, a su vez, al Doctor Fernando Goopar por su apoyo incondicional, Andres Vera y Vladimir Minorta por su asesoría y acompañamiento en el trabajo de campo.

Al grupo de investigación SISBIO- UPTC en cabeza de la directora del trabajo de grado María Eugenia Morales Puentes, Pablo Andres Gil y demás colaboradores del herbario que prestaron sus conocimientos para fortalecer el proceso investigativo.

A Katerine Pan y Familia por el acceso a sus predios en Trinidad Casanare donde se realizó parte de la investigación.

A la FUNDACIÓN MORICHALES DE COLOMBIA por el apoyo logístico y financiero, así como el compromiso que ostenta para incentivar la conservación y desarrollo sostenible del país.

A mi esposa e hijos por su comprensión y apoyo cada día y noche de trabajo, a mis padres y hermanos por su motivación a continuar.

Tabla de Contenido

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS | 7 |
| LISTA DE TABLAS | 8 |
| RESUMEN..... | 9 |
| CAPITULO I. ORINOQUIA, FORMACIONES BOSCOSAS Y MULTITEMPORALIDAD | 10 |
| 1.1 LA ORINOQUIA | 10 |
| 1.2 Formaciones boscosas | 16 |
| 1.3 Multitemporalidad | 26 |
| 1.3.1 Cobertura de la Tierra | 27 |
| 1.3.2 Teledetección..... | 27 |
| 1.3.3 Sensores Remotos..... | 30 |
| 1.3.4 Análisis multitemporal | 32 |
| 1.3.5 Sistemas de Información Geográfica..... | 33 |
| 1.4 Finalidad de la Investigación | 35 |
| 1.4.1 Objetivo General | 36 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos..... | 36 |
| 1.4.3 Capitulos de este proyecto..... | 36 |
| 1.4.4 Productos generados a partir de esta Tesis de Maestría..... | 37 |
| 1.4.5 Financiación del Proyecto. | 37 |
| CAPITULO II. ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LOS BOSQUES SUBZONA HIDROGRÁFICA RÍO PAUTO | 38 |
| 2.1 ESTUDIOS BOTÁNICOS EN LA ORINOQUÍA | 39 |
| 2.2 LOCALIZACIÓN SUBZONA HIDROGRAFICA RIO PAUTO..... | 39 |
| 2.3 BOSQUE DE LA SZH RÍO PAUTO..... | 40 |
| 2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 53 |
| CAPITULO III. CAMBIOS EN LAS CUBIERTAS BOSCOSAS DE LA SZH DEL RÍO PAUTO | 58 |
| 3.1 ANTECEDENTES DE MULTITEMPORALIDAD | 59 |
| 3.2 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS MULTITEMPORAL..... | 60 |
| 3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 66 |
| 3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 78 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localización Orinoquia Colombiana..... | 11 |
| Figura 2. Bosque de Pera arborea..... | 18 |
| Figura 3. Bosque de Guarea sp..... | 20 |
| Figura 4 Bosque alto con <i>Pseudolmedia laevigata</i> | 20 |
| Figura 5. Bosque bajo con <i>Cecropia peltata</i> | 21 |
| Figura 6. Bosque alto con <i>Crepidospermum rhoifolium</i> | 22 |
| Figura 7. Bosques con <i>Protium tenuifolium</i> | 23 |
| Figura 8. Bosque de <i>Nectandra</i> sp. | 24 |
| Figura 9. Bosque de <i>Protium calanense</i> | 24 |
| Figura 10. Palmar de <i>Mauritia flexuosa</i> | 25 |
| Figura 11. Espectro eletromagnético. | 31 |
| Figura 12. Cobertura histórica del Satélite Landsat..... | 33 |
| Figura 13. Área de estudio. Szh río Pauto (IDEAM 2013). | 40 |
| Figura 14. Proyectos Licenciados en la SZH del Río Pauto | 41 |
| Figura 15. Levantamientos florísticos Llanos 9 | 42 |
| Figura 16. Levantamientos florísticos Llanos 17. | 43 |
| Figura 17. Levantamientos Florísticos Llanos 40. | 44 |
| Figura 18. Levantamientos Florísticos Llanos 18. | 47 |
| Figura 19. Levantamientos florísticos bloque Guachiría Sur. | 48 |
| Figura 20. Levantamientos florísticos Llanos 20 | 49 |
| Figura 21. Levantamientos Florísticos CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ ... | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. Localización de las 174 parcelas de 01 ha..... | 56 |
| Figura 23. Diagrama metodológico análisis temporal en la SZH río Pauto..... | 61 |
| Figura 24. Creación de imagen Multiespectral | 62 |
| Figura 25. Verificación en campo de la categorización temática..... | 63 |
| Figura 26. Poligonización imagen multiespectral 1972 SZH río Pauto. | 65 |
| Figura 27. Cambios de cubiertas 1972 - 2017. | 65 |
| Figura 28. Imagen satelital Landsat & Cubiertas año 2017..... | 67 |
| Figura 29. Imagen satelital LANDSAT & Cubiertas año 1972. | 68 |
| Figura 30. Mapa cambios SZH del río Pauto entre 1972 al 2017..... | 69 |
| Figura 31. Análisis temporal de Cubiertas 1972 - 2017..... | 70 |
| Figura 32. Cambios Temporales en las cubiertas de la SZH río Pauto. | 70 |
| Figura 33. Contraste de vegetación Landsat 1972-2017..... | 72 |
| Figura 34. Dinámica de las Cubiertas boscosas 2017 a 1972..... | 73 |
| Figura 35. Análisis Multitemporal Cuenca rios Pauto. | 77 |
| Figura 36. Bloques Petroleros Licenciados dentro de la SZH del Río Pauto.... | 78 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 1. LAS ESPECIES CON MAYOR PREDOMINIO POR COMUNIDAD EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO PAUTO..... | 53 |
| TABLA 2. MORICHALES DE VENEZUELA, PERÚ Y COLOMBIA..... | 56 |
| TABLA 3. CATEGORIZACIÓN TEMÁTICA PERIODO 2017..... | 66 |
| TABLA 4. CATEGORIZACIÓN TEMÁTICA PERIODO 1972..... | 68 |
| TABLA 5. MATRIZ DE CAMBIOS 1972 – 2017 EN HECTÁREAS..... | 70 |
| TABLA 6. TASA PROMEDIO DEFORESTACIÓN SZH RÍO PAUTO, 1972 – 2017..... | 71 |
| TABLA 7. DINÁMICA DE LAS CUBIERTAS BOSCOSAS EN LA SZH DEL RIO PAUTO..... | 72 |
| TABLA 8. CIFRA DE DEFORESTACIÓN EN COLOMBIA 2015 POR DEPARTAMENTO..... | 74 |

RESUMEN

La observación de la cobertura terrestre desde el espacio ha tomado un fuerte protagonismo ambiental, debido a su utilidad, la cual radica en la periodicidad y la consistencia en la información adquirida; actualmente se cuenta con diversos medios para obtener información de áreas de interés y con caracteres multidisciplinarios que ayudan a generar solución a problemáticas locales, regionales y globales.

El Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) del IDEAM y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), reporta 124.035 ha deforestadas para el territorio colombiano en el 2014, 140.356 ha para el año 2015 y 178.597 ha para el 2016 (IDEAM 2016), problemática creciente que establece la necesidad de generar estrategias que permitan conservar los bosques y sus bienes y servicios ecosistémicos. En tal sentido, el presente estudio tiene como fin generar información que permita interpretar los posibles cambios en el tiempo de la extensión del bosque, en una de las regiones de mayor importancia de Colombia, por su alta biodiversidad y singularidad como lo es la Orinoquia. El estudio, se localizó en la Subzona Hidrográfica del río Pauto, con el propósito de identificar el estado actual del recurso boscoso, a su vez, validar los posibles cambios temporales de las cubiertas en el periodo comprendido entre 1972 al 2017.

Para la Subzona Hidrográfica (SZH) del río Pauto se identificaron 174 levantamientos de información florística realizados en el área de influencia del estudio, registros procedentes de línea base en procesos de licenciamiento ambiental y estudios de investigación de la Orinoquia. Se registró un total de 135 especies, las más abundantes, frecuentes y dominantes fueron: *Attalea butyracea* (Palma real), seguido de *Guazuma ulmifolia* (Guácimo), *Mauritia flexuosa*, (Palma moriche); *Cochlospermum vitifolium* (Bototo), *Spondia mombin* (Jobo), *Connarus cf. ruber* (Sangrito), *Vitex orinocensis* (guarataro), *Guarea guidonia* (trompillo), *Sapium marmieri* (lechero), *Cochlospermum vitifolium* (Bototo) y *Jacaranda lasiogyne* (Gualanday).

El análisis de multitemporalidad identificó que de las 783.285 ha., objeto de este estudio, actualmente apenas el 12.4% es bosque. La transformación de cubiertas, revelan pérdidas de 38.946,92 ha. de las formaciones boscosas descritas en el capítulo 2 del presente estudio, entre el periodo comprendido entre 1972 al 2017, a su vez, los resultados sustentan que 3.271 ha. del área deforestada fueron destinadas a la agricultura, 44.010 ha., en términos de porcentaje se evidencia un crecimiento del 13% de la agricultura representada principalmente, en cultivos de arroz, seguido de palma de aceite y cultivos de pan coger, de acuerdo con la inspección desarrollada en campo. Presentando una tasa promedio de deforestación por año de 865 ha.

CAPITULO I

ORINOQUIA, FORMACIONES BOSCOSAS Y MULTITEMPORALIDAD

1.1 LA ORINOQUÍA

Es una de las regiones del país con naturaleza anfibia y tal vez la más importante, ya que contiene la mayor área de humedales temporales y de humedales permanentes de bajo dosel; lo que representa el 48% de los humedales continentales del país. Por tanto, alberga diversidad de ecosistemas: sabanas, ronda, río, rebalse, quebrada, plano de inundación, palmar, morichal, meandro, madre vieja, laguna, estero, bosque ripario y bajío (JARAMILLO *et al.* 2015). Como se observa en la Figura. 1., la Orinoquía comprende desde el piedemonte de la cordillera Oriental en el oeste, hasta el río Orinoco al este, y desde el río Guaviare al sur hasta los ríos Arauca y Meta en los límites con Venezuela al norte y representa considerable porción de la sabana del norte de Suramérica (DINERSTEIN *et al.* 1995).

En la Orinoquia colombiana, los promedios de precipitación anuales en diferentes localidades varían desde 679 hasta 4.663 mm. El régimen de distribución de la precipitación que prevalece es unimodal biestacional, la época de lluvias comprende desde abril hasta octubre y concentra entre el 50.7-88.5% del total de la precipitación anual. La distribución geográfica de las lluvias y el caudal de los ríos, generan un espectro que va desde suelos que permanecen secos buena parte del año, hasta los que permanecen húmedos la mayor parte del año (RANGEL-CH *et al.* 1995).

La cuenca del río Orinoco en Colombia sobresale por su riqueza hídrica, su importancia histórica como medio de comunicación y de transporte nacional e internacional, y su diversidad cultural, de paisajes y ecosistemas terrestres y acuáticos que albergan distintas formas de vida hasta ahora poco conocidas. Con un proceso histórico de ocupación y uso de sus recursos que ha generado diversos y controvertidos conflictos, es también una de las regiones menos densamente pobladas del país, y al mismo tiempo una de las que cuenta con un mayor grado de transformación en las últimas décadas. Es también considerada la despensa alimentaria de Colombia, se nomina desde múltiples perspectivas industriales: forestal, acuícola, agropecuaria y ecoturística. El potencial petrolero en el subsuelo llanero ha sido en los últimos decenios la base de la economía regional, junto con actividades agropecuarias como ganadería, cultivos de palma, arroz, soya, entre otros (CORREA *et al.* 2005).

Para el desarrollo del presente estudio se siguió la división geográfica propuesta por RANGEL *et al.* (1995) para quienes la Orinoquia colombiana comprende localidades

de los departamentos de Arauca, Casanare, Meta y Vichada, a los 5° y 2° N y entre 75° y 67° O, con una cota máxima de 500 m altitudinales (Ver Figura 1).

En la actualidad la exploración y el aprovechamiento petrolero en la región de la Orinoquia colombiana presentan un gran reto para la conservación de los ecosistemas de esta región. Adicionalmente, la expansión de la frontera agrícola está transformando de manera acelerada un área extensa de ecosistemas primarios en esta región del país. Por ende, es importante establecer prioridades de conservación de los ecosistemas representativos de la región puesto que, en su mayoría, están constituidos por humedales. Como se menciona en la “Política Nacional de Gestión de Recursos Hídricos” (MADS 2010), la protección de acuíferos y humedales es un objetivo primordial.

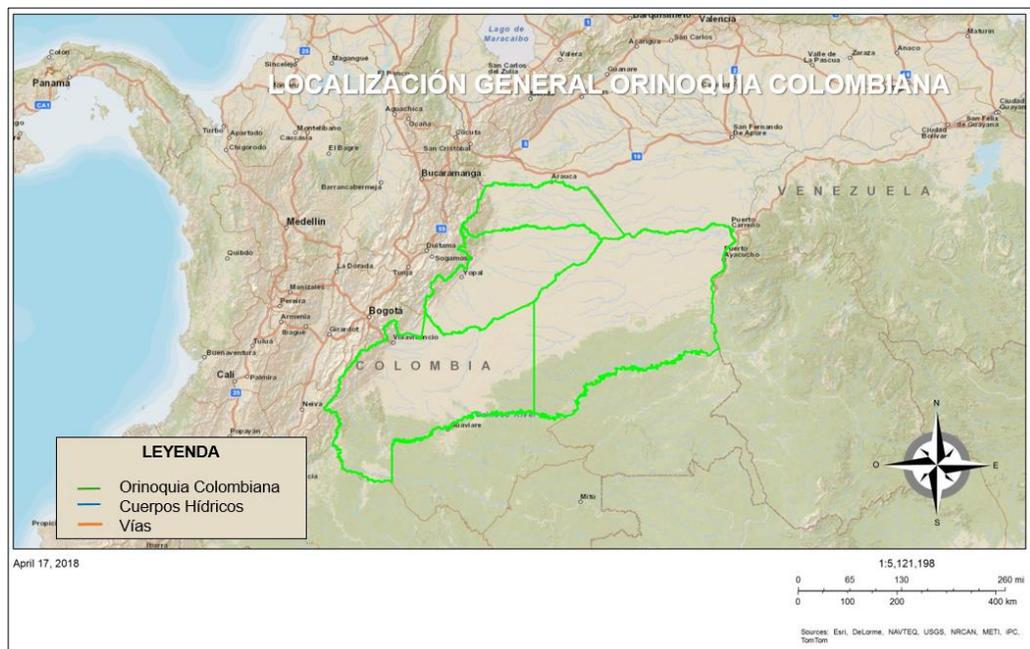


Figura 1. Localización Orinoquia Colombiana. Elaboración propia” Fuente Información.

1.1.1 Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, la Orinoquia presenta variedad de formas de relieve (RANGEL-CH. 2014). Las sabanas tropicales son el resultado de la evolución de diversos procesos geológicos; entre ellos, las fuerzas tectónicas, la sedimentación, la erosión y los cambios climáticos drásticos. Las sabanas en esta región presentan una gran variabilidad geológica y topográfica, debido a la interacción entre la geomorfología, el tipo de material original de la corteza terrestre y el clima (AMEZQUITA *et al.* 2013). El levantamiento final de la cordillera Oriental ocurrió durante el Pliopleistoceno y simultáneamente, los sedimentos desprendidos de ella se depositaron en la región actualmente ocupada por los Llanos Orientales.

Las lluvias, que en la última glaciación del Cuaternario fueron abundantes, abrieron profundos cauces y transportaron enormes cantidades de sedimentos que se acumularon en las partes bajas y planas, procesos que dieron origen a la actual topografía y a los numerosos ríos que se observan en los Llanos Orientales de Colombia (IGAC 1991).

Los suelos son poco evolucionados en esta zona, debido al exceso de agua y a diferentes procesos erosivos, en donde se pueden distinguir entisoles e inceptisoles (MORA-FERNÁNDEZ *et al.* 2011). Las formas del terreno son convexas, planas, plano cóncavas, sinuosas, hasta algunos sectores con formas fuertemente quebradas (GOOSEN 1963 - 1972; FAO 1964; CORTÉS 1986).

Según la propuesta taxonómica “Key to Soil Taxonomy” (SOIL SURVEY STAFF, 1992) y USDA (2010), los suelos de la Orinoquia colombiana pueden ser agrupados en dos grandes órdenes: Oxisoles y Ultisoles, u Orthic, Rhodic y Humic Ferrasuelos acorde a la taxonomía francesa usada por FAO (1963). Se caracterizan por altos niveles de óxidos (Fe y Al), deficiencia de Ca y una acidez alta con pH entre 4.5-5 en la mayoría de los casos y hasta 7 (RIPPSTEIN *et al.* 2001), pero en varios casos se alcanzaron valores neutros (pH 8) (CELIS *et al.* 2014).

1.1.2 Clima

El régimen pluviométrico de la Orinoquia colombiana es de tipo unimodal, con una temporada lluviosa o de aguas altas en entre el mes de abril y octubre con julio como el mes de mayor pluviosidad (370 mm) y una temporada de sequía o aguas bajas entre noviembre y marzo, con enero como el de menor precipitación (25 mm). La precipitación varía desde menos de 1500 mm al año en el sector nor-oriental (Arauca - Vichada) hasta 3500 mm en el piedemonte al occidente de la región (RANGEL-CH. & AGUILAR-P. 1995).

La región presenta un clima cálido (tropical lluvioso de sabana según el sistema Thornthwaite). Los valores promedio de temperatura máxima y mínima son de 33.6 y 19°C respectivamente. Existe una isoterma anual con promedio de 25.9°C y la distribución de la temperatura tiende a ser homogénea, pues la diferencia entre los extremos no supera los 4-5°C (RANGEL *et al.* 1995).

La influencia del trapecio Amazónico y la cercanía a la cordillera Oriental, generan un efecto latitudinal en la distribución de la precipitación (Rudas 2010). Existe un gradiente que en Colombia va desde el piedemonte con valores entre 2877-4000 mm, la altillanura con 2230-2982 mm, hasta las llanuras aluviales con valores entre 2400-2600 mm (RANGEL *et al.* 1995).

MINORTA-CELY & RANGEL-CH. (2014) reportan para la Orinoquia colombiana seis unidades climáticas, con promedios de precipitación que van desde los 600.8 hasta los 4663.7 mm. La época lluviosa se presenta entre abril y octubre, este

periodo concentra entre el 50.7-88.5% del total de la precipitación anual. Los tipos de clima según Thornthwaite van desde ARA' hasta DRA' (súper-húmedo a moderadamente seco), es decir, climas súper-húmedos pluviales, en donde la deficiencia hídrica es minúscula, hasta climas con períodos de sequía ampliamente marcados. En ambos casos, la evaporación real es menor a la potencial, encontrándose que el periodo de baja evapotranspiración coincide con la época de alta precipitación.

Al establecer la marcha de la precipitación durante los años secos, húmedos y cotejarla con los fenómenos de “El Niño y La Niña”, se encontró que los años 1992, 1997, 2000, 2002, 2001 y 2008, fueron años en los cuales la precipitación estuvo por debajo del promedio, motivo por el cual fueron catalogados como años secos, de los cuales, los años 1992 y 1997, han sido catalogados como años típicamente con fenómeno de El Niño a nivel mundial. Por su parte, los años 1994, 1996, 1998 y 2010, fueron años en donde la precipitación estuvo por encima del promedio, motivo por el cual son catalogados como años húmedos, de los cuales tan solo 1996 y 2010 han sido catalogados como años típicamente con fenómeno de La Niña a nivel mundial (NOOA 2014).

Tras analizar la distribución de las unidades climáticas, y cotejarla con la de las unidades fisiográficas, se encuentra que no hay una especificidad marcada; es decir, una misma unidad fisiográfica posee varias expresiones climáticas. Por lo tanto, se ratifica que el clima es una variable independiente, pues se ve afectado sustancialmente por las variaciones del relieve (ARELLANO-PEÑA, com. pers.).

Existen zonas de precipitación que presentan un patrón de Nororiente a Suroccidente, en donde en la proximidad a la cordillera Oriental se presentan mayores precipitaciones. Esta zonación, como se verá más adelante, es la responsable de la distribución de la diversidad en la región y como lo exponen ZINCK (1981) y HANAGARTH (1993), la fuerte incidencia que tiene el clima sobre la actividad de los procesos erosivos establece variaciones ambientales dentro de las unidades fisiográficas, situación que deriva en la marcada heterogeneidad ambiental y climática que tiene la región (MINORTA-CELY & RANGEL-CH. 2014).

1.1.3 Hidrología

El río Pauto nace en el cerro de Romeral o alto de los Romeros a 3700 m en el municipio de Socotá, departamento de Boyacá, desarrolla su cauce por el flanco este de la cordillera Oriental, hasta llegar al piedemonte llanero y la planicie, a una cota de 300 m, haciendo parte del límite natural entre el municipio de Pore y los municipios de Nunchía, San Luis de Palenque y Trinidad. Sobre el cauce del río Pauto, se presentan meandros como producto de la erosión lateral, estos son característicos de ríos jóvenes en proceso de madurez, dentro de una primera etapa del modelamiento del relieve de llanura. Consecutivamente empieza aparecer el

valle aluvial como aquellos depósitos alargados y ubicados a los costados del cauce principal (CORPORINOQUIA 2008).

Zonas de Percolación e Infiltración en Acuíferos Libres (Zper): Se localizan en los valles aluviales de los ríos y quebradas principales como el caño Guanapalo, ríos Guachiría, Pauto, Cravo Sur, Meta y los caños menores, estos depósitos están constituidos por materiales recientes no consolidados, compuestos de arena y grava (IDEAM 2013).

Los depósitos aluviales con influencia eólica conformados por arenas limos y loes, con capa arcillosa sobre la unidad más superficial de la terraza, proporcionando características impermeables. En la zona de estudio, se presenta influencia de los ríos Guachiría y Yatea, donde la unidad infrayacente presenta recarga hídrica por posibles infiltraciones debido a su composición litológica gradacional, exhibe una buena permeabilidad y alimentando los acuíferos libres del área. Estas zonas son de gran importancia porque constituyen áreas amortiguadoras del balance hídrico entre la época de lluvias y sequía, áreas reguladoras del ciclo hidrológico, al igual que hacen parte de los Acuíferos Libres del área de sabana (CORPORINOQUIA 2008).

Zonas de Escorrentía en Terrazas Bajas (Zetb): Predominan los suelos de características arcillosas o limoarcillosas y sectorizadamente presentan gravas y arenas, con espesores moderados, mal drenados, con cubetas, zurales y/o humedales, debido a la composición arcillosa de la capa superficial, con erosión ligera, la topografía es plana, pendientes <3% y el principal proceso hídrico es la escorrentía superficial. Las unidades geológicas se caracterizan por depósitos Aluviales Fluviodeltaicos y Aluviales con influencia Eólica en forma sectorizada (CORPORINOQUIA 2008).

1.1.4 Flora

Según RANGEL-CH. y MINORTA-CELY (2014), todos los bosques (excepto los de la Serranía de La Macarena) en la Orinoquia se reúnen en la formación mayor de los bosques dominados por *Terminalia amazonia* y *Luehea seemannii*, entre cuyas especies características dominantes, figuran *Jacaranda cf. copaia*, *Cecropia peltata*, *Caraipa llanorum*, *Ceiba pentandra*, *Protium calanense*, *Guarea kunthiana*, *Pourouma guianensis* y *Guatteria goudotiana*. Como unidad subordinada aparece la gran formación de los bosques de *Luehea seemannii* y *Pseudolmedia laevigata* con *Cordia alliodora*, *Guarea guidonia*, *Spondias mombin*, *Astronium graveolens*, *Symplocos amplifolia* como especies asociadas. Estos bosques incluyen la formación de los bosques de *Swartzia macrophylla* y *Pseudolmedia laevigata*, entre cuyas especies características dominantes, figuran *Swartzia macrophylla*, *Xylopia aromatica* y *Billia rosea*. También se incluyen los bosques de *Pouteria caimito* y *Pseudolmedia laevigata* con *Hymenaea courbaril*, *Pouteria caimito*, *Cupania latifolia* como especies características-dominantes (RANGEL-Ch. & MINORTA-CELY 2014).

La otra subformación de los bosques dominados por *Batocarpus orinocensis* y *Senefeldera verticillata*, agrupa a los bosques dominados por *Virola carinata* y *Chimarrhis turbinata* y a los dominados por *Pourouma minor* y *Zanthoxylum flavum*. La tipología biogeográfica de la Orinoquia colombiana es la siguiente; reino Neotropical – Austro Americano; subreino Neotropical, super-región Caribeña Neogranadina, región Neogranadina, provincia Llanera. Se mencionan las similitudes florísticas a nivel de tipos de vegetación y de especies vegetales dominantes de la provincia Llanera colombo-venezolana, con el cerrado brasileño y boliviano, y con las sabanas de Bolivia (provincia Beni) y países de Centroamérica como Costa Rica y México (RANGEL-CH. & MINORTA-CELY 2014).

1.1.5 Fauna

En peces para la cuenca del río Pauto, según MALDONADO-OCAMPO (2013) son 182 especies, 110 géneros, 38 familias y nueve órdenes. Así mismo, USMA & TRUJILLO (2011) registran para Casanare 567 especies agrupadas en 242 géneros, 41 familias y 10 órdenes. Esta riqueza representa el 86% de las 658 especies de la Orinoquia colombiana. Los órdenes Characiformes (263 spp.) y Siluriformes (202), con el mayor número de especies, mientras que las familias Characidae (167) y Loricariidae (64) tuvieron la mayor representación específica. Se registran 29 especies endémicas para la cuenca del río Meta; 11 especies con alguna categoría de amenaza, 232 con valor comercial (171 ornamental, 61 de consumo) y 58 especies migratorias.

USMA y TRUJILLO (2011), destacan seis nuevos registros para Colombia *Apareiodon orinocensis*, *Melanocharacidium nigrum*, *Acestrocephalus ginesi*, *Rineloricaria caracasensis*, *Hypostomus hemicochliodon* y *Rhamphichthys apurensis*; nueve especies se registran por primera vez en la cuenca Orinoco *Steindachnerina bimaculata*, *S. dobula*, *Leporinus moralesi*, *L. subniger*, *Ammocryptocharax minutus*, *Hemigrammus tridens*, *Centromochlus reticulatus*, *Bunocephalus coracoideus* y *Vandellia cirrhosa* y ocho especies que requieren revisión de especialista pues pueden ser nuevas especies para la ciencia. Esta riqueza posiciona al Casanare, como uno de los departamentos megadiversos en peces en Colombia.

El libro “Biodiversidad de Casanare” (USMA & TRUJILLO 2011) muestra una revisión de la fauna de esta bioregión, con 200 especies agrupadas en 35 familias y 12 órdenes. Esta riqueza representa el 45% de la mastofauna colombiana. Se encuentra un alto porcentaje de pequeños mamíferos como roedores, murciélagos y marsupiales, y en menor medida mamíferos medianos como primates, mustélidos y armadillos, al igual que mamíferos grandes como dantas, chigüiros y felinos, de las cuales 16 especies tienen algún grado de amenaza. Casanare es estratégico para la conservación de los mamíferos de la Orinoquia, en término de riqueza - alberga 12 de los 14 órdenes registrados para Colombia y registra las mayores agregaciones de chigüiros y venados.

Para reptiles se reporta 65 especies dentro de las que se destacan tortugas, cachirres, babillas, caimanes y cocodrilos, también lagartos o saurios, serpientes y tatacoas. Se registran dos especies endémicas 13 especies bajo el criterio de explotación comercial CITES y siete especies amenazadas entre las que destacan *Crocodylus intermedius*, *Podocnemis expansa* y *Podocnemis unifilis*, que requieren urgentes esfuerzos de conservación. En aves hay 507 especies para Casanare, de mariposas 175 especies y 89 de hormigas (USMA & TRUJILLO 2011).

1.2 Formaciones boscosas

Los factores ambientales que en mayor medida condicionan el tipo de bosque susceptible de desarrollarse en la región son la climatología general y las características de los sustratos y suelos. Así, existen bosques climáticos, en estricta consonancia con las condiciones macroclimáticas (asentados sobre suelos en los que el aporte de agua proviene fundamentalmente de las precipitaciones habidas a lo largo del año) y bosques edafoclimáticos, que se desarrollan en suelos con hidromorfía más o menos permanente a causa, por ejemplo, de su proximidad a los cursos de agua.

De acuerdo con la definición adoptada por GAJARDO (1994), formación vegetal corresponde a una agrupación de una o más comunidades vegetales que pueden ser delimitadas en la naturaleza en función de las formas de vida dominantes y del modo en que éstas ocupan el espacio. En tal sentido las formaciones vegetales están definidas por el carácter fisionómico de las comunidades vegetales que la constituyen. Esta fisionomía es el resultado de la combinación de formas biológicas dominantes y del modo en que se presenta la distribución espacial de las especies vegetales, o sea, por la estructura de la vegetación, tanto en su proyección vertical como horizontal. Una formación vegetal representa la expresión de determinadas condiciones de vida y está constituida por comunidades-tipo o asociaciones características de especies que, si bien difieren entre sí por su composición florística, generalmente coinciden en sus rasgos fisionómicos principales (GAJARDO 1994).

De acuerdo con los estudios sobre “los tipos de vegetación de la Orinoquia colombiana” realizados por RANGEL-CH. & MINORTA-CELY (2014). La región orinocense, al igual que las restantes regiones naturales, presenta una división básica en su fisiografía: extensas regiones planas y macizos montañosos que interrumpen la monotonía de la planicie. Los paisajes fisiográficos sumados a la caracterización climática (precipitación), permiten considerar el siguiente arreglo.

Altilanura: Incluye las colinas y serranías bajas; entre las formaciones vegetales que se encuentran figuran los bosques, matorrales y pastizales.

Llanura aluvial: Incluye aluviones recientes, vegas de los ríos Arauca, Guaviare, Vichada y Casanare y terrazas aluviales. Las formaciones vegetales que se establecen incluyen a los bosques altos, matorrales, morichales, pastizales y vegetación acuática y de pantano.

Piedemonte cordillerano con formaciones vegetales originales donde predominan:

Bosques altos: vegetación con un estrato de árboles mayor de 20 m de altura y un estrato inferior con elementos entre 10-15 m de altura.

Bosques bajos: vegetación con un estrato de arbolitos de 8-12 m de altura, dominados por una o dos especies.

Matorrales: vegetación arbustiva, con predominio de elementos leñosos.

Pastizal-pajonal: vegetación herbácea dominada por gramíneas. En condiciones originales del paisaje se encuentran en todos los ambientes.

Rosetales: vegetación con un estrato arbustivo emergente conformado por las rosetas de *Vellozia* o de especies de Bromeliaceae.

Herbazal: vegetación baja dominada por especies diferente a los pastos (como Xyridaceae, Eriocaulaceae, Rapataceae, Bromeliaceae y Cyperaceae). Son muy frecuentes en los afloramientos rocosos del escudo Guayanés.

En tal sentido RANGEL-CH. & MINORTA-CELY (2014) sustentan los arreglos florísticos citados a continuación:

1.2.1 Atillanura

Bosque de *Pera arborea*, *Crepidospermum rhoifolium*, especies de *Pouteria* y *Aspidosperma*. Fisionomía-composición (>12 m, pero <25 m): en donde dominan *Protium tenuifolium*, *Crepidospermum rhoifolium*, *Pera arborea* y *Oenocarpus bataua*; también aparecen individuos de *Socratea exorrhiza* (Ver Figura 2). En el estrato de arbolitos dominan *Pera arborea*, *Calliandra surinamensis*, *Guatteria cargadero*, *Himatanthus articulatus*, *Oenocarpus bataua* y *Socratea exorrhiza* junto con especies de *Brosimum* e *Inga*. También es frecuente *Astrocaryum chambira*. En los estratos inferiores (arbustivo - herbáceo) abundan los individuos de *Bactris cubaro* e individuos jóvenes de *Guarea kunthiana* y de especies de *Eugenia* y de *Clidemia*.

Según BLYDENSTEIN *et al.* (1965) la densidad arbórea era de 43 árboles por ha. y en varios sitios se identificó abundancia de *Selaginella*. Localidades representativas: Al Sur de los ríos Casibare, Melua, Uva, San Vicente y Mielón. Entre los ríos Ariari y Guayabero; al Sur del río Guaviare, en el sitio Horizontes.

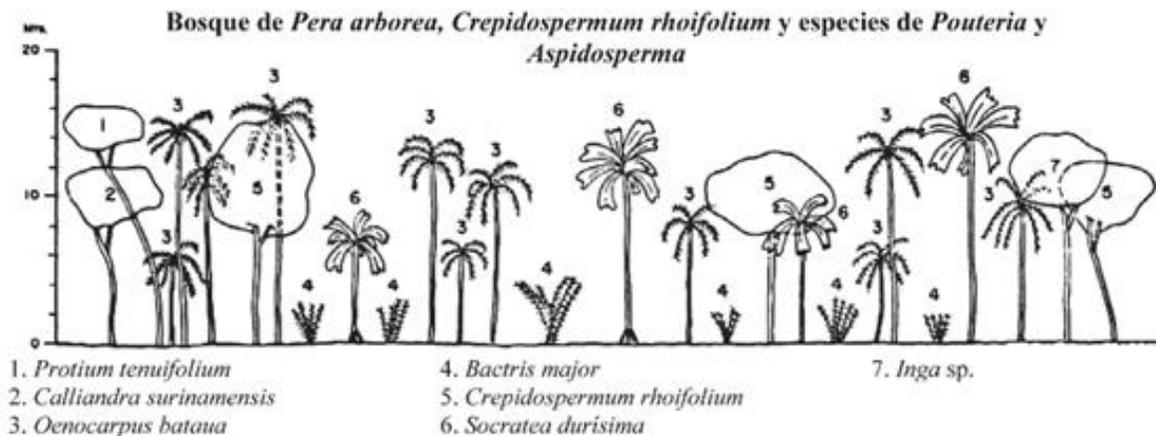


Figura 2. Bosque de *Pera arborea*, *Crepidospermum rhoifolium*, especies de *Pouteria* y *Aspidosperma*. Perfil de vegetación boscosa de la Orinoquia colombiana (Tomada de RANGEL CH. & MINORTA-CELY 2014).

Palmar mixto de *Oenocarpus bataua*, *Socratea exorrhiza* y *Astrocaryum vulgare* (bosque de altillanura ondulada y bosque de galería). Fisionomía-composición: En el estrato arbóreo inferior de 15 m dominan las palmeras *Socratea exorrhiza*, *Oenocarpus bataua* y *Astrocaryum vulgare*. Las especies acompañantes son *Crepidospermum rhoifolium*, *Aspidosperma* sp. y *Virola calophylla*. Cerca de los caños de los ríos aumenta la dominancia de las palmeras y aparecen como acompañantes *Attalea butyracea*, *Maximiliana elegans*, y se mantiene el predominio de *Socratea exorrhiza*. Localidades representativas: Sur de la Orinoquia.

Bosque de *Pseudolmedia laevigata*, *Virola elongata* y *Licania apetala*. Fisionomía-composición: Se diferencia un estrato arbóreo inferior en el cual son especies importantes *Guarea guidonia*, *Ocotea* aff. *cymbarum*, *Protium calanense*, *Socratea exorrhiza*, *Brosimum guianense* y *Dendropanax arboreus*. En los estratos bajos (herbáceo) dominan *Heliconia* sp. y *Garcinia (Rheedea) acuminata*. Ecología: en los suelos se presentan niveles altos de materia orgánica, calcio, potasio y nitrógeno (TORRIJOS *et al.* 2001). Localidad representativa: Caño Carimagua, estación biológica de Carimagua (4°27' y 4° 45'N, 71°05' y 71°25'W).

Palmar mixto de *Iriartea deltoidea*, *Protium tenuifolium* y *Schefflera morototonii* (bosque de la llanura disectada, bosques de horizontes), Fisionomía-composición: Palmar mixto de 8 a 10 m; en los sitios menos inclinados alcanzan 18 m, con la dominancia de *Iriartea deltoidea*. Entre las especies acompañantes figuran *Syagrus* sp., *Copaifera canime*, *Cupania americana*, *Miconia rufescens*, *Couma macrocarpa* y especies de *Nectandra*, *Brosimum*, *Virola* y *Cecropia*. Localidad representativa: al Sur de la Orinoquia.

Bosque de *Schefflera morototoni* y especies de *Aspidosperma*, *Nectandra* y *Brosimum* Fisionomía-composición: Presenta un estrato arbóreo superior (>25 m) en el cual dominan *Schefflera morototoni* y especies de *Aspidosperma*, *Nectandra* y *Brosimum*, también figuran palmeras como *Socratea exorrhiza*, *Astrocaryum vulgare* y *Oenocarpus minor*. En los estratos inferiores (arbustivo- herbáceo), las especies más frecuentes son *Calliandra surinamensis*, *Miconia* sp., *Waltheria glomerata* y *Curatella americana*. Localidades representativas: Entre los interfluvios de los ríos Vichada (4° 55'N-67° 50'W) y Guaviare (2° 55'N-73° 14'W) en una longitud superior a los 100 km. Corresponde al bosque de transición entre la vegetación muy húmeda tropical de la Amazonia y la vegetación menos húmeda de la cuenca del Orinoco (8° 37'N-62° 15'W). Al Sur de los ríos Casibare (3° 48'N-72° 18'W), Melua (3° 48'N-72° 18'W), Uva (3° 41'N-70° 03'W), San Vicente, Mielón y entre los ríos Ariari (2° 35'N-72° 47'W) y Guayabero (2° 36'N-72° 47'W) y al Sur del río Guaviare (2° 55'N-73° 14'W).

1.2.2 Llanura Aluvial

Bosque de *Guarea* sp., *Crepidospermum rhoifolium*, *Pera arborea* e *Himatanthus articulatus* (Ver Figura 3. Bosque de *Guarea* sp., *Crepidospermum rhoifolium*, *Pera arborea* e *Himatanthus articulatus*. Perfil de vegetación boscosa de la Orinoquia colombiana (Tomada de RANGEL-CH & MINORTA-CELY 2014).Figura 3). Fisionomía-composición: En el estrato arbóreo alcanzan hasta 20 m, dominan *Guarea* sp., *Crepidospermum rhoifolium*, *Pera arborea*, *Virola sebifera* y especies de *Aspidosperma* y *Brosimum*; es frecuente encontrar palmeras de *Astrocaryum chambira*. En el estrato arbolitos dominan *Virola elongata*, *Himatanthus articulatus*, *Luehea seemannii* y *Pourouma aspera*. En los estratos bajos están las palmas *Oenocarpus bataua* y *Attalea* sp. El número de especies de los estratos altos (arbolitos + árboles) es de 36. Según BLYDENSTEIN *et al.* (1962) cubría una superficie aproximada de 45.000 ha, la densidad arbórea, con 68.8 árboles por ha. Localidades representativas: terrazas bajas a ambos lados del río Guaviare (2° 55'N- 73° 14'W) y en sus principales tributarios los ríos Ariari (2° 35'N-72° 47'W) y Güéjar (2° 55'N-73° 14'W) en un nivel superior al de las vegas de estos ríos. Los suelos donde se establece este bosque son bien drenados (BLYDENSTEIN *et al.* 1962, en FAO 1965).

Bosque de *Pera arborea*, *Schefflera morototoni* y especies de *Pouteria* y *Dacryodes* Fisionomía-composición: Bosque bien desarrollado con *Schefflera morototoni* y *Pouteria* sp.; como especies asociadas *Iryanthera laevis*, *Himatanthus articulatus*, *Calophyllum brasiliense* (*lucidum*) y *Nectandra* sp. Localidad representativa: Paisaje de llanura aluvial, vega del río Arauca.

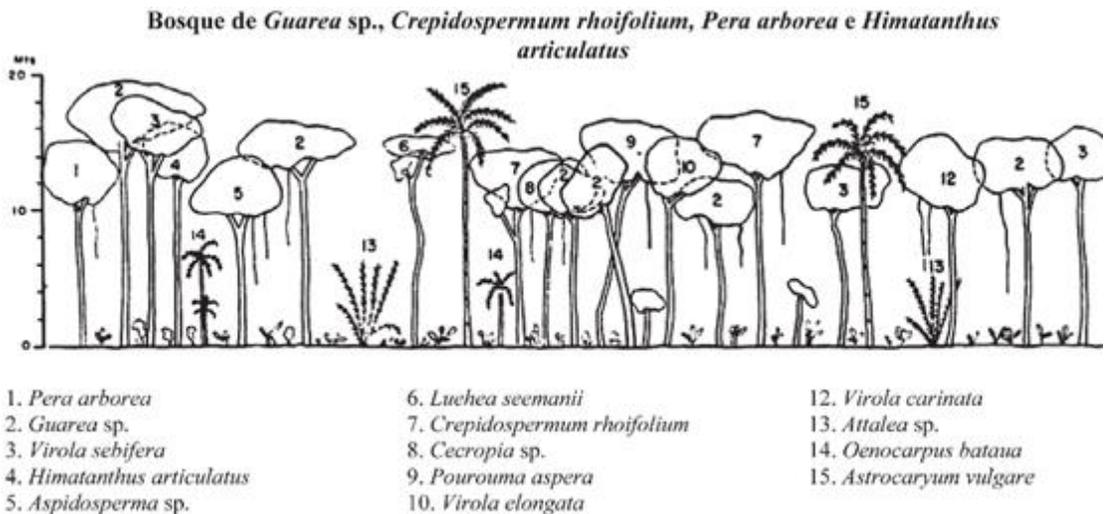


Figura 3. Bosque de *Guarea* sp., *Crepidospermum rhoifolium*, *Pera arborea* e *Himatanthus articulatus*. Perfil de vegetación boscosa de la Orinoquia colombiana (Tomada de RANGEL-CH & MINORTA-CELY 2014).

Bosque alto con *Pseudolmedia laevigata*, *Pouteria caimito* y *Luehea seemanii*
 Fisionomía-composición: En el estrato arbóreo superior cobertura aprox. 45% y árboles mayores a 25 m, como *Pseudolmedia laevigata*, *Pouteria caimito* y *Brosimum* sp. En el estrato arbóreo inferior (12-25 m) están *Luehea seemanii*, *Manilkara bidentata* y *Socratea exorrhiza*; otras especies como *Spondias mombin* y *Attalea butyracea* (Ver Figura 4). En el estrato arbolitos se encuentran *Socratea exorrhiza* junto con *Manilkara bidentata*. En el estrato herbáceo *Heliconia bihai* y *H. psittacorum*. Otras especies asociadas son *Triplaris colombiana*, *Apeiba aspera*, *Guarea guidonia*, *Symplocos amplifolia* e *Hymenaea courbaril*.

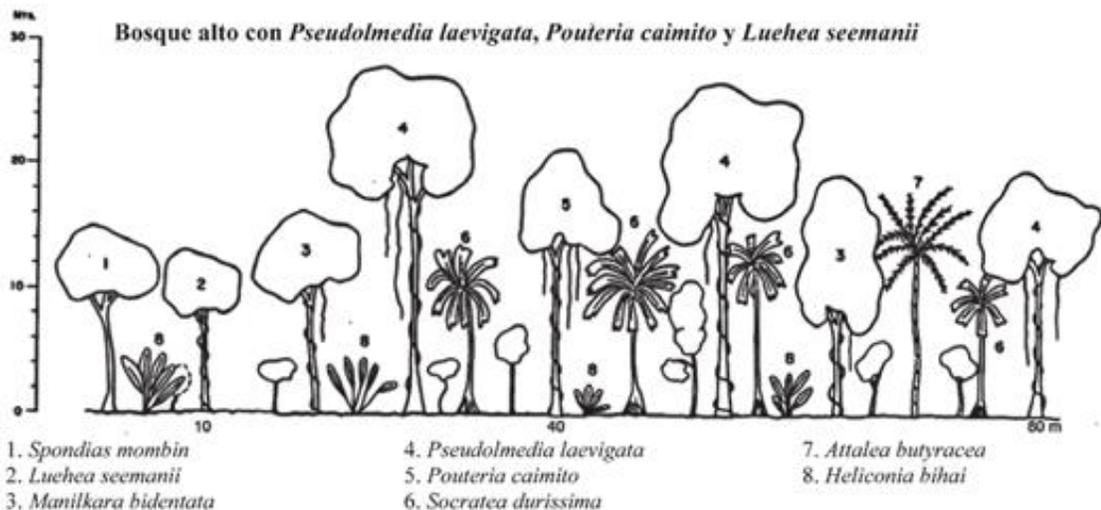


Figura 4 Bosque alto con *Pseudolmedia laevigata*, *Pouteria caimito* y *Luehea seemanii*. Perfil de vegetación boscosa de la Orinoquia colombiana (Tomada de RANGEL-CH & MINORTA-CELY 2014).

Bosque bajo con *Cecropia peltata*, *Spondias mombin* y *Socratea exorrhiza*. Fisionomía-composición: Bosque con tres estratos (Ver **Figura 5**). En el arbóreo inferior, alcanzan 18 m y dominan *Spondias mombim*, *Luehea seemannii*, *Ceiba pentandra* y especies de *Inga*, *Ficus* y *Nectandra*. En el arbóreo inferior domina *Socratea exorrhiza* junto con *Manilkara bidentata*, *Symplocos amplifolia* y *Protium calanense*. Estratos inferiores (arbustivo - herbáceo) *Heliconia bihai* y especies de *Bactris* y *Guadua angustifolia*. En el estrato alto (arbolitos + árboles) hay 33 especies. Localidad: Vega del río Arauca, en sitios bien drenados e igualmente en lugares pantanosos.

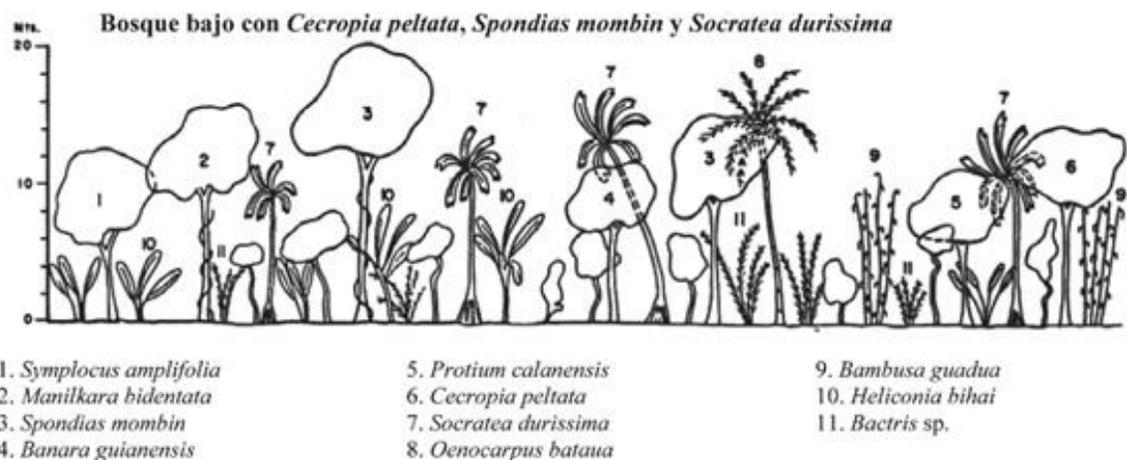


Figura 5. Bosque bajo con *Cecropia peltata*, *Spondias mombin* y *Socratea exorrhiza*. Perfil de vegetación boscosa de la Orinoquia. Tomada de RANGEL-CH & MINORTA-CELY (2014).

Bosque alto con *Crepidospermum rhoifolium*, *Pourouma guianensis* y *Pera* Arbórea. Fisionomía-composición: En el estrato arbóreo superior con elementos hasta 30 m de altura y una cobertura del 40%, dominan *Spondias mombim*, *Calycophyllum brasiliensis* y *Pourouma guianensis*. En el estrato arbóreo inferior con una cobertura del 60% dominan *C. rhoifolium*, *Pouteria* sp., *Luehea seemannii* y *Calycophyllum spruceanum*. En el estrato de arbolitos son frecuentes *Geonoma* sp., *L. seemannii*, *Gutteria goudotiana*, *S. mombin* y *Aspidosperma* sp. En los estratos bajos dominan *Heliconia bihai* junto con *Pterocarpus* sp. y *C. rhoifolium*. El número de especies de los estratos altos (arbolitos + árboles) es de 49. Distribución: Franja angosta a lo largo de los ríos Ariari (2° 35'N-72° 47'W) y Güéjar (2° 55'N-73° 14'W); vega del río Guaviare (2° 55'N-73° 14'W).

Bosque bajo con *Caraipa llanorum* y especies de *Aspidosperma* y *Pouteria*. Fisionomía-composición: En el estrato arbóreo inferior dominan *Aspidosperma* sp., *Caraipa llanorum* y *Pouteria* sp. (Ver Figura 6) La riqueza (10 especies) y los aspectos de la estructura presentan valores muy bajos en comparación con los del bosque alto. Otras especies asociadas son *Rinorea macrocarpa*, *Pera arborea*,

Guarea sp., *Clidemia* sp., *Machaerium capote*, *Protium tenuifolium* y *Jacaranda* cf. *copaia*. Distribución: Vega del río Guaviare, sitios bien drenados y en antiguos lechos de caños (BLYDENSTEIN et al. 1962, en FAO, 1965).

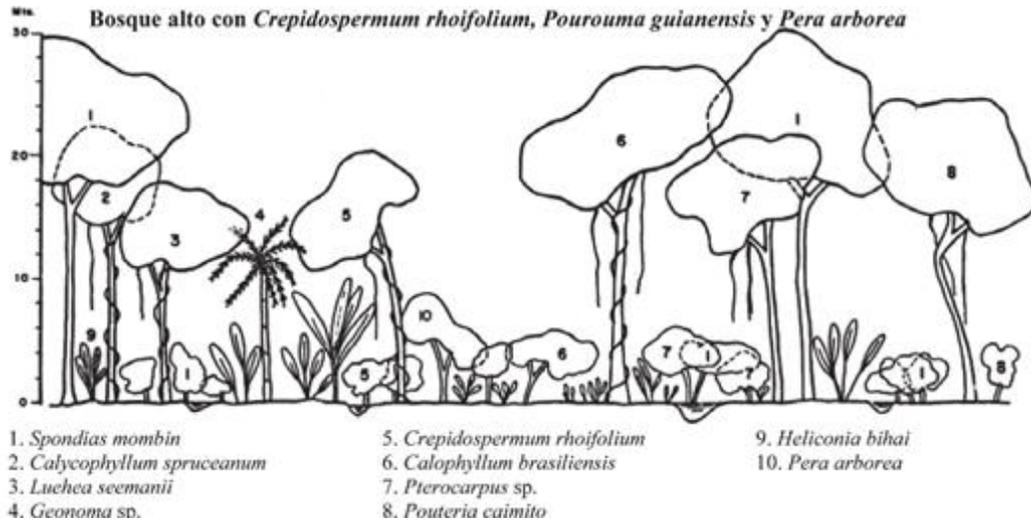


Figura 6. Bosque alto con *Crepidospermum rhoifolium*, *Pourouma guianensis* y *Pera Arborea*. Perfil de vegetación boscosa de la Orinoquia (Tomada de RANGEL-CH. & MINORTA-CELY 2014).

Bosque de *Caraipa llanorum*. Fisionomía-composición: El estrato arbóreo alcanza los 15 m, con *Caraipa llanorum*, *Jacaranda copaia* y *Brosimum* sp. En los estratos bajos esta *Rhynchospora grandifolia* y *Byttneria jaculifolia*. Localidades representativas: Al Norte de los ríos Pauto (5° 09'N-70° 55'W), y Casanare; A lo largo de los caños de Agua Clara (6° 02'N-69° 53'W), del Perro (5° 56'N-69° 54'W) y Vuelta mala. En el Parque Nacional El Tuparro (5° 34'N-67° 52'W); Vega del río Guaviare (2° 55'N-73° 14'W).

Bosques con *Protium tenuifolium*, *Handroanthus serratifolius*, *Spondias mombin*, *Himatanthus articulatus*, *Socratea exorrhiza* y *Astrocaryum chambira*. Fisionomía-composición: En el estrato arbóreo inferior dominan *Protium tenuifolium*, *Handroanthus serratifolius*, *Calliandra surinamensis* especies de *Virola*, *Pouteria* y *Nectandra* (Ver Figura 7). Otras especies importantes son *S. mombin* e *Himatanthus articulatus*. Se encuentran palmas como *Socratea exorrhiza*, *Astrocaryum chambira* y *Oenocarpus bataua*, acompañan *Catostema alston*, *Vismia baccifera* y especies de *Brosimum* y *Eugenia*. Distribución: Ampliamente distribuida a lo largo de los ríos y los caños de la región, en aluviones recientes, las vegas de los grandes ríos y Caño Camoa (3° 42'N-73° 10'W) cerca de San Martín (Meta) (3° 42' 02"N-73° 42' 08"W).

Bosque de *Nectandra* sp., *Manilkara bidentata* y *Cecropia* cf. *Peltata*. Fisionomía-composición: Presenta un estrato arbóreo inferior hasta de 20 m, con *Nectandra* sp.,

Cecropia cf. *peltata*, *Manilkara bidentata*, *Genipa americana*, *Pseudolmedia laevigata*, *Terminalia amazonia*, *Hieronyma alchornoides* y especies de *Inga*, acompañantes *Cordia alliodora*, *Myrcia splendens* y *Oenocarpus bataua* (Ver Figura 8). En el estrato arbolitos aparecen *Oreopanax* sp., *Myrcia splendens*, *Oenocarpus bataua* y *Socratea exorrhiza*. En los estratos bajos *Geonoma*, *Guadua* y *Heliconia*. Localidad representativa: (Arauca). Zona Norte del río Tame (6° 24'N-71° 35'W).

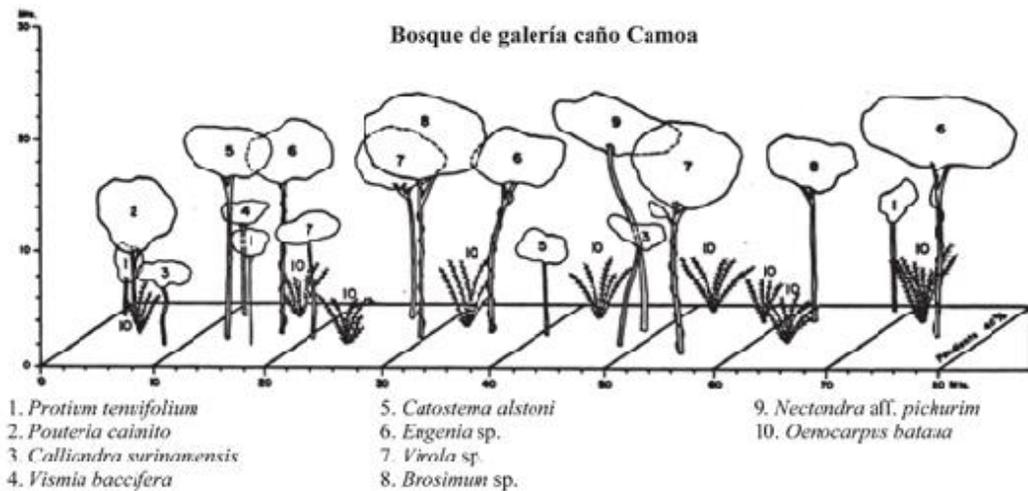


Figura 7. Bosques con *Protium tenuifolium*, *Handroanthus serratifolius*, *Spondias mombin*, *Himatanthus articulatus*, *Socratea exorrhiza* y *Astrocaryum chambira*. Perfil de vegetación boscosa de la Orinoquia. Tomada de RANGEL-CH. & MINORTA-CELY (2014).

Bosque de *Nectandra* sp., *Cecropia* sp., *Pseudolmedia laevigata* y *Chrysophyllum* sp. Fisionomía-composición: Bosques con un estrato arbóreo inferior con elementos que alcanzan 25 m de altura, además de *Pseudolmedia laevigata* y especies de *Cecropia*, *Nectandra* y *Chrysophyllum*, otras dominantes son *Terminalia amazonia*, *Hieronyma alchornoides*. En el estrato de arbolitos dominan las palmeras, especialmente *Attalea butyracea* con más del 40% de cobertura acompañada por *Socratea exorrhiza*. Otras especies asociadas son *Manilkara bidentata*, *Luehea seemannii*, *Guatteria cargadero*, *Symplocos amplifolia* y *Machaerium moritzianum*. En los estratos bajos (arbustivo – herbáceo) son frecuentes *Heliconia bihai*, *Geonoma orbignyana* y las cañas de *Guadua angustifolia*. El número de especies de los estratos altos (arbolitos + árboles) es de 68. Localidad representativa: (Arauca). Zona Norte del río Tame (6° 24'N-71° 35'W).

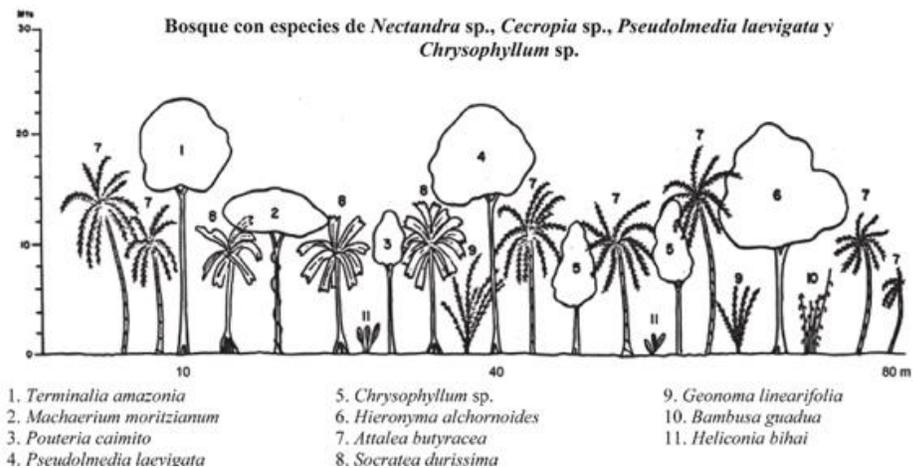


Figura 8. Bosque de *Nectandra* sp., *Cecropia* sp., *Pseudolmedia laevigata* y *Chrysophyllum* sp. Perfil de vegetación boscosa de la Orinoquia. Tomada de RANGEL-CH. & MINORTA-CELY (2014).

Bosque de *Protium calanense* y especies de *Jacaranda*, *Alchornea* e *Inga*
 Fisionomía-composición: El estrato arbóreo inferior alcanza los 21 m con *Alchornea* sp., *M. splendens*, *Terminalia amazonia*, *P. calanense* y *Oenocarpus bataua*, esta alcanza el 50% de cobertura con 18 m. (Ver Figura 9). En el estrato arbolitos se encuentra *Inga*, *Brosimum*, *Nectandra* junto con *Guatteria cargadero* y palmeras como *Socratea exorrhiza* y *Geonoma orbignyana*. En los estratos bajos (arbustivo – herbáceo) con más del 40% de cobertura esta *Geonoma orbignyana*, *Heliconia bihai* y plántulas de *M. splendens*, *G. kunthiana* y *Terminalia amazonia*. El número de especies de los estratos altos (arbolitos + árboles) es de 57. Distribución: Arauca, Fortul. Es la formación vegetal que más área ocupaba en el departamento de Arauca.

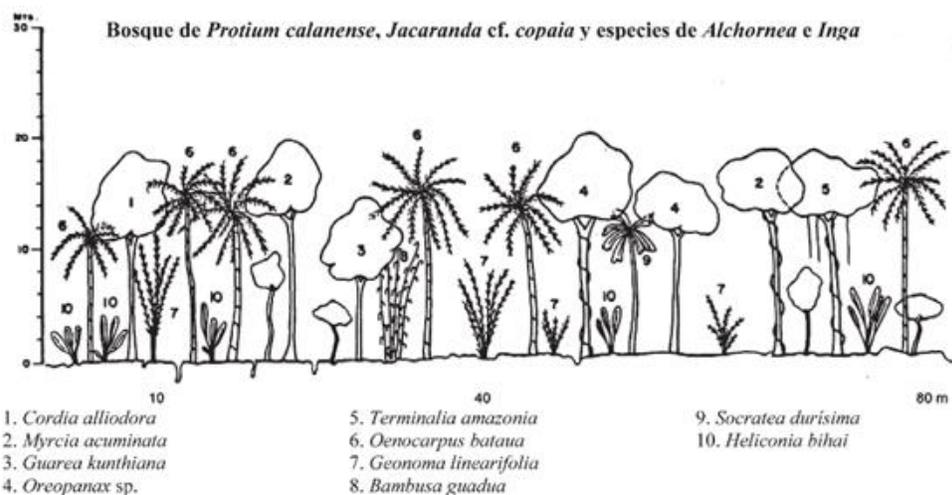


Figura 9. Bosque de *Protium calanense* y especies de *Jacaranda*, *Alchornea* e *Inga*. Perfil de vegetación boscosa de la Orinoquia. Tomada de RANGEL-CH. & MINORTA-CELY (2014).

Bosque de *Hieronyma alchornoides*, *Jacaranda* cf. *copaia* y *Pseudolmedia Laevigata* Fisionomía-composición: En el estrato arbóreo dominan *Hieronyma alchornoides*, *P. laevigata*, *Terminalia*, *amazonia* y *Guarea kunthiana*. En el estrato de arbolitos dominan *M. splendens*, *Sapium glandulosum* y especies de *Inga*, *Miconia* y *Aspidosperma*. El número de especies de los estratos altos (arbolitos + árboles) es de 67. Distribución: Saravena, Arauca.

Bosque bajo con *Casearia sylvestris* y *Miconia rufescens*, Fisionomía: estrato arbolitos entre 12-15 m, bosque de transición con pastizal, o con apariencia de un matorral intervenido, asociado a *M. macrothyrsa*, *Myrcia paivae*, *Waltheria glomerata* y *Xylopia aromatica*. Localidad típica: Médanos de Cravo Norte (6°29'N-70° 39'W).

Palmar de *Acrocomia aculeata* (palma corozo). Fisionomía-composición: Palmar dominado por *Acrocomia aculeata* (palma corozo) asociado a *Annona jahnii*, *Casearia petraea*, *X. aromatica*, *Genipa americana*, *Rudgea sessiliflora*, y *Waltheria glomerata*. BLYDENSTEIN *et al.* en FAO (1965) registro 31 especies con dominio de *Acrocomia aculeata*. Distribución: Abanicos inferiores de la llanura aluvial y en la altillanura.

Palmar de *Mauritia flexuosa* (morichal) (Figura 10). Fisionomía-composición: Palmar dominado por *M. flexuosa*, alcanza 18 m de altura y cobertura del 65%, y el sotobosque con el 50% dominado por la misma especie, acompañada de *Caraipa llanorum*, *C. peltata* y *Protium calanense*. En los estratos bajos, además de *M. flexuosa* están *Alchornea triplinervia*, *Miconia scorpioides* y *Hedyosmum bonplandianum*.



Figura 10. Palmar de *Mauritia flexuosa*. Perfil de vegetación boscosa de la Orinoquia (Tomada de RANGEL-CH. & MINORTA-CELY 2014).

1.2.3 Piedemonte

Bosques de *Pourouma guianensis* y *Rinorea macrocarpa* (RANGEL *et al.* 2008)

Fisionomía-composición: El estrato arbóreo inferior alcanza 18 m, dominan *P. guianensis*, *R. macrocarpa* y especies de *Protium*, *Virola* y *Nectandra*, y en el estrato arbolitos las palmas dominan (*Oenocarpus bataua* y *A. maripa*). Localidad representativa: En las cercanías de la cordillera Oriental, zonas con un régimen de precipitación muy alta que llega hasta 5000 mm, en Acacías (3° 59' 15"N-73° 45' 53"W) (RANGEL-CH. & MINORTA-CELY 2014).

Bosques de *Cassia moschata* (RANGEL *et al.* 2008). Fisionomía-composición: Bosques con un estrato arbóreo superior de escasa cobertura (7%) hasta de 30 m, dominado por *C. moschata*, *Alchornea glandulosa* y *Guarea guidonia*. Estrato arbolitos (50% de cobertura) con *Inga oerstediana*, *Schefflera bogotensis*, *Clidemia dentata* y *Geonoma orbignyana*. En los estratos bajos con *Piper marginatum*, *P. obliquum*, *Psychotria deflexa* y *Besleria* sp. La altura promedio del dosel es 21 m. El número de especies por área de 500 m² es 41, el estrato arbustivo es el más rico en especies. Distribución: entre 500 y 700 m en la vereda Santa Teresita, municipio de Acacías, Meta (RANGEL-CH. & MINORTA-CELY 2014).

Bosque-palmar de *Iriartea deltoidea* y *Enterolobium* sp. Fisionomía-composición: hay un estrato arbóreo inferior del 70% con *I. deltoidea*, *Enterolobium* sp., *Virola* sp. y *Bulnesia arborea*. En el estrato de arbolitos dominan *I. deltoidea*, *Vismia baccifera*, *Schefflera finternata* y especies de *Nectandra*, *Virola* y *Clusia*. En los estratos inferiores *Clavija* sp. Localidad representativa: Zona Sur del piedemonte orinocense, en áreas muy lluviosas (cercanías de San Vicente de Caguán).

Palmares con *Socratea exorrhiza* e *Iriartea deltoidea* Fisionomía-composición: Son importantes las especies de *Socratea exorrhiza*, *Iriartea deltoidea* y *Attalea insignis*. Localidad representativa: Alrededores de El Yopal (5° 21' 06"N-72° 24' 21"W).

Bosques-palmar de *Oenocarpus bataua* y *Hieronyma alchorneoides* Fisionomía: se destaca la abundancia de *Heliconia*. Distribución: Se registró una localidad al norte de río Tame (6° 24'N-71° 35'W) (Arauca) (RANGEL-CH. & MINORTA-CELY 2014).

1.3 Multitemporalidad

El mapeo y monitoreo de la cobertura terrestre, es una de las mayores aplicaciones de la observación de la Tierra, a partir de datos provenientes de sensores satelitales; este monitoreo, ha sido esencial para estimar cambios de coberturas. La detección digital del cambio permite determinar modificaciones asociadas con propiedades de uso y cobertura del suelo (Land-Use y Land-Cover) con referencia de geo-registros de carácter multitemporal provenientes de dos o más datos de sensores remotos sobre un área de estudio (RODRÍGUEZ-GALIANO, GHIMIRE, ROGAN, CHICA-OLMO & RIGOL-SÁNCHEZ 2012).

1.3.1 Cobertura de la Tierra

Es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la Tierra, es una síntesis de muchos procesos, su reflejo presenta la ocupación del planeta (y su transformación) por varios sistemas naturales, modificados o artificiales y en cierta medida sus efectos (DI GREGORIO 2016); en un término amplio, no solamente se describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la Tierra, sino que también se describen otras superficies terrestres como por ejemplo afloramientos rocosos y cuerpos de agua (IDEAM 1997).

1.3.2 Teledetección

La observación remota de la superficie terrestre constituye el marco de estudio de la teledetección o también llamada percepción remota. Es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales y su posterior tratamiento en el contexto de una determinada aplicación o finalidad (CHUVIECO 2002). Para que esta observación remota sea posible es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción (CHUVIECO 1995).

La teledetección se define como aquella técnica que permite obtener información a distancia de los objetos, situados sobre la superficie terrestre y su posterior tratamiento en una determinada aplicación. Los tres principales elementos de todo sistema de teledetección corresponden a: 1. Aquél que permite detectar los objetos ubicados en el espacio (sensor: nuestro ojo y satélites); 2. Los objetos observados (casa, árbol, coberturas, entre otros) y 3. El flujo energético que los permite relacionar y detectar (CHUVIECO 2002).

La percepción o teledetección remota como una ciencia y a la vez como todo un arte de obtener información sobre un objeto, área o fenómeno mediante el análisis de datos adquiridos por un dispositivo que no se encuentra en contacto directo con el objeto, área o fenómeno bajo estudio. Los datos recopilados remotamente pueden corresponder a varias formas de energía, donde se incluye: variaciones de fuerza, ondas de sonido o bien energía electromagnética. Los sensores usualmente empleados en la actualidad son capaces de trabajar captando variaciones de energía electromagnética (LILLESAND & KIEFER 1999).

La detección de energía electromagnética puede llevarse a cabo tanto de manera fotográfica como electrónica. En la primera opción, se emplea una superficie (papel o plástico impregnados) sensible a la luz, a fin de detectar variaciones de energía dentro de una escena. La detección electrónica implica la generación de señales eléctricas que corresponden a variaciones de energía en la escena original. Se asume como convención en la teledetección remota, que una fotografía es el resultado de un proceso fotográfico común (CORONADO 2001).

Se emplea el término imagen para expresar cualquier representación gráfica de datos (LILLESAND & KIEFER 1999). Aunque si bien es cierto, la interpretación visual de imágenes representa una herramienta bastante tratada para la extracción de información de sensores remotos, es posible que, por su relativa simplicidad, deje de lado información inherente a cada rango del espectro captado. En ese caso se prefiere analizar de modo digital las imágenes obtenidas. Una imagen digital está compuesta por un arreglo de dos dimensiones de elementos gráficos o píxeles (del inglés picture elements). La intensidad de cada pixel corresponde al promedio del brillo o reflectancia captada por el sensor sobre un área del suelo. Cada pixel tiene asociado un número digital (DN, del inglés digital number), en el rango de 0 a 255, que son valores enteros positivos resultado de la cuantificación de la señal eléctrica original (LILLESAND & KIEFER 1999).

Dejando de lado el campo de sensores remotos en el ámbito aéreo (fotografías aéreas, radar, laser, etc.), al presente se conocen cerca de 36 diferentes sistemas de satélites en órbita con sensores remotos a bordo. Una variada combinación de características como tipo de sensor, altura, periodo, inclinación y tipo de órbita (sol sincrónico como un caso particular), definen la sensibilidad del sistema (ORTIZ 1999). Esta se define con base a cuatro variables:

- Resolución espacial: específica cual es el área mínima sobre la superficie de la Tierra, para la cual el sensor es capaz de medir la energía reflejada o emitida. Esta resolución es la que permite poder separar e identificar un objeto de su entorno y se expresa en metros.
- Resolución radiométrica: Es la habilidad del sensor para definir pequeñas diferencias de energía.
- Resolución espectral: Es la capacidad del sensor para distinguir energía proveniente de diferentes longitudes de ondas.
- Resolución temporal: Es el lapso necesario para que el satélite portador del sensor cubra nuevamente una misma región de la superficie. Usualmente se expresa en días.

Uno de los aportes más relevantes de la teledetección aplicada al medio ambiente, es la capacidad de seguir procesos dinámicos en una dimensión temporal, debido a que permite recopilar e integrar datos de procedencia satelital. Esta dinámica puede ser analizada a partir de sucesos esporádicos (erupciones e incendios) o procesos continuos (deforestación) en ciclos variados (horas, meses o años) (CHUVIECO 1998).

La dinámica a nivel de coberturas o uso potencial del suelo es evaluada a partir de la detección de cambios en un mosaico paisajístico, con la aplicación de técnicas de clasificación (discriminación de categorías). La identificación de diferencias en tiempo y espacio con imágenes satelitales (representación digital de los tipos de cobertura) puede indicar, sí el paisaje es más o menos homogéneo, producto de

procesos de fragmentación, o heterogéneo según la cohesión espacial de los elementos del paisaje (CHUVIECO 1998; 2007).

Es aquí donde la teledetección, se ha considerado una herramienta transversal a los análisis ambientales y biológicos, puesto que, suministra información de cobertura global (exhaustiva de la superficie terrestre), perspectiva panorámica (altura orbital del satélite que permite detectar grandes extensiones), observación multiescala (amplio rango de cobertura espacial y nivel de detalle), información sobre regiones no visibles del espectro electromagnético (objetos detectados en el infrarrojo medio y térmico) y cobertura repetitiva, como característica orbital de los satélites (disponibilidad de imágenes de satélite de forma periódica), estas características permiten la comparación espacial en el abordaje de la multitemporalidad (CHUVIECO 2002).

La teledetección cuenta con numerosas aplicaciones gracias a las ventajas que ofrece frente a otros medios de observación más convencionales como la fotografía aérea o los trabajos de campo, siendo complementaria. Algunas aplicaciones de esta técnica tienen que ver, con el medio ambiente, actividades agrícolas y forestales, desarrollo urbano, planificación territorial, levantamientos de cobertura y uso de la tierra, análisis multitemporales de algún fenómeno en particular, entre otras (PATIÑO 2015).

A partir de las herramientas de teledetección se crean los datos que se incorporan a los sistemas de información geográfica (SIG) con la combinación de atributos (espaciales y alfanuméricos) almacenados y manipulados (SANABRIA-MARÍN 2007). La combinación de los sensores remotos en el área ambiental y los SIG, que han sido ampliamente utilizados para la generación de mapas temáticos de uso y cobertura terrestre, también se enfocan en la orientación de estrategias de conservación de la biodiversidad (servicios ecosistémicos y el capital natural) y la planeación ambiental (CHUVIECO 1995).

El uso de la teledetección o percepción remota es una herramienta para la observación remota de la superficie donde a través del análisis de patrones de cobertura y uso apoyado SIG (GUERRA-CEREZO 2006), permiten tener una fuente de información importante, con ventajas en relación con costos de los insumos y menor tiempo de preparación de los mismos. El fundamento de la visión sistémica se enmarca en realizar de manera integral e interdisciplinar el análisis de los sistemas naturales a partir de la integración de todos los elementos como un todo, el cual depende de cada uno de estos para su funcionamiento.

Generalmente los estudios del cambio de uso del suelo forestal evalúan la velocidad de la deforestación/reforestación, determinan su extensión geográfica y entienden cuáles son las causas sociales y económicas de los cambios, en las escalas global, regional y local (SKOLE *et al.* 1994; OJIMA *et al.* 1994). El análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la

evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (CHUVIECO 1996). Los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo (LAMBIN 1997). La actividad humana ha sido la gran transformadora del paisaje en los últimos 300 años (AGUAYO *et al.* 2009). En relación con la clasificación de coberturas vegetales obtenidas a través de imágenes de sensores remotos, estas son una excelente base para el cálculo de medidas de paisaje y patrones de cambio, las cuales proporcionan resultados visuales relacionados con el uso específico y condición del suelo, ajustado a la escala de trabajo y objetivos del análisis (BRAVO & RUILOVA 2008).

1.3.3 Sensores Remotos

La observación de la cobertura biofísica de la Tierra se puede realizar a través de sensores remotos entendidos como sistemas o instrumentos para captar información de un objeto a distancia. Los Sensores Remotos son dispositivos que permiten capturar información de los objetos sin tener un contacto directo con ellos, su uso en aplicaciones para el estudio de los recursos naturales tiene una larga trayectoria, dado que proporcionan información confiable sobre superficies extensas con alta precisión y costos razonables (GONZALEZ 2007), para diferentes regiones del espectro y denominadas canal o banda (BUTLER *et al.* 1990).

Es posible dividir el espectro electromagnético de tal manera de que se adapte a las necesidades del usuario. Se define un segmento visible del espectro, que se extiende desde 0.4-0.7 mm. El ojo humano es sensible en este rango del espectro. Dentro de este se establecen tres secciones, correspondientes a los colores primarios. El azul, desde 0.4-0.5 mm; el verde, desde 0.5-0.6 mm; y finalmente el rojo, desde 0.6-0.7 mm. Precediendo al rango del color azul (< 0.4 mm), se presenta la porción ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Posterior al rango del color rojo, sigue la porción asignada al infrarrojo. Este segmento también se divide en tres partes de la siguiente manera: infrarrojo cercano de 0.7-1.3 mm; infrarrojo medio, desde 1.3-3 mm; y finalmente el rango termal, desde 3-14 mm. A partir de longitudes de onda superiores a 1 mm hasta 1 metro, es considerada la porción de microondas del espectro (CCRS 1998; LILLESAND & KIEFER 1999). En la figura 11, se muestra de manera gráfica el espectro de energía electromagnética en función de su longitud de onda y su frecuencia.

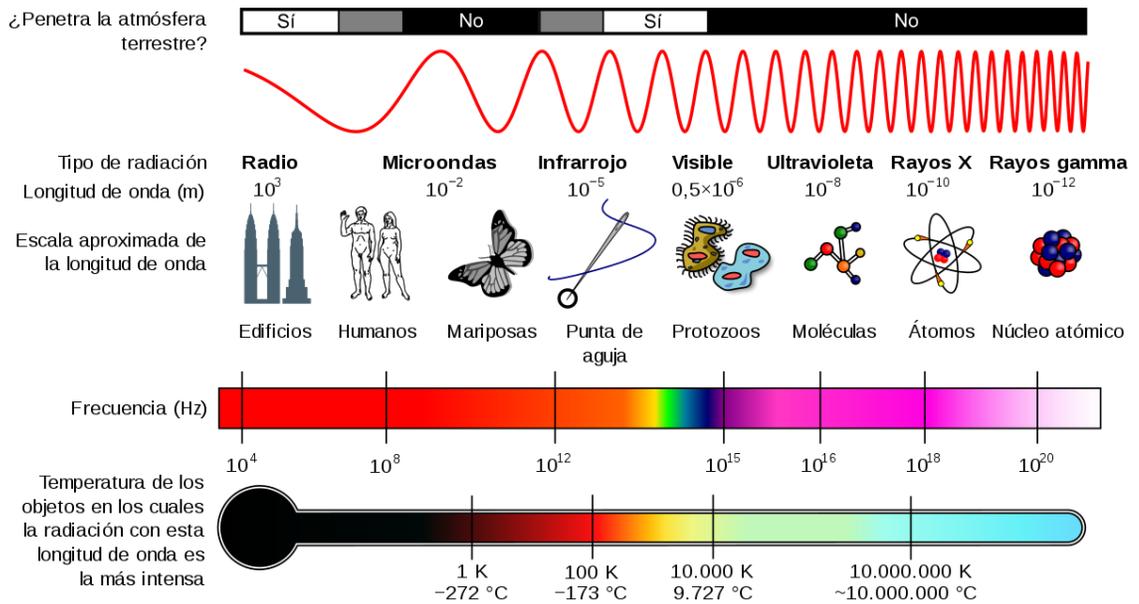


Figura 11. Espectro eletromagnético. *Adaptado de EM_Spectrum3-new.jpg.* Tomado de NASA (2007).

LILLESAND & KIEFER (1999), describen el proceso que se sigue para registrar datos provenientes de fenómenos remotos. Los autores, establecen dos fases elementales del proceso: adquisición de datos y análisis de los mismos. Los elementos que atañen a la primera fase son:

- Propagación de la energía a través de la atmósfera.
- Interacción de la energía con los rasgos de la superficie de la tierra.
- Retransmisión de la energía a través de la atmósfera.
- Nivel de ubicación de los sensores remotos (aéreo o espacial).
- Generación de datos del sensor en forma pictórica o digital.

De manera similar, para la segunda fase del proceso, los elementos constituyentes son:

- Examinar los datos producidos por medio de dispositivos de despliegue de imágenes o bien, a través de análisis digital con computadoras. Dicho paso incluye la utilización de recursos de referencia, tales como mapas de suelos, de topografía, de zonas de vida, de estadísticas de cosechas o bien registros de chequeo en el campo.

Como objetivo, se busca generar información de primer orden acerca de los rasgos registrados remotamente.

- Cada paquete de información generado por los pasos anteriores representa capas de datos a ser ingresados a un Sistema de Información Geográfica (SIG), con el fin de generar nueva y diversa información, que será presentada a los usuarios para su aplicación en la solución de problemas reales (CCRS, 1998; LILLESAND & KIEFER 1999).

El principal insumo en un análisis multitemporal son las imágenes de satélite; en éstas, la unidad mínima de información es el pixel (cada uno de los pequeños cuadros de la imagen), caracterizado por un valor numérico que determina un nivel de gris o de color al combinar tres bandas. Este valor se denomina Nivel Digital (ND) y la intensidad de gris o de color Nivel Visual (NV) (CHUVIECO 1996).

Teniendo en cuenta los datos característicos de cada imagen se procede a hacer el referenciación geográfico de esta, para ello se debe localizar sobre la imagen rasgos identificables sobre un mapa convencional iniciando embalses y cursos de agua más importantes de la zona, seguido de construcciones o edificaciones, luego están los accidentes montañosos y por último las masas de vegetación. Una de las principales ventajas del análisis visual es poder incorporar a la interpretación de imágenes criterios complejos, ya que puede analizar con este análisis la textura, estructura, disposición, muy difíciles de definir en términos digitales (CHUVIECO 1995).

1.3.4 Análisis multitemporal

Se realiza mediante la comparación de coberturas interpretadas en dos o más imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas, y permite evaluar los posibles cambios en las coberturas estudiadas. Por ejemplo, meses del año y años entre sí, diferencias entre clima, entre otros. Es así como un análisis multitemporal es más amplio que el análisis de una sola imagen (CHUVIECO 1996; GÓNIMA 2001; SACRISTÁN-ROMERO 2007; SCANTERRA 2015).

El incremento en el número de imágenes satelitales permite monitorear coberturas terrestres de grandes extensiones sobre intervalos de tiempo regular (FRIEDL *et al.* 2002; RODRÍGUEZ-GALIANO *et al.* 2012).

En el análisis de la transformación del paisaje, las imágenes satelitales se convierten en el insumo básico para la detección de cambios espaciales; éstas permiten la aplicación de métodos cuantificables definidos por sus características, que según MOREIRA & OJEDA (1988) y FRIEDL *et al.* (2002) las “diferencias espectrales entre dos pixeles de fechas diferentes, con formatos homogéneos, información sobre regiones no visibles del espectro y que en conjunto sean analizados estadísticamente”.

Con lanzamiento del satélite LANDSAT-1 el 7-03-1972 se abrió una nueva percepción del planeta con una resolución tanto temporal como espectral

desconocida hasta entonces. Este satélite, dotado de sensores empleados en teledetección, fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres. En base a este objetivo se diseñaron las resoluciones para adaptarse a este fin.

La serie de satélites Landsat, Landsat 1, 2, 3, 4, 5, 6, y 7, desde el año 1972 dan una de las mejores series históricas de la evolución del planeta:

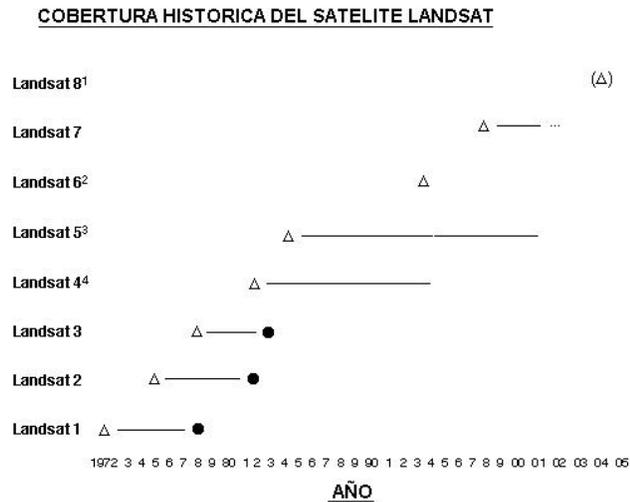


Figura 12. Cobertura histórica del Satélite Landsat, tomado de FERNÁNDEZ-COPPEL (2001).

1.3.5 Sistemas de Información Geográfica

Son herramientas técnicas que junto con los sistemas de percepción remota permiten capturar, observar y monitorear los recursos naturales, así como el almacenamiento y análisis de los resultados de estas observaciones (BOCCO 1998) define a un SIG como un conjunto de programas de computación que permite el acopio, manipulación y transformación de datos espaciales (mapas, imágenes de satélite) y no espaciales (atributos) provenientes de varias fuentes, temporal y espacialmente diferentes.

Se han dado diversas definiciones de SIGs. La primera referencia al término SIG es propuesta por TOMLINSON (1967), referida a una aplicación informática, cuyo objetivo era desarrollar un conjunto de tareas con información geográfica digitalizada. Se trataba del Sistema de Información Geográfica de Canadá (CGIS).

Por su parte, BERRY (1996) años más tarde definió un SIG como un sistema informático diseñado para el manejo, análisis y cartografía de información espacial. Mientras que BURROUGH y MCDONELL (1998), amplían el concepto a un sistema de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar, y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de

objetivos. Para 1990 el NATIONAL CENTER FOR GEOGRAPHIC INFORMATION AND ANALYSIS (NCGIA) de USA, los define como Sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión. Estas definiciones no sólo son consecutivas en el tiempo, sino que además cada una supone un mayor nivel de complejidad sobre la anterior (BOCCO 1998).

Así los SIG son herramientas para crear y manipular datos geográficos. Estos datos pueden ser abióticos (rocas, formas del relieve y suelo); bióticos (flora y fauna); socioeconómicos (capital demográfico, producción, circulación y consumo de bienes), y culturales (cosmovisión comunitaria, toponimia y etnoconocimientos). Gran parte de estos datos existen en formato analógico o digital (mapas censos y encuestas) y otros son creados por la comunidad, donde generalmente se recurre a técnicas de interpretación de fotografías aéreas y/o imágenes de satélite (BOCCO 1998).

A partir de las herramientas de teledetección se crean los datos que se incorporan a los sistemas de información geográfica (SIG) con la combinación de atributos (espaciales y alfanuméricos) almacenados y manipulados (JIMÉNEZ & MORENO 2006). La combinación de los sensores remotos en el área ambiental y los SIG, que han sido ampliamente utilizados para la generación de mapas temáticos de uso y cobertura terrestre, también se enfocan en la orientación de estrategias de conservación de la biodiversidad (servicios ecosistémicos y el capital natural) y la planeación ambiental (CHUVIECO 1995).

ROSETE & BOCCO (2003) reconocen cuatro elementos de los cuales están integrados los SIG: 1) el módulo de entrada de datos (selección y captura); 2) el módulo de manejo de datos (almacenamiento, recuperación y base de datos geográficos); 3) el módulo de análisis de datos (modelamiento, reglas o normas de análisis y monitoreo) y 4) el módulo de salida de la información (productos generados e intermedios o finales) (LUNA-FERNÁNDEZ 2011).

Los SIG son importantes porque integran información espacial y no espacial en un sistema simple, ofreciendo un marco consistente para el análisis de los datos geográficos. Su objetivo general, es generar información válida para la toma de decisiones. Mientras que sus objetivos específicos, son manejar bases de datos grandes y heterogéneas referenciadas geográficamente, interrogar a las bases de datos sobre la existencia de ciertos fenómenos (qué sucede, en dónde y cuándo), permitir la interacción en forma flexible del sistema y el intérprete, incrementar el conocimiento sobre el fenómeno estudiado e implementar modelos sobre su comportamiento (ROSETE & BOCCO 2003).

Para estudiar y caracterizar los recursos naturales, así como los procesos socioambientales que ocurren en un territorio específico se requiere conocer los aspectos en lo espacial y temporal. Para ello es necesario utilizar el dato geográfico,

es decir, un descriptor del objeto en el espacio y tiempo. Estos datos geográficos pueden ser de índole biofísica (ecogeográfica) como socioeconómica y cultural. De esta manera, los datos geográficos permiten describir en forma integral los recursos naturales de una comunidad, sus usuarios y el resultado de este aprovechamiento. Además, los datos geográficos expresan en forma computarizada, la relación que en toda comunidad existe entre la oferta ambiental, así como la demanda social en un tiempo y espacio determinado (BOCCO 1998).

La inclusión de información espacial y temática permite llevar a cabo consultas de diversos tipos, desde las más simples a las más complejas, así como ejecutar modelos cartográficos o dinámicos. La mayor utilidad de un sistema de información geográfico está relacionada con la capacidad que posee de construir modelos de simulación o representaciones del mundo real para analizar fenómenos específicos a partir de bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos y herramientas específicas que generan aún más información para dicho análisis (LUNA-FERNÁNDEZ 2011).

1.4 Finalidad de la Investigación

El elevado crecimiento poblacional ha cambiado significativamente el uso del suelo y ha ocasionado la pérdida de cobertura vegetal, entre otros problemas. La expansión demográfica, el aumento de la población y la falta de planificación territorial son considerados como las principales causas. Además, el cambio del uso del suelo provoca cambios en el paisaje (MARTÍNEZ & RUIZ-ORJUELA 2016).

La Orinoquia es una vasta región que cubre aproximadamente un tercio del territorio nacional. Tiene una baja densidad poblacional y un producto interno bruto dominado por la producción de hidrocarburos y ganadería. La actividad agropecuaria, aunque altamente visible, es modesta con respecto al área regional y tiende al monocultivo en grandes zonas, con tendencia al enclave (BENAVIDES 2010). Los bosques de galería de los Llanos Orientales colombianos son importantes reservorios de biodiversidad a nivel mundial, como resultado de la poca superficie ocupada y de su alta heterogeneidad estructural y funcional (CORREA & STEVENSON 2010). Pese a la importancia que tienen estos ecosistemas han sido deteriorados ambientalmente tanto por factores globales, como por factores antrópicos regionales entre los que se destacan la deforestación, quema, industria y ampliación de la frontera agrícola (FORMAN 1995; FORMAN & GODRON 1986). Con el propósito de generar un soporte argumentado se presenta este estudio titulado **“Análisis multitemporal de la cobertura boscosa de la Subzona Hidrográfica Río Pauto, Casanare, Colombia”**.

Las investigaciones sobre coberturas vegetales a nivel espaciotemporal permiten identificar los actores que intervienen en los cambios del paisaje y como la vegetación de un espacio natural, junto con las herramientas espaciales, permiten

identificar el estado actual de la biodiversidad en un área dada. Este tipo de estudios, tratan el análisis de cambios de las coberturas, también pretende interpretar las causas humanas como agentes modificadores del paisaje (GIL-LEGUIZAMÓN & MORALES-P. 2015).

La finalidad del proyecto de investigación de tipo descriptivo es determinar los cambios presentados en las cubiertas boscosas de la Subzona Hidrográfica del río Pauto (IDEAM 2013), con limitación de cuota máxima de 500 m altitudinales, de acuerdo con la localización geográfica orinoquense propuesta por RANGEL *et al.* (1995), en el periodo de tiempo comprendido entre 1972 y 2017, con miras a conocer la tendencia del recurso en el tiempo. En consecuencia, se formularon los objetivos citados a continuación:

1.4.1 Objetivo General

Realizar análisis multitemporal para identificar la transformación de la cubierta boscosa en la Subzona Hidrográfica del río Pauto en periodo de 45 años (1972-2017).

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Determinar el estado del conocimiento de las formaciones boscosas localizadas en la Subzona Hidrográfica del río Pauto.
2. Identificar la transición de cubiertas boscosas a herbazales, patizales, cuerpos de agua, zona urbana y agricultura.
3. Estimar la tasa de deforestación por año del área de estudio.

1.4.3 Capítulos de este proyecto

CAPITULO 1. ORINOQUIA, FORMACIONES BOSCOSAS Y MULTITEMPORALIDAD. Incluye información conceptual sobre la Orinoquia, estudios de flora, vegetación y base conceptual del análisis multitemporal.

CAPITULO 2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LOS BOSQUES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PAUTO. Presenta una revisión de los estudios florísticos y de vegetación realizados en la Subzona hidrográfica del río Pauto, con las especies con mayor dominancia, frecuencia e importancia ecológica, a su vez, se identifican arreglos florísticos que componen las coberturas boscosas estudiadas.

CAPITULO 3. CAMBIOS EN LAS CUBIERTAS BOSCOSAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PAUTO. Se presenta la determinación de coberturas para el año 2017 y el análisis de cambios y transformaciones con base en el año 1972, se estima la tasa de deforestación por año y su tendencia.

1.4.4 Productos generados a partir de esta Tesis de Maestría.

Trabajos presentados en eventos.

Ricaurte-Avella H.M. 2017. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA BOSCOsa DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RÍO PAUTO. XI Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. La Habana, Cuba.

Ricaurte-Avella H.M. 2018. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA BOSCOsa DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RÍO PAUTO. Simposio Ríos de la Orinoquia, Puerto Carreño Vichada.

Ricaurte-Avella H.M. 2017. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA BOSCOsa SUBZONA HIDROGRÁFICA RÍO PAUTO. Congreso Internacional en Desarrollo Rural Sustentable. Universidad Nacional de Colombia - UNAL.

Artículos

Ricaurte-Avella H.M. 2017. REVISIÓN SOBRE ESTUDIOS DE COBERTURA BOSCOsa DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RÍO PAUTO (en elaboración, Revista Facultad de Ingeniería - UPTC).

Ricaurte-Avella H.M. 2017. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA CUBIERTAS BOSCOsas DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RÍO PAUTO.

1.4.5 Financiación del Proyecto.

El presente estudio fue financiado por la **Fundación Morichales de Colombia** (www.morichales.org).

CAPITULO II

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LOS BOSQUES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PAUTO

La vegetación es la resultante de la acción de los factores ambientales sobre el conjunto interactuante de las especies que cohabitan en un espacio continuo, refleja el clima, la naturaleza del suelo, la disponibilidad de agua y de nutrientes, así como los factores antrópicos y bióticos. A su vez, la vegetación modifica algunos de los factores del ambiente. Los componentes del sistema, la vegetación y el ambiente, evolucionan paralelamente a lo largo del tiempo, evidenciando cambios rápidos en las primeras etapas de desarrollo y más lentos a medida que alcanzan su madurez (MATTEUCCI & COLMA 1982).

Los bosques bajo ordenación sostenible tienen muchas funciones socioeconómicas y ambientales importantes a nivel mundial, nacional y local; también desempeñan un papel fundamental en el desarrollo sostenible. El poder disponer de información fiable y actualizada sobre la situación de los recursos forestales es esencial para la toma de decisiones en el ámbito de las políticas y los programas a todos los niveles del desarrollo sostenible (FAO 2010).

Los inventarios describen la estructura y función de la vegetación para su aplicación en el uso y manejo de la misma (ÁLVAREZ *et al.* 2006). Los estudios enfocados en conocer y responder a patrones de distribución y dominancia de comunidades vegetales se centran en análisis estructurales y de composición. La estructura (fisonomía vegetal), busca diferenciar las especies más abundantes, con mayor densidad y frecuencia (también llamados parámetros ecológicos); la composición, pretende identificar conjuntos de especies que definen patrones de asociación o comunidades, ligados a valores de diversidad y riqueza (GENTRY 1988; RANGEL-CH. & VELÁSQUEZ 1997).

En la Orinoquia gracias a las contribuciones realizadas por RANGEL-CH. & MINORTA-CELY (2014), es posible agrupar diversas asociaciones florísticas en formaciones vegetales, favoreciendo el estudio e interpretación funcional de los bosques, su importancia y grado de conservación.

En este capítulo se presenta revisión del estado del conocimiento de formaciones boscosas, ubicadas en el área propuesta por el IDEAM (2013), como Subzona Hidrográfica del río Pauto, con limitación de cuota máxima de 500 m, de acuerdo con la localización geográfica orinoquense propuesta por RANGEL *et al.* (1995). La información disponible fue corroborada mediante puntos de control en campo y visita a colecciones dispuestas en herbarios. La revisión de literatura incluye los trabajos realizados por RANGEL-CH. & MINORTA-CELY (2014), CABRERA-

AMAYA (2014) e información procedente de líneas base ambiental de permisos y licencias ambientales en el área de estudio, entre otros. Como insumo para el análisis temporal de las cubiertas boscosas de la SZH del río Pauto.

2.1 ESTUDIOS BOTÁNICOS EN LA ORINOQUÍA

CORREA-GÓMEZ & STEVENSON (2010) estudiaron la diversidad y estructura de la vegetación de tres hectáreas de bosques de galería, asociados a tres cursos de agua que desembocan en el río Tomo (Vichada). En total se encontraron 120 especies, y una diversidad baja en comparación con parcelas de la Amazonía (Fisher promedio = 27,0), resultado que sustenta la menor área ocupada por los bosques de galería, en relación con grandes bloques amazónicos. Para el área estudiada las familias más abundantes son Arecaceae, Annonaceae, Rubiaceae, Bignoniaceae, Moraceae, Burseraceae, Fabaceae, Chrysobalanaceae, Euphorbiaceae y Lauraceae.

LASSO *et al.* (2010) presentan una visión general sobre la flora y la vegetación de la cuenca del río Orinoco. Recientemente, MINORTA-C. (2013) caracterizó la riqueza de espermatófitos en la región colombiana, e incluyó también una caracterización general de los paisajes o subregiones que sigue el patrón básico de GOOSEN (FAO 1965).

RANGEL-CH. *et al.* (1997) realizaron recopilación de términos fisionómicos, fitogeográficos, fisiográficos y geográficos en la que incluyen los bosques altos y bajos de la vega de los ríos Arauca y Guaviare, bosques de galería inundables y no inundables, bosques de rebalse, bosques riparios inundables, no inundables y multiestratificados. A su vez, LASSO (2013) realiza revisión sobre los morichales de la Orinoquia y Amazonia en Colombia y Venezuela, RANGEL-CH. & MINORTA-CELY (2014) realizan estudio sobre los tipos de vegetación en la Orinoquia colombiana, aportando la determinación de grandes formaciones, con base a su fisiografía.

RIVERA-DÍAZ & CABRERA-AMAYA (2016) reportan la composición florística y estructural de los bosques ribereños de la cuenca baja del río Pauto, documentan para el área del presente estudio, 185 especies, 127 géneros y 56 familias; la mayor riqueza florística en las familias Rubiaceae, Moraceae, Myrtaceae, Fabaceae, Bignoniaceae y en los géneros *Ficus*, *Piper*, *Psychotria* e *Inga*.

2.2 LOCALIZACIÓN SUBZONA HIDROGRAFICA RIO PAUTO

Este trabajo se desarrolló en la franja denominada por el IDEAM (2013) como subzona hidrográfica (SZH) del río Pauto (**Figura 13**), en áreas inferiores a los 500 m altitudinales. Con una extensión de 783.284,5 ha., localizada en el departamento

de Casanare en los municipios de Pore, Paz de Ariporo, Trinidad y San Luis de Palenque. A su vez, está dentro la subregión biogeográfica de los llanos bajos inundables y hace parte de la cuenca del río Meta (MACHADO-ALLISON *et al.* 2010).



Figura 13. Área de estudio. Szh río Pauto. “Elaboración propia” Fuente Información (IDEAM 2013).

2.3 BOSQUE DE LA SZH RÍO PAUTO

La flora de la SZH del río Pauto a sido registrada en numerosos inventarios que hacen parte de la línea base ambiental en los procesos de licenciamiento de proyectos industriales (*Figura 14*), se cuenta además, con contribuciones de CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016), quienes caracterizaron la composición florística y aspectos de la estructura de la vegetación en bosques ribereños de la cuenca baja del río Pauto; a su vez, RANGEL-CH. (2014) dedico el volumen XIV de la serie Colombia Biodiversidad Biótica, al estudio de los ecosistemas, flora y vegetación de la Orinoquia. Información base para identificar las coberturas boscosas de la SZH del río Pauto (*Ver Fotografías 1 y 2*).

Como línea base del estudio de impacto ambiental del área de perforación exploratoria llanos 9 de ECOPETROL localizado dentro del área de Influencia de la SZH del río Pauto (*Figura 15*); reporta un total de 2.871 individuos muestreados en 57 parcelas de 0,1 ha, que alcanzan un tamaño de muestra de 5.7 ha. Estos

individuos están representados por 92 especies. Con 43 familias, las más representativas entre ellas son: Arecaceae con 905 individuos/7 géneros, Anacardiaceae (208/3) y Euphorbiaceae (197/7) (ACI PROYECTOS S.A. & ECOPETROL 2011).

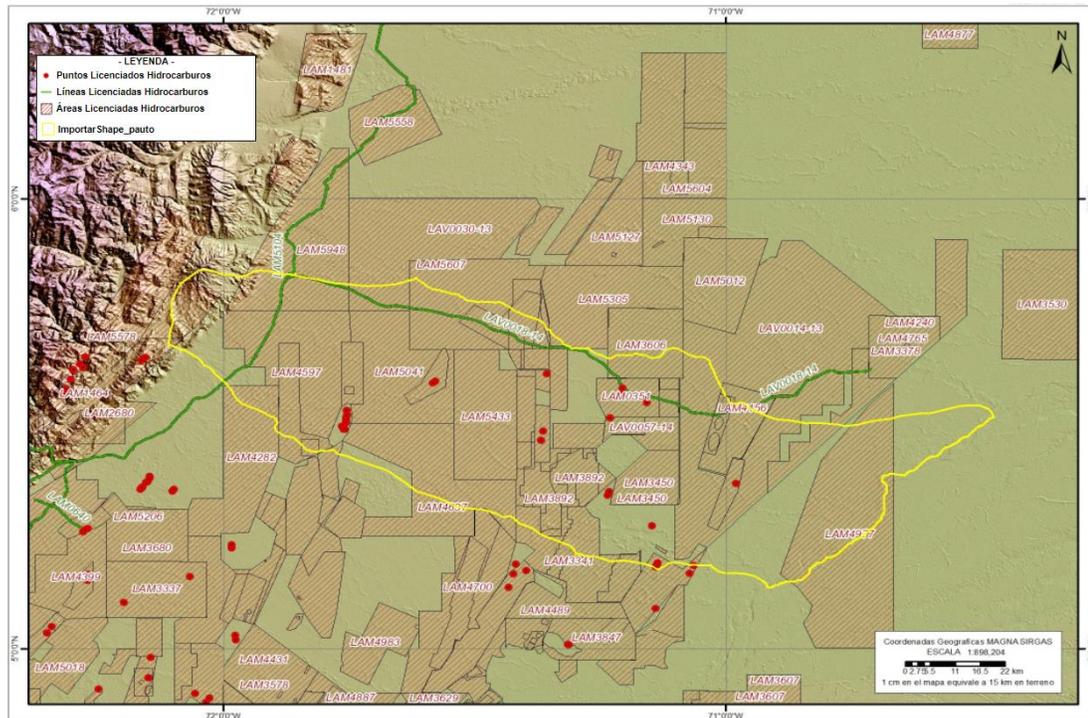


Figura 14. Proyectos Licenciados en la SZH del Río Pauto. “Elaboración propia” Fuente de Información Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

Los resultados obtenidos por ACI PROYECTOS S.A. & ECOPETROL (2011), indican que las especies *Attalea insignis* (Palma real), *Guazuma ulmifolia* (Guácimo), *Trattinickia aspera* (Caraño), *Mauritia flexuosa* (Palma moriche), *Cochlospermum vitifolium* (Bototo) y *Tapirira guianensis* (Quincedias), respectivamente son las más predominantes en el área. Con un 79,50 de Índice de Valor de Importancia (IVI) *Attalea insignis*, se constituye en la más dominante dentro del bosque de galería, se destacan también *Guazuma ulmifolia*, *Mauritia flexuosa*, *Cochlospermum vitifolium* y *Spondias mombin*, con IVI de 10,59, 9,99 y 9,14 respectivamente, además presentan la mayor abundancia, frecuencia y dominancia.

Especies con baja abundancia como *Cordia tetrandra* (Candelero), *Genipa spruceana* (Caruto), *Conarus* sp. (Coloradito), *Tabebuia chrysantha* (Flor Amarillo), *Brosimum calicastrum* (Guaimaro), *Ocotea costulata* (Laurel negro), *Brownea negrensis* (Palacruz), entre otros. El área boscosa muestra un promedio de 504 árboles por ha. con un Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) ≥ 10 cm.

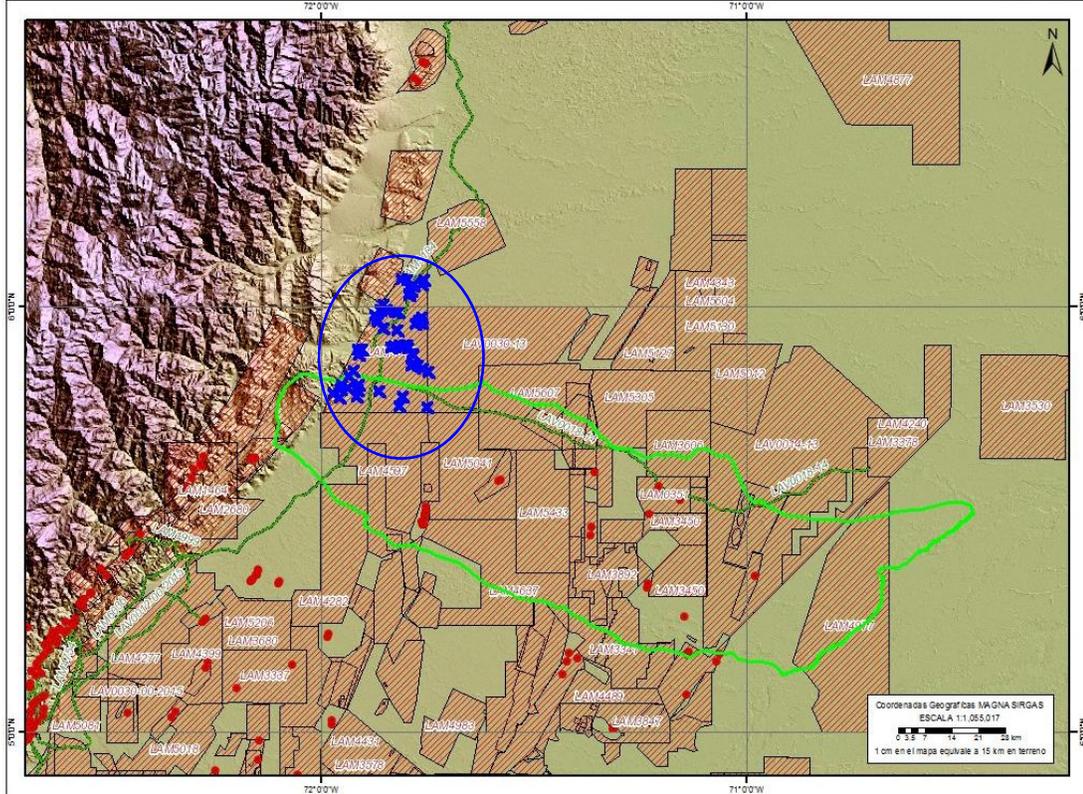


Figura 15. Levantamientos florísticos del estudio de impacto ambiental del área de perforación exploratoria Llanos 9. “Elaboración propia”. Fuente de Información Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

Como línea base del estudio de impacto ambiental del área de perforación exploratoria del bloque llanos 17 de RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED localizado dentro del área de Influencia de la SZH del río Pauto (**Figura 16**), se realizaron 42 parcelas de 0,1 ha. cada una. Se encontraron 125 especies de Arecaceae (33) con alta dominancia y menor abundancia, luego Connaraceae (32), siendo las más abundantes en las parcelas; otras representativas son Sterculiaceae, Myrtaceae, Verbenaceae, Moraceae, y con menos especies, Anacardiaceae, Burseraceae, Polygoniaceae, Euphorbiaceae, Meliaceae, entre otras (UNIÓN TEMPORAL CAIM-MCS & RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED 2010).

Se distinguen dos estratos: el superior (10-18 m) con especies como el guamo (*Inga* sp.), el bototo (*Cochlospermum vitifolium*), el lechero (*Pseudolmedia laevis*), ceiba (*Ceiba pentandra*), palma real (*Attalea insignis*), palma cuesco (*Attalea butyracea*), guarataro (*Vitex orinocensis*), el guácimo (*Guazuma ulmifolia*), la palma sarare (*Syagrus sancona*), matapalo (*Ficus donnell*), el aceite (*Copaifera pubiflora*), el mapurito (*Apuleia leiocarpa*), el candilero (*Cordia tetrandra*), el caño fistol (*Cassia*

moschata), el algarrobo (*Hymenaea courbaril*), el cedro (*Cedrela odorata*), arrayán (*Myrcia* sp.), el yarumo (*Cecropia* sp.), el rabo de pava (*Quina* cf. *macrophylla*), el tortolito (*Vitex* cf. *calothyrsa*), entre otras.

Los estratos arbóreos inferiores presentan alturas entre 2-10 m. con, canilla de venado (*Mabea nítida*), guayabo (*Pouteria* cf. *caimito*) y el pajarito (*Duguetia cauliflora*), que solo se presentan en este estrato. Otras especies son el coloradito (*Connarus* cf. *ruber*), vara santa (*Triplaris americana*), el chirimoyo (*Rollinia edulis*), el manirito (*Annona ambotay*), el guarataro (*Vitex orinocensis*), el resbala mono (*Bursera simaruba*), el guasimo (*Guazuma ulmifolia*), el limoncito (*Siparuna guianensis*), tachuelo (*Zanthoxylum rhoifolium*), el guacharaco (*Cupania cinerea*), perito (*Faramea* cf. *occidentalis*), la palma corozo (*Acrocomia aculeata*), charo (*Brosimum lactescens*), lomo de caimán (*Anadenanthera peregrina*), rabo de pava (*Quiina* cf. *macrophylla*), laurel (*Aniba* sp.), entre otras (UNIÓN TEMPORAL CAIM-MCS & RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED, 2010).

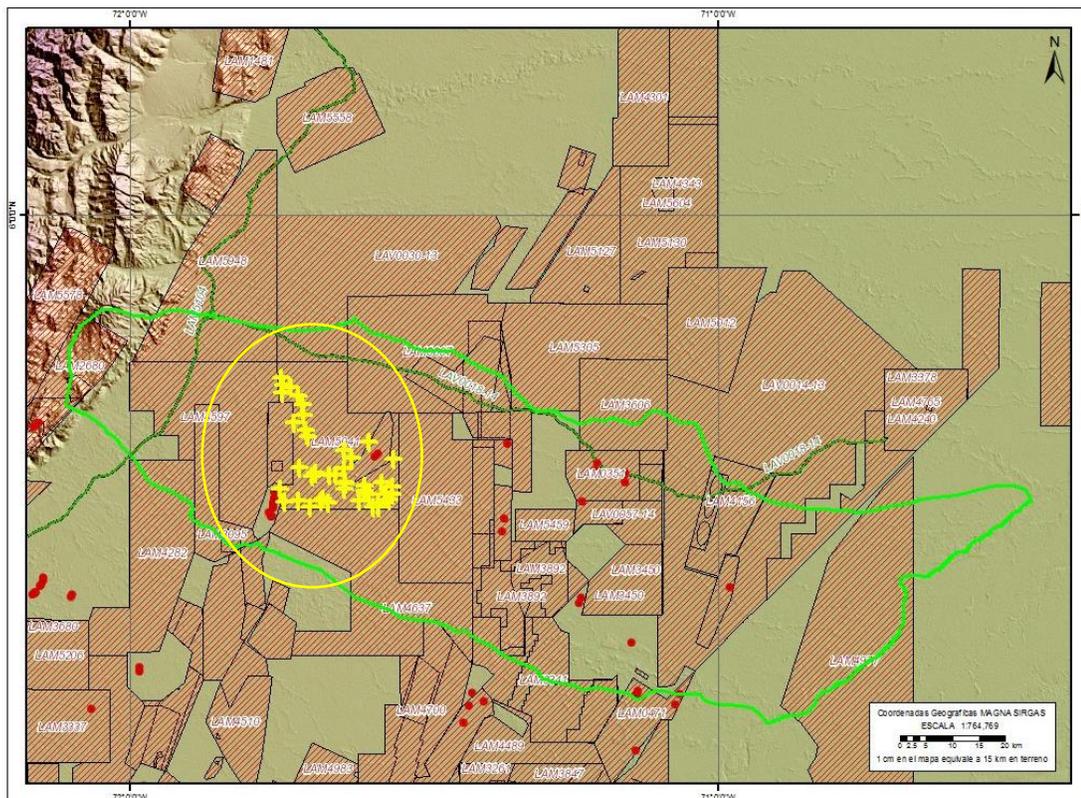


Figura 16. Levantamientos florísticos Estudios de Impacto Ambiental Llanos 17. “Elaboración propia”. Fuente de Información Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

La especie con mayor IVI es el sangrito (*Connarus* sp.) con 26,02, seguida por guasimo (*Guazuma ulmifolia*) con el 24,17 que de acuerdo a LAMPRECHT (1990) corresponde a árboles grandes en pequeños grupos distantes unos de otros, le

sigue guarataro (*Vitex orinocensis*) con 22,02, el arrayán (*Myrcia* sp.) con 21,15, el lechero (*Pseudolmedia laevis*) con 17,39, la palma real (*Attalea insignis*) con 16,61, coloradito con 14,04 de valor (*Connarus* cf. *ruber*), el aceite (*Copaifera pubiflora*) con 10,72, palma cuesco (*Attalea butyracea*) con 9,40, laurel (*Aniba* sp.) con 8,83, guamo 7,92 (*Inga* sp.) hobo (*Spondias mombin*) con 5,75, el chirimoyo (*Rollinia edulis*) con 5,49, el bototo (*Cochlospermum vitifolium*) 4,95, yarumo (*Cecropia* sp.) con 4,94 del valor (UNIÓN TEMPORAL CAIM-MCS & RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED 2010).

Como línea base del estudio de impacto ambiental del área de perforación exploratoria del bloque llanos 40 de RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED localizado dentro del área de Influencia de la SZH del río Pauto (Ver Figura 17), se realizaron 18 parcelas rectangulares de 0,1 ha cada una, distribuidas en los bosques más representativos. En total se identificaron 80 especies en el bosque de galería, con 834 individuos en 1,8 ha inventariadas; el coeficiente de mezcla es de 0,095 lo que significa que por cada 10 individuos es posible encontrar un nuevo registro.

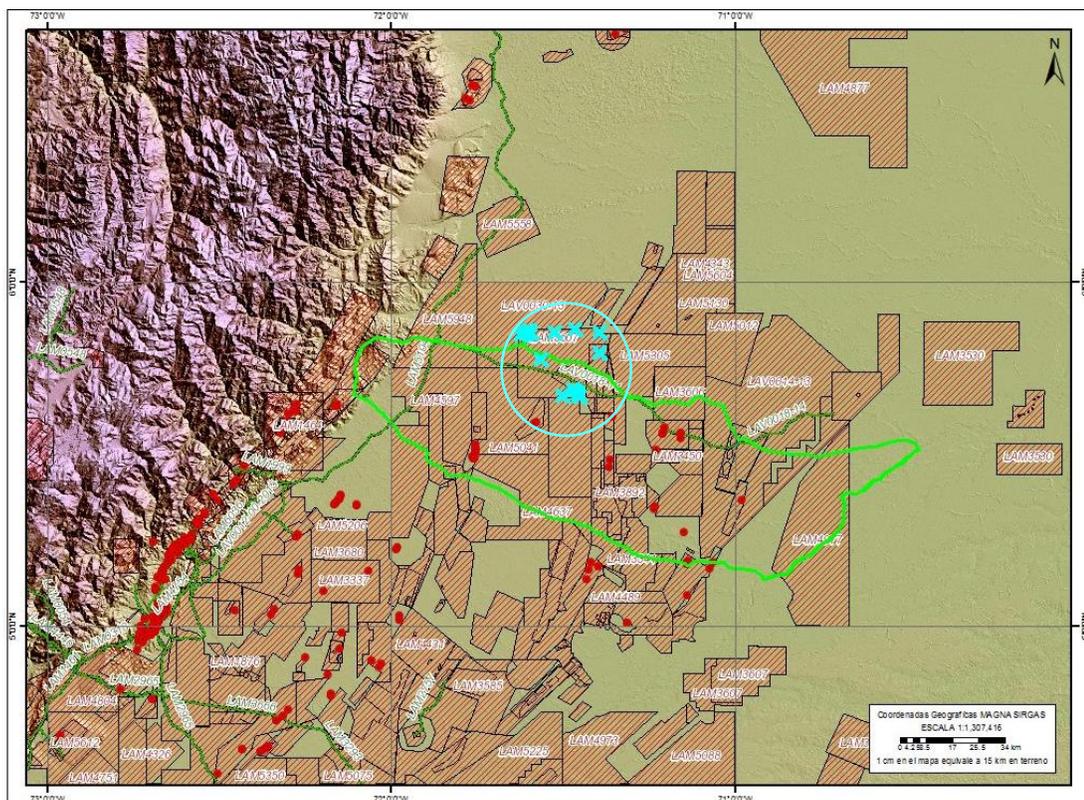


Figura 17. Levantamientos Florísticos Estudios de Impacto Ambiental Llanos 40. “Elaboración propia”. Fuente de Información Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

En los bosques de galería se identificaron individuos de porte fustal, agrupados en 37 familias, 70 géneros y 80 especies. Las familias con mayor número de individuos

fueron Caesalpiniaceae con 93, Meliaceae con 91 individuos, Euphorbiaceae con 64, Sterculiaceae 53, Cochlospermaceae y Arecaceae con 49 individuos, Verbenaceae con 48, Annonaceae con 43 y Anacardiaceae con 40; las demás familias albergan menos de 39 individuos cada una.

La familia con mayor número de especies registradas fue Mimosaceae con siete (7), donde *Inga* sp² (guamo loro) fue la más abundante, con 13 individuos, seguida de la familia Caesalpiniaceae con cinco (5) especies donde la más abundante es *Copaifera pubiflora* (aceite) con 44 individuos; las familias Annonaceae, Arecaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae y Sapindaceae presentan cuatro (4) especies cada una. Las especies con mayor número de individuos son *Guarea guidonia* (trompillo) con 89, *Sapium marmieri* (lechero) con 54, *Cochlospermum vitifolium* (bototo) con 49, *Guazuma ulmifolia* (guácimo) con 46 y *Copaifera pubiflora* (aceite) con 44 individuos (MCS & RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED 2011).

El bosque de galería presenta una densidad promedio de 463 árboles por ha. con un DAP mayor a 10 cm, en donde predominan *Guarea guidonia* (trompillo), *Sapium marmieri* (lechero) y *Copaifera pubiflora* (aceite). Las especies más abundantes fueron *G. guidonea* (trompillo), que posee el 10,67%, *S. marmieri* (lechero) con el 6,47%, *Cochlospermum vitifolium* (bototo) con el 5,88%, *Guazuma ulmifolia* (Guácimo) con el 5,52 %, *Vitex orinocensis* (guarataro) con 5,40% y *C. pubiflora* (aceite) con el 5,28%, constituyéndose como las especies con mayor abundancia. Las especies restantes son menos representativas dentro de la cantidad de individuos que componen el bosque de galería, donde su abundancia varió entre 3,12 y 0,12%.

Las especies con mayor representatividad en frecuencia relativa fueron *Guarea guidonia* (trompillo) que posee el 4,50%, *Sapium marmieri* (lechero) con el 4,15%, el *Cochlospermum vitifolium* (bototo), *Guazuma ulmifolia* (guácimo) y *Spondias mombin* (hobo) con el 3,81% cada una, con frecuencia absoluta entre 60,1 y 80, condición que las cataloga como especies bastante frecuentes dentro de la cobertura. Para el bosque de galería se encontró que la especie que posee la mayor dominancia fue *S. marmieri* (lechero) con un 10,75%, seguida de *C. pubiflora* (aceite) con un 9,55%, *Attalea insignis* (palma real) con 8,63%, *S. mombin* (hobo) con 8,50% y en el quinto lugar el *G. guidonea* (trompillo) con un 7,30%. Las especies restantes registraron dominancias que no sobrepasaron los 5,07% (MCS & RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED 2011).

En orden de importancia le sigue *Sapium marmieri* (lechero) con un 21,38% y el *Copaifera pubiflora* (aceite) con un 17,94% por sus altos valores de frecuencia, abundancia y dominancia en el muestreo, el *S. mombin* (hobo) con un 15,07%, presentó valores bajos de abundancia, pero una buena frecuencia y dominancia relativa; la *Attalea insignis* (Palma real) con 14,05% debido principalmente a sus valores de dominancia, pues es una especie de gran tamaño, pero con abundancias y frecuencias relativamente bajas. El *Cochlospermum vitifolium* (bototo) con

13,14%, *Guazuma ulmifolia* (guácimo) con un 12,97% y el *Vitex orinocensis* (guarataro) con 12,77%, fueron tres (3) especies que presentaron la misma tendencia, abundancias y frecuencias altas, con dominancias bajas. Finalmente, se registró a *Cassia moschata* (cañofistolo) con un 9,36% (MCS & RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED 2011).



Fotografías 1. y 2. Verificación de especies botánicas reportadas en SZH rio Pauto. “Fuente Propia, tomadas 24 y 25 de mayo de 2017”.

Las especies que presentaron un menor IVI fueron *Aiphanes aculeata* (palma mararay), *Pouteria caimito* (caimito), *Citharexylum poeppigii* (totumo montañero) y *Chomelia cf. tenuiflora* (espinito), todas con un IVI reportado de 0,49%, por ser especies con sólo un (1) individuo, muy poco frecuentes y dominantes (MCS & RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED 2011).

En el estudio de impacto ambiental para el licenciamiento del área de perforación exploratoria Llanos 18, realizado por GEOSOCIAL LTDA & LOH ENERGY (2010) se reporta dentro del componente biótico levantamientos realizado en límites con la SZH del río Pauto (Ver Figura 18), en el área se levantaron dos parcelas en zonas que correspondían a bosque denso (caño La Hermosa), donde en la parcela 1, se presentaron siete especies (47 individuos), y la parcela 2, 11 especies (58), los resultados muestra la diferenciación de los estratos como una distribución heterogénea, con la mayor concentración en el estrato inferior.

Se hallaron 120 individuos donde la especie de mayor abundancia es *Vismia glaziovii* (sangrito) seguido del *Vitex orinocensis* (guarataro), *Copaifera pubiflora* (aceite) y el *Guazuma ulmifolia* (guácimo). La especie que presenta mayor abundancia es *Connarus* sp. (sangrito) 42,85% seguida del guarataro con un 23,80%, *Copaifera pubiflora* (aceite) 10,47% y *Genipa caruto* (carutillo) con 7,61%.

La especie que obtuvo el mayor valor de dominancia relativa fue el aceite con un 20,81%, seguido de sangrito con un 17,83%, carutillo con un 17,78% y guarataro con un 15,99% (GEOSOCIAL LTDA & LOH ENERGY 2010), reportan además que de acuerdo al IVI, la especie con mayor peso ecológico para el área inventariada es sangrito un 85,69%, seguido guarataro con un 62,30%, aceite con un 46,29%, carutillo con un 32,90%, y cuero de sapo con un 20,82%.

Para la modificación de la licencia ambiental del bloque Guachiría Sur la empresa C&MA & LEWIS ENERGY (2013) (Figura 19) realizaron levantamiento de información florística en 20 parcelas de 0.1 ha, en donde se registraron 1.186 individuos, perteneciente a 27 familias, de las cuales sobresalen las familias Clusiaceae, Arecaceae y Chrysobalanaceae con mayor número de individuos en el bosque.

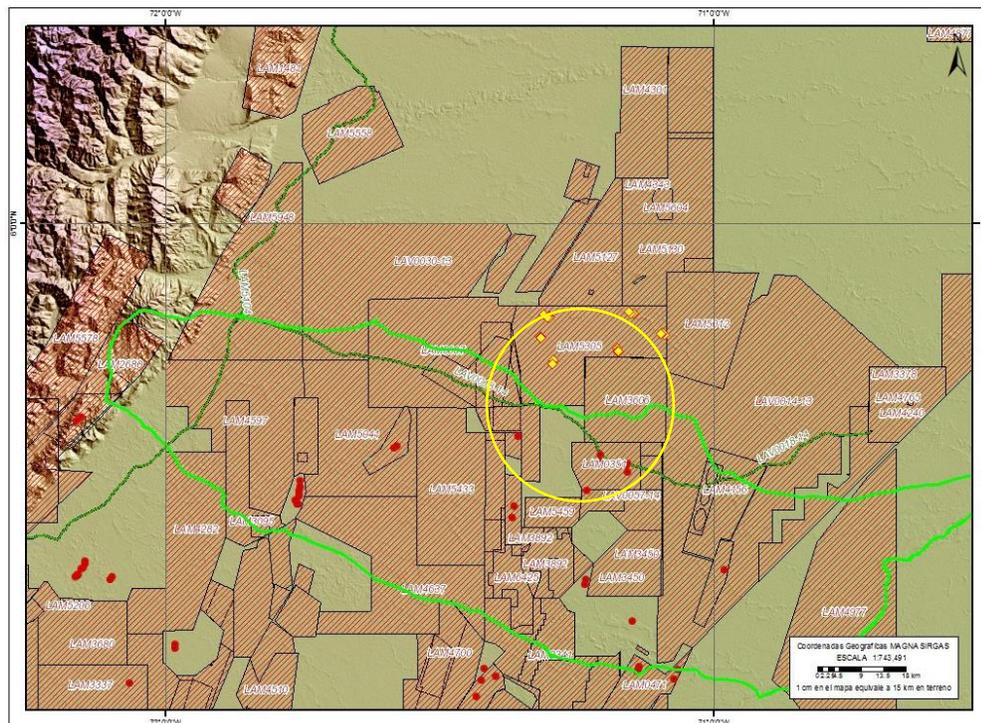


Figura 18. Levantamientos Florísticos Estudios de Impacto Ambiental Llanos 18. “Elaboración propia”. Fuente de Información Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

Las especies dominantes son *Attalea butyracea* (palma real) con 32,67% (24,277m²), *Ficus donnell-smithii* (matapalo) con 11,10% (8,251m²), *Vismia glaziovii* (sangrito) con 9,56% (7,102m²) y *Licania* sp. (cagüi) con 8,59% (6,383m²) dado su alto valor de área basal y representan el 61,927% de los 20.000 m² del área inventariada.

Según el IVI, *A. butyracea* (palma real) con un 55,87% (201 árboles) es la de mayor peso ecológico, seguido de *Vismia glaziovii* (sangrito) con un 42,1% (318) y *Licania* sp. (cagüi) con un 23,089% (104).

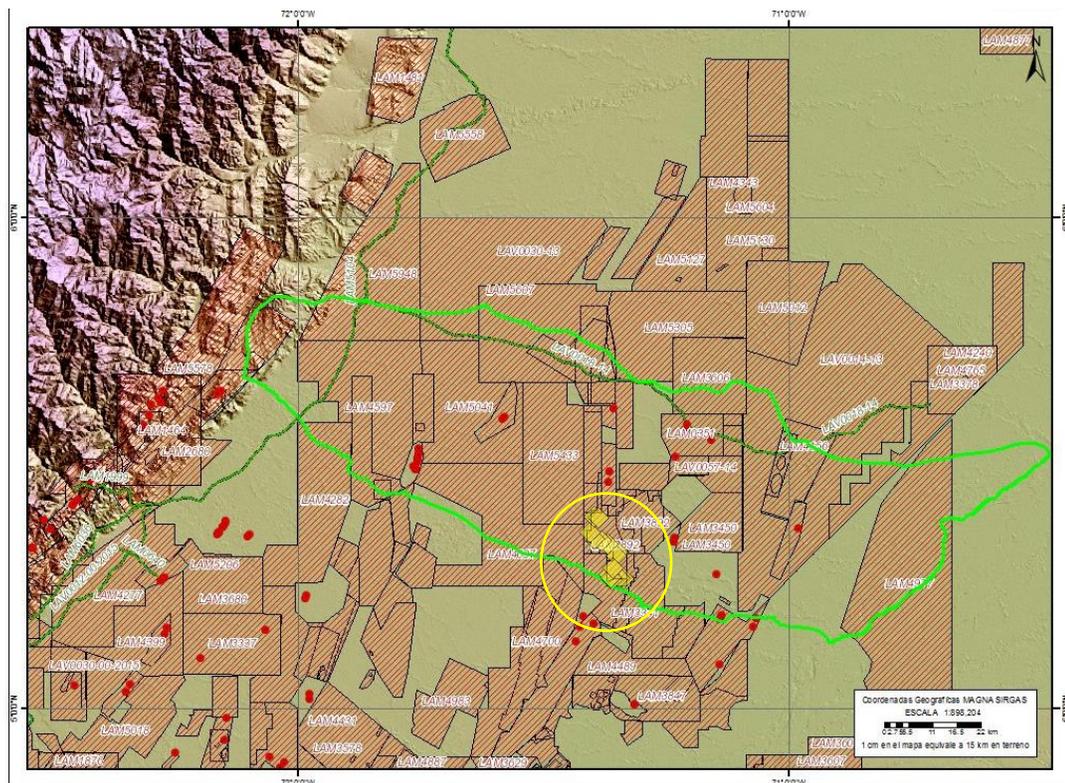


Figura 19. Levantamientos florísticos modificación de la licencia ambiental del bloque Guachiría Sur. “Elaboración propia”. Fuente de Información Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

El estudio de impacto ambiental para el área de perforación exploratoria bloque llanos 20, realizado por las empresas GRADEX & COLUMBUS ENERGY (2009), reporta el levantamiento de nueve parcelas de bosque de 0,1 ha, en las que se desarrolló inventario florístico y estudio de vegetación sustentando que; la especie de Trompillo (*G. guidonia*), es la de mayor abundancia con 40 ejemplares/7.75%, seguida de, Rabo de pava (*Cupania americana*) con 38 ejemplares/7.36%, Guarumo (*C. peltata*), con 32/6.20%, el resto de ejemplares aparecen por debajo de estos valores. Para el análisis de estructura horizontal, GRADEX & COLUMBUS ENERGY (2009) indican que, el Rabo de pava y el Lechero (*S. marmieri*), están en

10 de los muestreos con el 5.18 de frecuencia relativa, el Guamo (*Inga meissneriana*), está en nueve, con 4.66%, Guácimo (*G. ulmifolia*), Guarataro (*Vitex orinocensis var. multiflora*) y Laurel (*Ocotea sp.*), en ocho con un 4.14% del total de la frecuencia relativa, luego aparece las demás especies.

Las especies dominantes corresponde a la Palma real (*A. butyracea*), con el 15.71%, luego Lechero (*S. marmieri*) con el 8.98% de dominancia, Matapalo (*Ficus sp.*) con 6.88%, el resto especies con valores inferiores. El IVI sustenta que la especie de mayor valor ecológico es Guarumo (*Cecropia sp.*) con un 25.3%, Trompillo (*G. guidonia*) con el 24.03% y Lechero (*Sapium marmieri*) con 19.83%, las demás especies con IVI inferior (GRADEX & COLUMBUS ENERGY 2009).

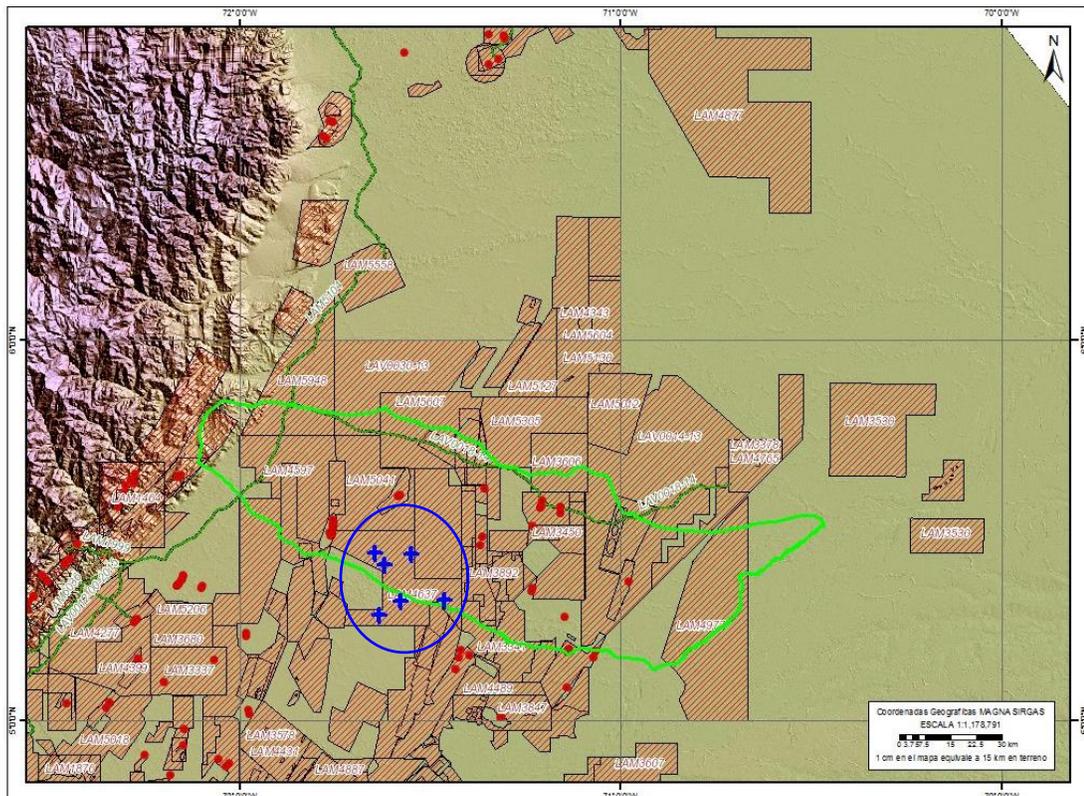


Figura 20. Levantamientos florísticos estudio de impacto ambiental perforación exploratoria bloque llanos 20. “Elaboración propia”. Fuente de Información Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016) realizaron estudio en la cuenca baja del río Pauto (Figura 21), sobre la composición florística y estructura de los bosques ribereños, con parcelas de 0,1 ha., en donde se midió el DAP, la altura total y cobertura de la copa, también, se estimó la riqueza y los valores de importancia por especie y familia. Se estableció una clasificación local de los tipos de bosque, en

términos de clases dimétricas y altimétricas, diagramas estructurales e índice de predominio fisionómico.

Se registraron 185 especies, 127 géneros y 56 familias, siendo las más ricas, Rubiaceae, Moraceae, Myrtaceae, Fabaceae y Bignoniaceae y los géneros *Ficus*, *Piper*, *Psychotria* e *Inga*. Las especies más importantes según su IVI fueron: *A. butyracea*, *Clarisia biflora*, *Sarcaulus brasiliensis*, *Dendropanax arboreus* e *I. interrupta*. La especie con mayor importancia dentro de este paisaje es *Euterpe precatória*, seguida de *M. flexuosa* y *A. butyracea*, que se destacan por su abundancia y sobre todo por su dominancia relativa; *Sloanea terniflora* es igualmente dominante y frecuente que *A. butyracea*, pero con menos individuos. Por otro lado, en el paisaje de Llanura aluvial de desborde, las familias con mayor valor de importancia son Arecaceae, Moraceae, Fabaceae, Sapotaceae y Malvaceae. *A. butyracea* ocupa el primer lugar, dado que se encuentra en todos los tipos de bosque muestreados en la llanura aluvial de desborde; a su vez, es la especie más abundante y la más dominante de este paisaje. Le sigue *C. biflora* y *S. brasiliensis*.

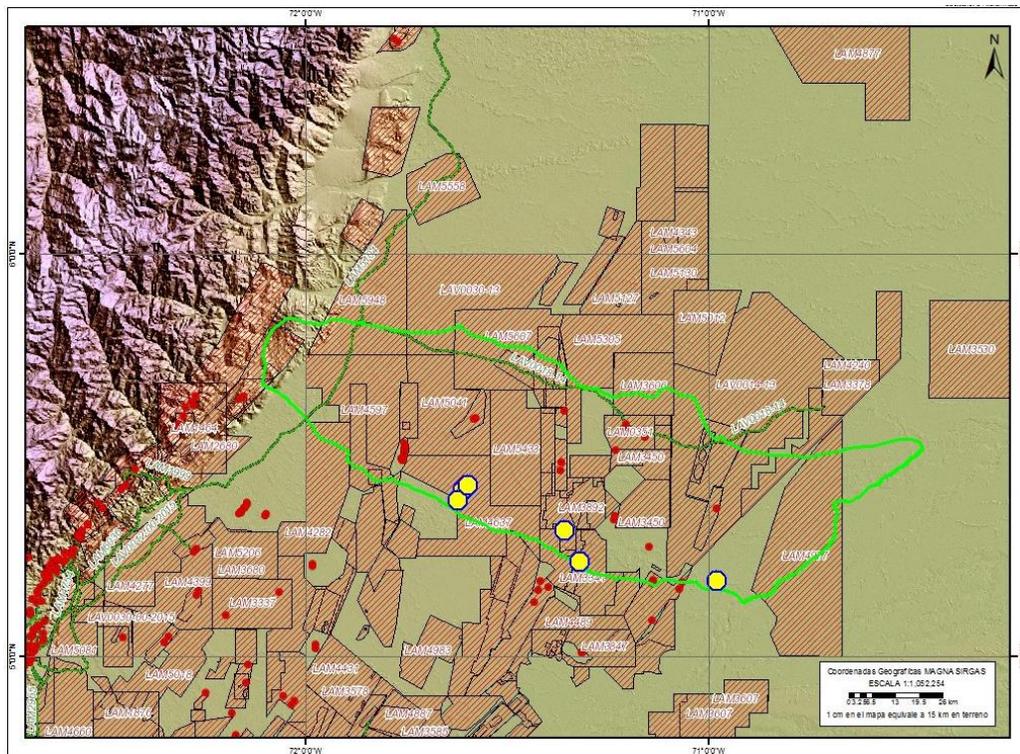


Figura 21. Levantamientos Florísticos CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016), en la SZH del río Pauto. “Elaboración propia”. Fuente de Información Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016) indican registro de seis comunidades en el área de estudio (*Tabla 1*), información que se cita a continuación:

1) Palmar de *M. flexuosa* y *E. precatória* (Morichal). Se encuentran inmersos en la matriz de sabana, hacen parte de una pequeña red de drenaje que comunica las diferentes sabanas hiperestacionales (bajos) y semiestacionales (esteros) de la llanura eólica en la cuenca baja del río Pauto. A esta formación se encuentran asociadas *Psychotria anceps*, *Tococa guianensis*, *Tapirira guianensis*, *Henriettella ovata*, *Xylopia aromatica*, *Bellucia grossularioides*.

2) Bosque de galería de *Copaifera pubiflora* y *Homalium racemosum*, sobre las márgenes de arroyos (caños) tributarios del río Pauto, en el paisaje de llanura eólica de la cuenca baja, con especies asociadas como *Miconia albicans*, *Vismia gracilis*, *Piptocarpha triflora*, *Cathedra acuminata*, *Mabea nitida*, *Croton cuneatus*, *Nectandra pichurim*, *Desmoncus orthacanthos*, *Simaba orinocensis* y *Homalium racemosum*. Se destaca la presencia de *C. pubiflora* y *M. coriacea* como dominantes del dosel.

3) Bosque de vega de *Discocarpus spruceanus* y *Sloanea terniflora*: sobre las vegas del río Meta, en el paisaje de llanura eólica de la cuenca baja del río Pauto, con *Symmeria paniculata*, *Palicourea croceoides*, *Malouetia flavescens*, *Anemopaegma chrysanthum*, *Simira rubescens*, *Aphelandra scabra*, *Tapura acreana*, *Caraipa punctulata*, *Pachyptera kerere*, *Ceiba pentandra*, *iclidanthera bolivarensis* y *Strychnos brachiata*, además de *Bactris major*.

El estrato arbóreo es dominante en el dosel por *Discocarpus spruceanus*, *Sarcaulus brasiliensis* y *A. butyracea*, y cobertura de trepadoras leñosas *Diclidanthera bolivarensis* y *Strychnos brachiata*. En el estrato arbustivo *Sloanea terniflora* y *Sarcaulus brasiliensis* (CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ 2016).

4) Bosque de vega de *Attalea butyracea* y *Garcinia madruno*.

Bosque de vega de *A. butyracea* y *G. madruno*, se localiza sobre las vegas del río, en el paisaje de llanura eólica de la cuenca baja, con acompañantes de *Matayba arborescens*, *Calophyllum brasiliense*, *Vismia macrophylla*, *Dolichandra uncatá*, *L. subaracnophylla*, *Eugenia florida*, *Salacia elliptica*, *Garcinia madruno*, *Hirtella racemosa*, *Lacmellea edulis* (CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ 2016).

La mayor cobertura se presenta en el estrato subarbóreo, con un gran aporte de *A. butyracea*, *P. guianense* y *V. orinocensis*. El estrato arbustivo *A. butyracea*, *G. madruno* y *V. orinocensis* (CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ 2016).

5) Bosque de galería de *A. butyracea* e *Inga interrupta*, se distribuyen en las márgenes de arroyos (caños) tributarios del río, en el paisaje de llanura aluvial de desborde. Especies acompañantes, *Stemmadenia grandiflora*, *Piper anonifolium*, *S. glandulosum*, *I. interrupta*, *Cecropia peltata* y *A. butyracea*. Presentan un dosel alto (10-20 m), se caracterizan por la gran densidad y cobertura de *A. butyracea*, se

destacan en la cobertura del dosel otras especies como *Inga interrupta*, *Spondias mombin* y *Cecropia peltata* (CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ 2016).

6) Bosque de vega *A. butyracea* y *Clarisia biflora*. Se encuentra sobre las vegas del río en el paisaje de llanura aluvial de desborde, en compañía de las especies, *Trichilia pallida*, *Clarisia biflora*, *Faramea capillipes*, *Rourea glabra*, *Bactris major*, con emergentes (>30 m), se destaca *A. butyracea* como la especie con más aporte a la cobertura de los estratos arbóreo y subarbóreo, en el sotobosque se encontraban numerosas palmas acaules de gran envergadura. El estrato arbustivo está representado por *Bactris major* (CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ 2016).

La información florística fue corroborada en campo (Ver Fotografías 3 a 6), en donde se validó el registro de las especies reportadas en las 174 parcelas, comprobando valides y veracidad de la información publicada.



Fotografías 3. a 6. Verificación de especies botánicas reportadas en SZH rio Pauto. "Fuente Propia, tomadas mayo de 2017".

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente revisión, se identificaron 174 levantamientos de información florística realizados en el área de influencia del estudio (Figura 22), registros procedentes de línea base en procesos de licenciamiento ambiental y estudios de investigación de la Orinoquia. En el proceso se registró un total de 135 especies, las especies con mayor abundancia, frecuencia y dominancia fueron: *A. butyracea* (Palma real), seguido de *G. ulmifolia* (Guácimo), *M. flexuosa* (Palma moriche), *C. vitifolium* (Bototo), *S. mobin*, (Jobo), *Connarus cf. ruber* (sangrito), *V. orinocensis* (guarataro), *G. guidonea* (trompillo), *S. marmieri* (lechero), *C. vitifolium* (bototo) y *Jacaranda lasiogyne* (Gualanday) (Tabla 1).

Tabla 1. Las especies con mayor predominio por comunidad en la cuenca baja del río Pauto.

| Especie | D.Abs | AB.Abs | COB.Abs | D.% | AB.% | COB.% | IPF |
|--|-------|--------|---------|------|-------|-------|-------|
| Bosque de vega de <i>Attalea butyracea</i> y <i>Clarisia biflora</i> | | | | | | | |
| <i>Attalea butyracea</i> | 38 | 3,532 | 3555,0 | 10,5 | 34,78 | 50,8 | 96,1 |
| <i>Clarisia biflora</i> | 74 | 2,447 | 1304,1 | 20,5 | 24,10 | 18,6 | 63,2 |
| <i>Sarcaulus brasiliensis</i> | 12 | 2,936 | 450,5 | 3,3 | 28,91 | 6,4 | 38,7 |
| <i>Bactris major</i> | 76 | 0,051 | 149,5 | 21,1 | 0,50 | 2,1 | 23,7 |
| <i>Dendropanax arboreus</i> | 12 | 0,164 | 310,3 | 3,3 | 1,62 | 4,4 | 9,4 |
| <i>Inga punctata</i> | 15 | 0,211 | 195,0 | 4,2 | 2,08 | 2,8 | 9,0 |
| <i>Roystonea oleracea</i> | 5 | 0,245 | 182,5 | 1,4 | 2,41 | 2,6 | 6,4 |
| <i>Guettarda elliptica</i> | 11 | 0,049 | 158,5 | 3,0 | 0,49 | 2,3 | 5,8 |
| <i>Trophis racemosa</i> | 14 | 0,030 | 34,9 | 3,9 | 0,29 | 0,5 | 4,7 |
| <i>Psychotria horizontalis</i> | 11 | 0,001 | 0,0 | 3,0 | 0,01 | 0,0 | 3,1 |
| Bosque de galería de <i>Attalea butyracea</i> e <i>Inga interrupta</i> | | | | | | | |
| <i>Attalea butyracea</i> | 70 | 6,410 | 4712,3 | 11,5 | 54,75 | 42,6 | 108,8 |
| <i>Clarisia biflora</i> | 78 | 0,808 | 847,5 | 12,8 | 6,90 | 7,7 | 27,3 |
| <i>Inga interrupta</i> | 24 | 0,496 | 886,0 | 3,9 | 4,24 | 8,0 | 16,2 |
| <i>Guarea guidonia</i> | 22 | 0,338 | 417,4 | 3,6 | 2,88 | 3,8 | 10,3 |
| <i>Sterculia apetala</i> | 13 | 0,631 | 266,7 | 2,1 | 5,39 | 2,4 | 9,9 |
| <i>Sapium glandulosum</i> | 10 | 0,503 | 316,7 | 1,6 | 4,30 | 2,9 | 8,8 |
| <i>Cecropia peltata</i> | 19 | 0,245 | 342,4 | 3,1 | 2,09 | 3,1 | 8,3 |
| <i>Bactris major</i> | 35 | 0,026 | 221,6 | 5,7 | 0,22 | 2,0 | 8,0 |
| <i>Spondias mombin</i> | 3 | 0,364 | 382,5 | 0,5 | 3,11 | 3,5 | 7,1 |
| <i>Mabea trianae</i> | 27 | 0,104 | 133,3 | 4,4 | 0,89 | 1,2 | 6,5 |
| Bosque de vega de <i>Attalea butyracea</i> y <i>Garcinia madruno</i> | | | | | | | |
| <i>Attalea butyracea</i> | 24 | 2,022 | 705,6 | 15,0 | 58,46 | 47,1 | 120,6 |
| <i>Garcinia madruno</i> | 11 | 0,168 | 105,6 | 6,9 | 4,85 | 7,0 | 18,8 |
| <i>Vitex orinocensis</i> | 3 | 0,418 | 56,5 | 1,9 | 12,09 | 3,8 | 17,7 |
| <i>Mabea trianae</i> | 13 | 0,040 | 62,4 | 8,1 | 1,16 | 4,2 | 13,5 |
| <i>Protium guianense</i> | 5 | 0,073 | 73,0 | 3,1 | 2,10 | 4,9 | 10,1 |
| <i>Inga punctata</i> | 6 | 0,025 | 80,5 | 3,8 | 0,71 | 5,4 | 9,8 |
| <i>Euterpe precatoria</i> | 11 | 0,011 | 12,5 | 6,9 | 0,31 | 0,8 | 8,0 |
| <i>Licania subaracnophylla</i> | 3 | 0,051 | 56,0 | 1,9 | 1,46 | 3,7 | 7,1 |
| <i>Maquira coriácea</i> | 2 | 0,189 | 2,8 | 1,3 | 5,46 | 0,2 | 6,9 |
| <i>Miconia elata</i> | 8 | 0,012 | 23,1 | 5,0 | 0,34 | 1,5 | 6,9 |
| Bosque de vega de <i>Discocarpus spruceanus</i> y <i>Sloanea terniflora</i> | | | | | | | |
| <i>Discocarpus spruceanus</i> | 17 | 0,920 | 666,0 | 12,2 | 24,72 | 35,7 | 72,6 |
| <i>Sloanea terniflora</i> | 3 | 1,769 | 302,8 | 2,2 | 47,53 | 16,2 | 65,9 |
| <i>Sarcaulus brasiliensis</i> | 4 | 0,623 | 188,0 | 2,9 | 16,73 | 10,1 | 29,7 |
| <i>Diclidanthera bolivariensis</i> | 3 | 0,097 | 256,5 | 2,2 | 2,62 | 13,7 | 18,5 |
| <i>Bactris major</i> | 15 | 0,012 | 80,6 | 10,8 | 0,31 | 4,3 | 15,4 |
| <i>Tapura acreana</i> | 8 | 0,038 | 31,5 | 5,8 | 1,01 | 1,7 | 8,5 |
| <i>Tacarcuna amanoifolia</i> | 8 | 0,031 | 25,8 | 5,8 | 0,83 | 1,4 | 8,0 |
| <i>Attalea butyracea</i> | 1 | 0,086 | 50,0 | 0,7 | 2,30 | 2,7 | 5,7 |
| <i>Malouetia flavescens</i> | 6 | 0,013 | 14,1 | 4,3 | 0,36 | 0,8 | 5,4 |
| <i>Strychnos brachiata</i> | 1 | 0,013 | 72,0 | 0,7 | 0,36 | 3,9 | 4,9 |
| Palmar de <i>Mauritia flexuosa</i> y <i>Euterpe precatoria</i> | | | | | | | |
| <i>Euterpe precatoria</i> | 125 | 1,141 | 1323,9 | 40,7 | 34,90 | 48,5 | 124,2 |
| <i>Mauritia flexuosa</i> | 52 | 1,865 | 1063,8 | 16,9 | 57,05 | 39,0 | 113,0 |

| | | | | | | | |
|--|----|-------|-------|------|-------|------|------|
| <i>Henriettella ovata</i> | 73 | 0,115 | 206,0 | 23,8 | 3,51 | 7,6 | 34,8 |
| <i>Xylopia aromatica</i> | 10 | 0,061 | 60,2 | 3,3 | 1,88 | 2,2 | 7,3 |
| <i>Virola surinamensis</i> | 6 | 0,020 | 14,8 | 2,0 | 0,62 | 0,5 | 3,1 |
| <i>Miconia elata</i> | 9 | 0,001 | 0,0 | 2,9 | 0,03 | 0,0 | 3,0 |
| <i>Byrsonima japurensis</i> | 1 | 0,049 | 27,0 | 0,3 | 1,50 | 1,0 | 2,8 |
| <i>Dendropanax arboreus</i> | 5 | 0,006 | 3,2 | 1,6 | 0,19 | 0,1 | 1,9 |
| <i>Siparuna guianensis</i> | 3 | 0,002 | 12,0 | 1,0 | 0,07 | 0,4 | 1,5 |
| <i>Tapirira guianensis</i> | 3 | 0,002 | 1,2 | 1,0 | 0,05 | 0,0 | 1,1 |
| Bosque de galería de <i>Copaifera pubiflora</i> y <i>Homalium racemosum</i> | | | | | | | |
| <i>Maquira coriácea</i> | 32 | 0,467 | 492,9 | 16,3 | 17,76 | 19,1 | 53,2 |
| <i>Copaifera pubiflora</i> | 23 | 0,465 | 510,8 | 11,7 | 17,67 | 19,8 | 49,2 |
| <i>Homalium racemosum</i> | 14 | 0,295 | 372,1 | 7,1 | 11,21 | 14,4 | 32,8 |
| <i>Byrsonima japurensis</i> | 7 | 0,254 | 215,0 | 3,6 | 9,65 | 8,3 | 21,6 |
| <i>Vitex orinocensis</i> | 3 | 0,338 | 110,0 | 1,5 | 12,83 | 4,3 | 18,6 |
| <i>Simaba orinocensis</i> | 4 | 0,190 | 176,0 | 2,0 | 7,23 | 6,8 | 16,1 |
| <i>Connarus venezuelanus</i> | 12 | 0,095 | 125,1 | 6,1 | 3,60 | 4,9 | 14,6 |
| <i>Zygia inaequalis</i> | 13 | 0,050 | 117,0 | 6,6 | 1,90 | 4,5 | 13,1 |
| <i>Protium guianense</i> | 4 | 0,125 | 101,0 | 2,0 | 4,76 | 3,9 | 10,7 |
| <i>Lacistema agregatum</i> | 15 | 0,020 | 26,3 | 7,7 | 0,76 | 1,0 | 9,4 |

Fuente: CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016).

De acuerdo a la información reportada por CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016), al igual que, la información florística y de vegetación procedente de estudios de consultoría realizados en la SZH río Pauto, se confirma la alta heterogeneidad estructural y funcional, en los bosques de galería de los llanos orientales, tal como lo sustenta CORREA-GÓMEZ & STEVENSON (2010), donde se destaca; el Palmar de *M. flexuosa* (morichal) que en llanura aluvial, se encuentra acompañado de las especies *Bellucia grossularioides*, *Henriettella ovata*, *Psychotria anceps*, *Tapirira guianensis*, *Tococa guianensis*, *Xylopia aromatica*, *Caraipa llanorum*, *C. peltata* y *P. calanense*.

CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016), presenta este palmar, con dominancia de *M. flexuosa* y *Euterpe precatoria* (Morichal), mientras RANGEL-CH. & MINORTA-CELY (2014), presentan la formación como: Palmar homogéneo de *M. flexuosa* acompañada de *C. llanorum*, *Cecropia peltata* y *P. calanense*. Sustentan además que en los estratos bajos se encuentra *Alchornea triplinervia*, *M. scorpioides*, *Hedyosmum bonplandianum* y *Trichanthera gigantea* en diferentes levantamientos en la Orinoquia.

Sobre las vegas del río Pauto CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016) registraron alta representatividad de los Bosques de vega de *A. butyracea* y *G. madruno*, como indicadoras *Matayba arborescens*, *Calophyllum brasiliense*, *Vismia macrophylla*, *Dolichandra uncata*, *L. subaracnophylla*, *Eugenia florida*, *Salacia elliptica*, *Hirtella racemosa* y *Lacmellea edulis*.

Valorada la información florística y de vegetación procedente de las 174 parcelas (Figura 22), se sustenta una alta heterogeneidad, como resultado de la poca superficie ocupada y su biodiversidad, tal como lo indica CORREA & STEVENSON (2010), en el estudio *estructura y diversidad de bosques de galería en una sábana estacional de los llanos Orientales colombianos*, empero, que las formaciones de bosque de morichal presenta dominancia similar a otras áreas de la Orinoquia colombiana, sustentan variaciones significativas en las especies acompañantes.

CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016), presentan en la formación de morichal como especie dominante *E. precatória* y *M. flexuosa*; la primera ostenta los mayores valores de cobertura y densidad, mientras que la segunda, presenta los valores más altos de área basal. Aparte de estas dos especies, sólo se destaca *Henriettella ovata*, principalmente por su densidad.

TRUJILLO-GONZALEZ *et al.* (2011), catalogan a *M. flexuosa* como palma gregaria que forma asociaciones vegetales homogéneas a lo largo de ríos y caños denominadas "morichales" donde llega a ser la especie dominante del estrato arbóreo. El resto de la formación vegetal está compuesta por arbustos, estrato bajo de ciperáceas, helechos, bromeliáceas y briofitos entre otros (GALEANO 1991). KAHN (1988) y BORGOTOFT & BALSLEV (1990), indican que *M. flexuosa* se encuentra a menudo en posiciones monoespecíficas extensas o junto con otras palmas como *Oenocarpus batua* y *E. precatória*.

No obstante, al efectuar comparación de estudios de vegetación realizados en formaciones de morichales en Venezuela, Perú y Colombia (*Tabla 2*), se evidencian divergencias en las especies acompañantes y codominantes de *M. flexuosa*, las mismas están dadas por los paisajes fisiográficos, sumado a las características climáticas de cada zona.

La SZH del río Pauto presenta heterogeneidad en sus formaciones boscosas, que como sustenta CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016) se genera por condiciones topográficas y edáficas locales a pesar de que hay características climáticas similares en toda la extensión orinocense (SARMIENTO 1996). Patrones similares se ha evidenciado en bosques inundables de la Amazonia, en donde la composición y estructura pueden variar significativamente, entre sitios de la misma región o de regiones diferentes, y se atribuye a trayectorias sucesiones provocadas por los regímenes de inundación.

CARO (2006), considera que la alta diversidad de morichales puede estar generada por la alteración que la ganadería, ejerce en el balance competitivo de las especies, evitando que las especies más competitivas excluyan a las demás y permitiendo el establecimiento de otras especies, en contraste con lo encontrado en los levantamientos 3 y 4 en donde, la ausencia del disturbio por la ganadería puede ocasionar la persistencia de las especies más competitivas que desplazan a las menos competitivas reduciendo la diversidad, sustentado esto por el planteamiento de CONNELL (1978) acerca de la hipótesis del disturbio intermedio.

Las variaciones y contrastes estructurales de vegetación identificadas en el área de estudio pueden estar siendo influenciados por la alta presión que ejerce la actividad ganadera, sobre el recurso boscoso, que como sustenta Leyva (2001) en la Orinoquía se está desarrollando procesos continuos de potrerización de bosque o arbustos densos para ser destinados a la actividad agropecuaria. A su vez, las asociaciones vegetales encontradas en las 174 parcelas corroboran la singularidad

de las formaciones boscosas reportadas por CABRERA-AMAYA & RIVERA-DÍAZ (2016), quienes sustentan que: con excepción de la comunidad de *M. flexuosa* y *E. precatória* que también aparece en la Amazonia (Kahn 1991, Pitman *et al.* 2014), los bosques encontrados en el presente estudio no han sido reportados en la región de la Orinoquia colombiana (FAO 1965, Veneklaas *et al.* 2005, Rangel-Ch. & Minorta-Cely 2014).

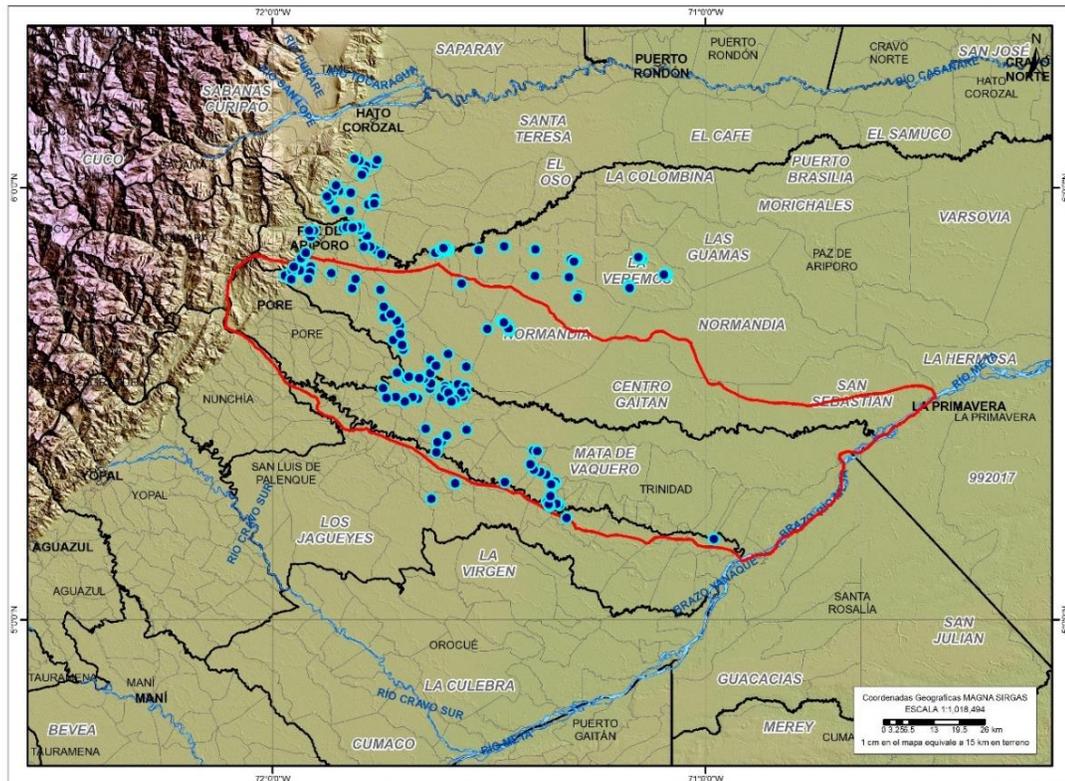


Figura 22. Localización de los estudios de vegetación realizados en las 174 parcelas de 01 ha. reportadas en el área de estudio. “Elaboración propia”. Fuente de Información Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

Tabla 2. Morichales de Venezuela, Perú y Colombia

| AUTOR | ECOSISTEMA | ESPECIES COMPARTIDAS | GÉNEROS COMPARTIDOS |
|-----------------------------|--------------------|--|---|
| Fernández (2007), Venezuela | Morichal | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Tapirira Guianensis</i> , <i>Virola surinamensis</i> , <i>heptaphyllum</i> , <i>Protium racemoso</i> , <i>Miconia brasiliense</i> , <i>Cordia nodosa</i> , <i>Maquira coriacea</i> | <i>Miconia</i> , <i>Hirtella</i> , <i>Coccoloba</i> , <i>Euterpe</i> , <i>inga</i> , <i>Pseudolmedia</i> , <i>Coccoloba</i> , <i>Xylopia</i> , <i>Protium</i> , <i>Euterpe</i> , <i>Eugenia</i> , <i>Alchornea</i> , <i>Licania</i> |
| Delascio (1999), Venezuela | Morichal Antrópico | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> | <i>Ficus</i> , <i>Piper</i> , <i>Ouratea</i> , <i>Randia</i> |

| | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--|---|
| Urrego (1997), Colombia | Bosques Inundables (mal drenados) | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Virola elongata</i> , <i>Hyeronima alchorneoides</i> , <i>Protium llanorum</i> , <i>Maquira coriacea</i> , <i>Virola surinamensis</i> , <i>Oenocarpus mapora</i> , <i>Hirtella elongata</i> , <i>Tapirira guianensis</i> , <i>Euterpe precatoria</i> | <i>Sloanea</i> , <i>Pouteria</i> , <i>Licania</i> , <i>Protium</i> , <i>Phenakospermum</i> , <i>Miconia</i> , <i>Trichillia</i> , <i>Myrcia</i> , <i>Eugenia</i> , <i>Ficus</i> , <i>Hirtella</i> , <i>Erythroxylum</i> , <i>Ouratea</i> , <i>Xylopi a</i> , <i>Inga</i> , <i>Guatteria</i> , <i>Calophyllum</i> , <i>Alchornea</i> , <i>Tapirira</i> , <i>Siparuna</i> , <i>Ocotea</i> , <i>Dendropanax</i> , <i>Euterpe precatoria</i> , <i>Doliocarpus</i> |
| Frei tas et al. (1996), Perú | Palmeral de Terraza Baja | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Euterpe precatoria</i> , <i>Calophyllum brasiliense</i> , <i>Socratea exorrhiza</i> , <i>Oenocarpus mapora</i> , <i>Pseudolmedia laevis</i> , <i>Virola sebifera</i> , <i>Cordia nodosa</i> | <i>Virola</i> , <i>Oenocarpus</i> , <i>Ingá</i> , <i>Licania</i> , <i>Miconia</i> , <i>Sloanea</i> , <i>Ficus</i> , <i>Ocotea</i> , <i>Protium</i> , <i>Trichillia</i> , <i>Pouteria</i> , <i>Guatteria</i> , <i>Eugenia</i> , <i>Lacmellea</i> , <i>Myrcia</i> , <i>Pseudolmedia</i> , <i>Xylopi a</i> , <i>Alchornea</i> , <i>Ouratea</i> |
| Frei tas et al. (1996b), Perú | Palmar de Llanura Aluvial | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Euterpe precatoria</i> , <i>Socratea exorrhiza</i> , <i>Oenocarpus</i> | <i>Guatteria</i> , <i>Inga</i> , <i>Xylopi a</i> , <i>Ocotea</i> , <i>Ficus</i> , <i>Coccoloba</i> , <i>Licania</i> , <i>Pouteria</i> , <i>seudolmedia</i> , <i>Sloanea</i> , <i>Protium</i> |
| Bevilacqua & González | Morichal | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Virola surinamensis</i> | <i>Inga</i> , <i>Coccoloba</i> , <i>Euterpe</i> , <i>Hirtella</i> , <i>Miconia</i> , <i>Ficus</i> |
| Delascio (1990), | Morichal | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Ficus guianensis</i> | <i>Miconia</i> , <i>Coccoloba</i> |
| Ramírez & Brito | Morichal | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> | <i>Miconia</i> , <i>Xylopi a</i> , <i>Licania</i> , <i>Hirtella a</i> , <i>Eugenia</i> , <i>Coccoloba</i> |
| Brito & Ramírez | comunidad pantanosa | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> | <i>Miconia</i> , <i>Xylopi a</i> , <i>Eugenia</i> |
| González (1987) Venezuela | Morichal | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Tapirira Guianensis</i> , <i>Virola surinamensis</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> , <i>Maquira coriacea</i> ; <i>Stylogyne</i> | <i>Calophyllum</i> , <i>Inga</i> , <i>Coccoloba</i> , <i>Hirtella</i> , <i>Euterpe</i> , <i>Xylopi a</i> , <i>Doliocarpus</i> , <i>Ficus</i> , <i>Eugenia</i> , <i>Ouratea</i> , <i>Piper</i> , <i>Coccoloba</i> |
| Aristeguieta (1968), | Morichal | <i>Mauritia flexuosa</i> | <i>Hirtella</i> , <i>Licania</i> , <i>Miconia</i> , <i>Xylopi a</i> , <i>Protium</i> , <i>Ingá</i> , <i>Ficus</i> |
| Duivenv et al (1988), Colombia | Morichales en Terrazas bajas | <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Virola surinamensis</i> | <i>Euterpe</i> |

Fuente 1. Caracterización florística y estructural de la vegetación de un morichal en la hacienda Matarredonda, Municipio de San Martín, Meta (CARO 2006).

En el área de estudio se identificaron formaciones boscosas no frecuentes en la Orinoquia, al igual que, formaciones que no se reportan para la zona en las últimas cuatro décadas, como es el caso de los Bosques de *Pseudolmedia laevis*, *Virola elongata* y *Licania apetala*. Los resultados de los estudios florísticos y de vegetación de la SZH del río Pauto, sustentan la importancia y pertinencia de generar estrategias de conservación que permita resguardar la biodiversidad y singularidad del recurso, así como, generar mayor investigación que permita comprender su estructura, dinámica en pro de estrategias de conservación.

CAPITULO III

CAMBIOS EN LAS CUBIERTAS BOSCOSAS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PAUTO

Los bosques de galería de los llanos orientales colombianos son importantes reservorios de biodiversidad a nivel mundial, como resultado de la poca superficie ocupada y de su alta heterogeneidad estructural y funcional (CORREA & STEVENSON 2010). Pese a la importancia que tienen estos ecosistemas, han sido deteriorados ambientalmente, tanto por factores globales, como antrópicos regionales entre los que se destacan la deforestación, quema, industria y ampliación de la frontera agrícola.

El paisaje se está degradando como respuesta de la inadecuada planificación ambiental y variación del uso del suelo, ostentando como resultado, la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Entre los meses de febrero y abril de 2014, se registró en los municipios de Paz de Ariporo, Hato Corozal y Trinidad Casanare muerte de centenares de especímenes de fauna silvestre, originada por un periodo seco prolongado e intenso, eventualidad que se repite anualmente, y que amenaza la estabilidad ecosistémica de la región. Situación que justifica la necesidad de realizar estudios multidisciplinarios que permitan interpretar el estado y dinámica de los recursos naturales.

El análisis multitemporal es fundamental para la planificación ambiental y procesos de decisión, tanto de autoridades locales como regionales, permite evidenciar los impactos generados por la acción humana e identifica aquellas zonas vulnerables que necesitan de mayor control y protección (SILVA 1998). La identificación de cambios a nivel de la cobertura vegetal en un entorno determinado se ha convertido en un ámbito de aplicación importante dentro del estudio de los sistemas de información geográfica, gracias al avance tecnológico y la existencia de información satelital proveniente de los sensores remotos (RODRÍGUEZ & ARREDONDO 2005).

El presente estudio tiene como fin generar información actualizada de la posible reducción del bosque en una vasta región de la Orinoquia (altitud < 500 m) denominada Sub-zona Hidrográfica del río Pauto (IDEAM 2013), la cual presenta cambios sustanciales en el ecosistema (CÁRDENAS-GARCÍA 2016). La información obtenida permitirá a las entidades gubernamentales, encargadas de la protección de la biodiversidad, priorizar áreas para la conservación, así como establecer información de línea base para la adecuada planificación del territorio.

3.1 ANTECEDENTES DE MULTITEMPORALIDAD

El advenimiento de los satélites artificiales ha permitido la posibilidad de obtener información detallada de la superficie terrestre. Desde el lanzamiento en 1972 del ERTS-1 (más tarde Landsat 1); el primer satélite diseñado para la observación en alta resolución de la cubierta terrestre, la teledetección ha alcanzado un alto nivel de desarrollo, beneficiándose de los avances obtenidos en la carrera espacial y desligándose de la fotografía aérea, precursora de la moderna teledetección (GARCÍA VARELA 2005).

Esta serie de datos, que se inició en 1972, es la más larga de la historia y continúa registrando los cambios en la superficie terrestre desde el espacio, Landsat ha sido el único sistema de satélite diseñado y operado para observar repetidas veces la cubierta de la tierra con una resolución moderada; de manera general cada pixel en su imagen tiene un tamaño con el que se podría cubrir un campo de béisbol. En la actualidad el programa se encuentra en su octava versión denominada: "Landsat Data Continuity Mission" (LDCM) es el octavo satélite de observación de la serie Landsat y continuará el legado de archivo de los anteriores satélites, convirtiéndose de esta manera en el futuro de los satélites de observación de la Tierra de mediana resolución con más historia. Este programa amplía, mejora y avanza en el registro de imágenes multispectrales, manteniendo la misma calidad de sus siete predecesores (ARIZA 2013). Tras el lanzamiento, el satélite LDCM será rebautizado como Landsat 8 (ARIZA 2013).

GIL-LEGUIZAMÓN & MORALES-P. (2015), realizaron análisis multitemporal de la vegetación del macizo de Bijagual en el departamento de Boyacá, comprobando que para el periodo comprendido entre 1986 al 2000, se redujo drásticamente su extensión, entre el 43 al 28% de su total (3725,44 a 2419,64 ha), patrón que se continúa entre el periodo 2000-2014 (actualmente, 1553,7 ha / 18%); el bosque amplió levemente su extensión (371,4 ha) entre 1986-2000 y una disminución para el 2014 en 382,7 ha. La reducción periódica del páramo se evidenció en el aumento gradual de los mosaicos de pastos y cultivos (2841,7 ha; 3773,2 ha; 4670 ha) en poco más de la mitad de la extensión de Bijagual.

DÍAZ-BELTRÁN (2017) realizaron análisis multitemporal del crecimiento del área sembrada en palma africana (*Elaeis guineensis*) y su efecto en los espacios naturales en la zona de los llanos orientales de Colombia. Se determinó que la cobertura de pastos limpios fue la más afectada, con un 45,16% del área total de afectación por la expansión del cultivo de Palma Africana. Esta gran cobertura de pastos se utiliza principalmente en ganadería extensiva. También se determinó, que la expansión del área establecida en Palma Africana afectó varias coberturas naturales como bosques de galería y ripario, herbazales, bosques densos de tierra firme, bosques densos alto-inundables, bosques fragmentados y arbustales.

GONZÁLEZ y ROMERO (2013) realizaron análisis multitemporal de los cambios de la cobertura de la Tierra e incidencia del cultivo de palma en el territorio del municipio de Villanueva, Casanare, como resultado se obtuvo que para el año 2012 los bosques de galería perdieron el 35,83% del área registrada en 2002, esto se atribuye principalmente a los pastos limpios, debido a que su extensión es la más representativa, lo que genera una mayor probabilidad de presión hacia esta cobertura. Igualmente, esto se debe a la expansión agrícola asociada a los cultivos de palma y arroz. Lo que se traduce en la necesidad de fortalecer la capacidad de gestión de las instituciones y actores involucrados en el manejo de los recursos naturales.

CHAPARRO-LÓPEZ (2017) realizó análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal de Paz de Ariporo, Casanare mediante el uso de sistemas de información geográfica, sustentando como resultados que en la mayor parte del municipio se evidencia de deforestación, en la sabana media, se presentó transición importante entre herbazales, pastos y cultivos, en un periodo de 30 años, con lo cual cambiaron considerablemente las áreas naturales que pasaron a ser zonas de cultivos de arroz y ganadería extensiva, usos que han afectado el flujo natural de agua el cual se encauza hacia los cultivos para suplir sus necesidades y termina evaporándose principalmente. Los bosques en el piedemonte han disminuido su extensión y han pasado a ser mosaicos de pastos y cultivos.

INFANTE-BETANCOURT & MARTÍNEZ-MORA (2017) realizaron un análisis multitemporal de las coberturas vegetales en la cuenca del río Pauto, Casanare empleando imágenes satelitales tipo Landsat de los años 1990, 2001 y 2015, presentando como resultado que de 1990 a 2015 el bosque denso aumento en un 4.5%, la hidrografía se mantiene en un promedio de 1.81%, el suelo desnudo aumento en un 10% y la vegetación secundaria disminuyó en un 17.13%. Sustentan además que; con base en los resultados de la evaluación de la confiabilidad, es necesario considerar las diferentes medidas, que permiten mejorar la información contenida en un mapa temático y los productos que se deriven del mismo. En el proceso de evaluación de la confiabilidad, las categorías que más se confunden pueden ser objeto de un esfuerzo adicional, con base en un exhaustivo trabajo de campo; por ejemplo, que permita mejorarla calidad de su representatividad en la cartografía.

3.2 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS MULTITEMPORAL

3.2.1 Levantamiento de Información Secundaria

Se realizó la recopilación de información bibliográfica y cartográfica como soporte teórico relacionado con el enfoque de la ecología del paisaje, así como, los antecedentes de la aplicación de técnicas multitemporales (Ver **Figura 23**), se

desarrolló la identificación del área de estudio y se seleccionaron las imágenes de satélite a utilizar. Para los insumos de este trabajo se accedió a las imágenes satelitales, dispuestas en la plataforma del servicio Geológico de los Estados Unidos "USGS" allí, se descargaron imágenes tipo Landsat LM1 y LC8, correspondientes a la época seca para los periodos entre 1972 al 2017. La selección estuvo condicionada por la cobertura de nubes (< 10%), que cubrieran el polígono de la SZH del río Pauto (IDEAM 2013). Bajo los criterios descritos se identificaron dos imágenes tipo Landsat; la primera del año 1972 procedentes del sensor "MSS" (*Multispectral Scanner Sensor*) Multiespectral 4 bandas, LANDSAT_SCENE_ID = "LM10060561972293AAA05". La segunda del año 2017 procedente del sensor OLI (*Operational Land Imager*) and TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) LANDSAT_SCENE_ID = "LC80060562017075LGN00" con 11 bandas. Imágenes cortesía de U.S. Geological Survey, en concordancia con la metodología propuesta por CHUVIECO (1996).

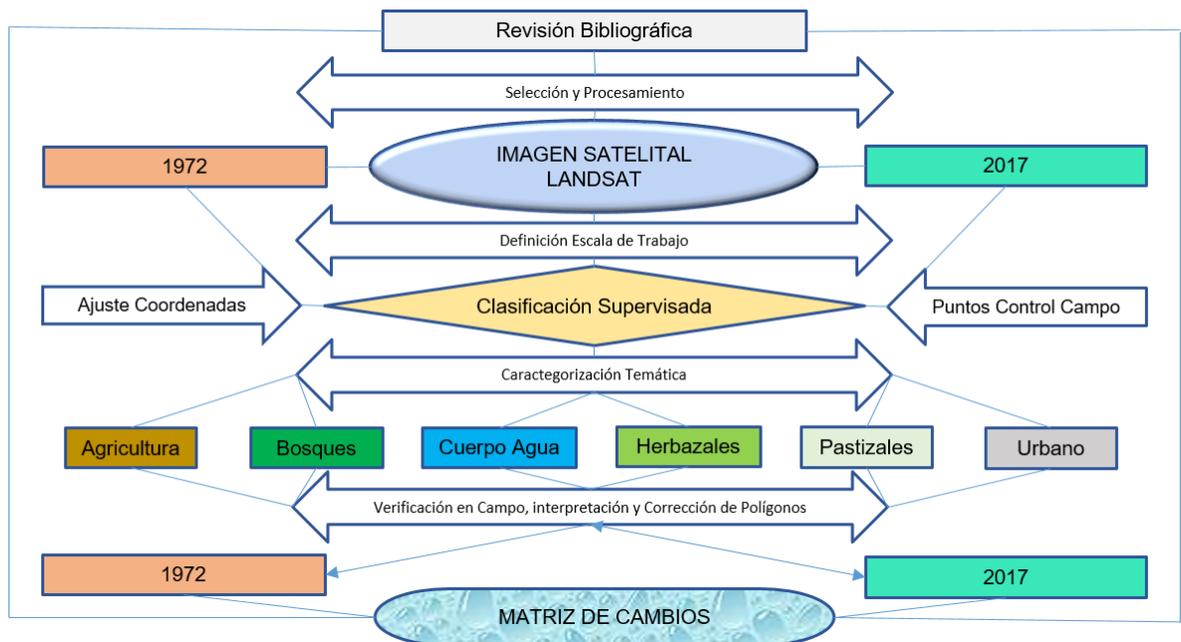


Figura 23. Diagrama metodológico análisis temporal en la SZH río Pauto (modificado a partir de CHUVIECO 1996).

3.2.2 Procesamiento de Imágenes Satelitales LANDSAT.

El procesamiento de datos se desarrolló mediante el software "ArcGIS for Desktop Basic Concurrent Use, versión 10.3.1" con licencia 2015 de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Como primer paso se procedió a realizar la creación de imagen Multiespectral, seguido de combinación de bandas (Figura 24), para la imagen Landsat 8 se realizó las siguientes combinaciones: Color natural

4 3 2, Falso color (urbano) 7 6 4, Color infrarrojo (vegetación) 5 4 3, Agricultura 6 5 2, Penetración atmosférica 7 6 5, vegetación saludable 5 6 2, Tierra/agua 5 6 4, Natural con remoción atmosférica 7 5 3, Infrarrojo de onda corta 7 5 4, Análisis de vegetación 6 5 4. Para la Imagen Landsat 1, se trabajó la combinación 4, 3 y 2. Esta combinación de banda es la rendición de color infrarrojo familiar la cual ha estado disponible con dataLandsat MSS por muchos años. Tiene buena sensibilidad a la vegetación verde (la cual esta delineada como rojo) y representa adecuadamente caminos y masas de agua, muestra bosques coníferos como un rojo más oscuro distinto que bosques caducifolios.

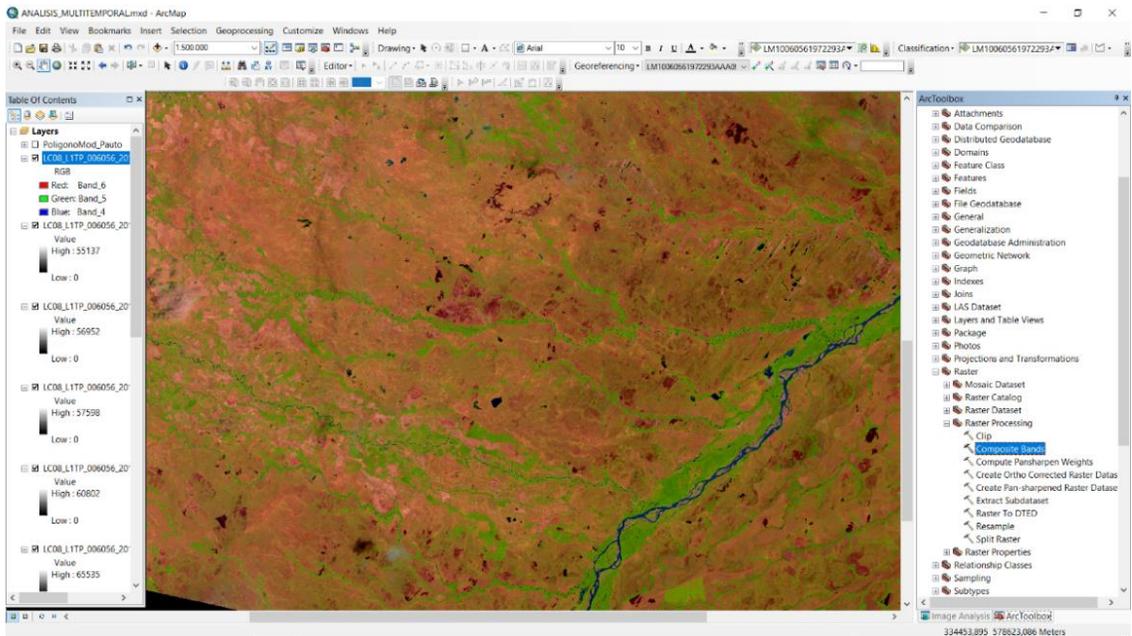


Figura 24. Creación de imagen Multiespectral

Para la corrección geométrica de las imágenes se siguió la secuencia metodológica propuesta por CHUVIECO (1996). Así, en primer lugar, se tomaron los puntos de control (en adelante PC) considerando aspectos relacionados con su número, calidad y distribución. Fue necesario ajustar mediante puntos de control la imagen satelital de 1972 (LM10060561972293AAA05) dado que presentaba divergencia a la seleccionada para el año 2017 y a validaciones realizadas mediante imágenes Landsat a partir del 2010, los puntos de control tomaron como referencia, desembocadura de caños, ríos, medanos, entre otros puntos notables para el ajuste.

3.2.3 Mapificación

A partir de las imágenes, se realizó la construcción de los mapas de cobertura, para ello se utilizaron técnicas de interpretación visual en pantalla de las imágenes de satélite, siguiendo parámetros clave de interpretación (tono, textura, forma y patrón

espacial) definidos por CHUVIECO (1996). A su vez, se trabajó la imagen bajo método supervisado, el cual se sustenta en la identificación de zonas o sectores donde se conoce con certeza el tipo de vegetación o unidad existente (nubes, cuerpos de agua, nieve, bosques húmedos, entre otros) o donde se logró identificar diferencia sustancial de la cobertura, posteriormente se tomaron “muestras” de los valores espectrales presentes en ese sitio. Estableciendo puntos de control para la categorización temática definida agricultura, bosques, cuerpos de agua, herbazales, pastizales y urbano.

Posterior a la poligonización de la imagen del año 2017, se procedió a descartar los polígonos inferiores a la unidad mínima cartografiable, que para el presente estudio fue de 4 ha, con base en la determinación a escala del modelo de cuarto nivel definido a 1:50000 (IDEAM 2011). El mapa poligonizado fue transformado a formato “img” y dispuesto en equipos GPS Garmin 62SC, con el fin de realizar recorrido de campo para verificar la precisión de la categorización temática establecida en la clasificación supervisada. En la Figura 25., se detalla el monitoreo en campo realizado al área de estudio, donde se tomó registro fotográfico y verificación de cada polígono (*Ver Fotografía 7*).

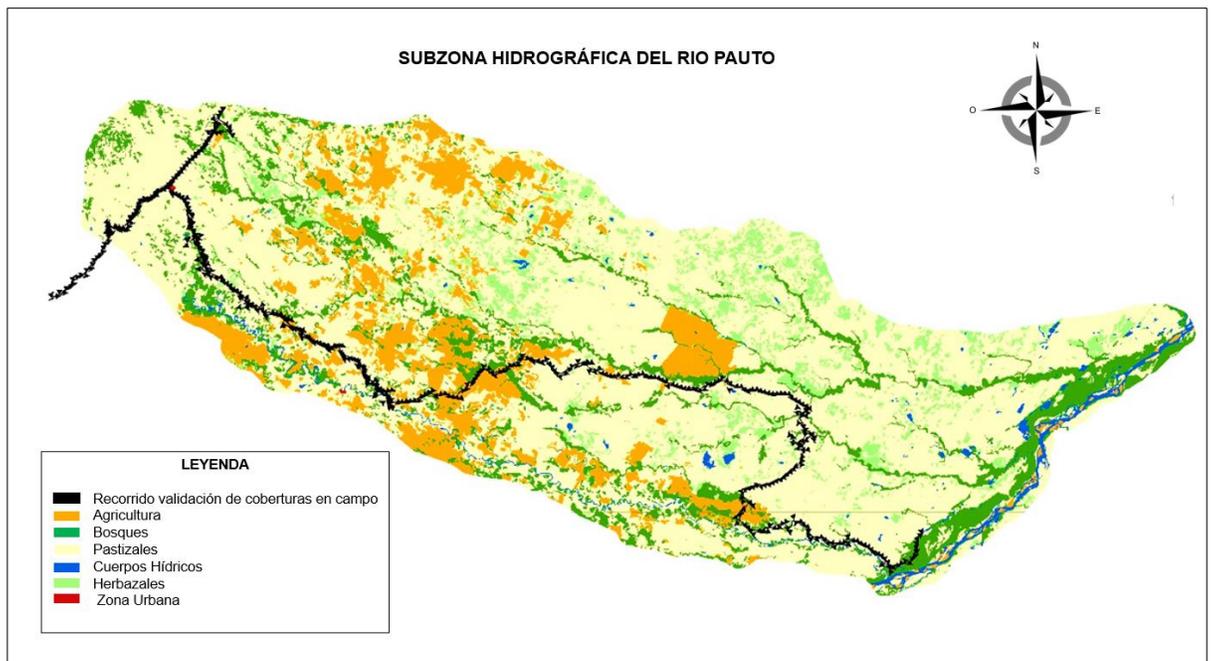


Figura 25. Verificación en campo de la categorización temática.



Fotografía 7. Verificación en campo de la categorización temática “Fuente Propia, tomadas mayo de 2017”.

Realizado el control de calidad del mapa poligonizado y sus respectivos ajustes, se procedió a tomar la imagen multiespectral de 1972 y mediante la herramienta image analysis - Transparency de ArcGIS 10.3, se traslapo con diversos niveles de transparencia y mediante procedimiento de interpretación visual (tono, textura, forma y patrón espacial) (CHUVIECO 1996), se ajustó mediante método no automatizado, los polígonos procedentes de copia de la poligonización de la imagen 2017, a las cubiertas de la imagen multiespectral de 1972, como se detalla en la Figura 26. Con el mapa poligonizado del año 1972 y 2017 se procedió a calcular área en hectáreas de cada categorización temática definida.

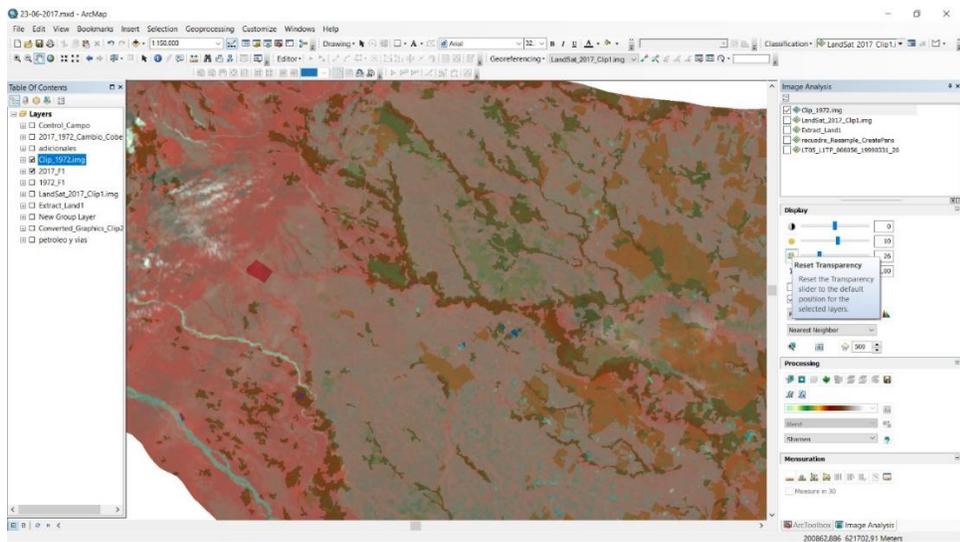


Figura 26. Poligonización imagen multispectral 1972 SZH río Pauto.

Realizados los mapas para 1972 y 2017, mediante la herramienta de análisis Overlay – Union de ArGIS 10.3 se procedió a generar una matriz de confusión, la cual fue representada gráficamente (Ver Figura 27) para valorar las tendencias de las cubiertas vegetales y su representación numérica.

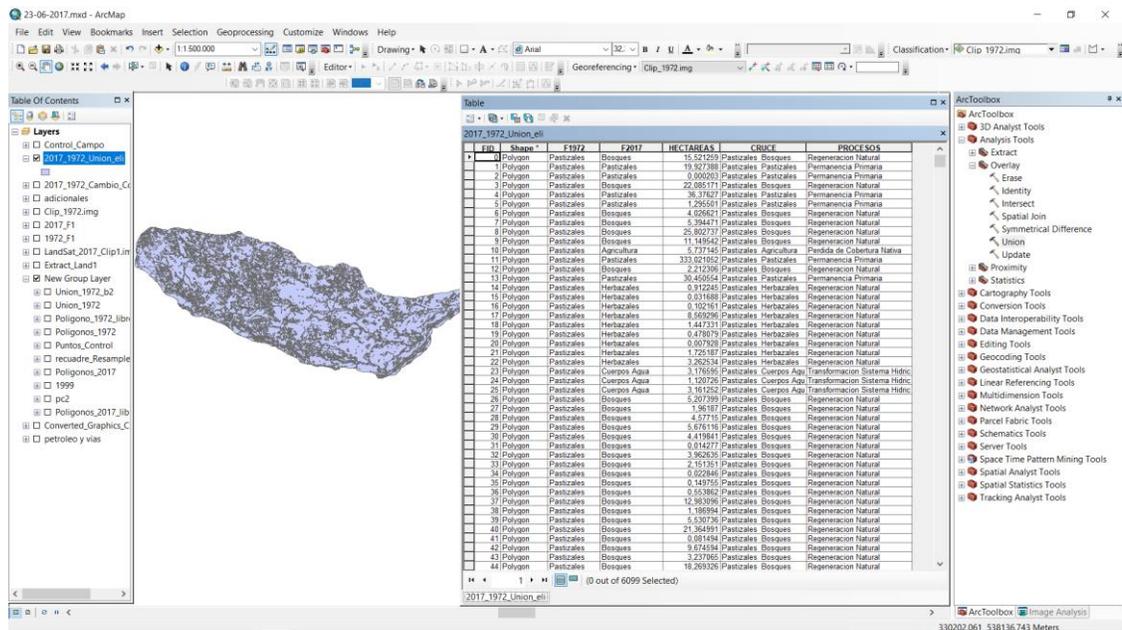


Figura 27. Representación numérica de los cambios de cubiertas 1972 - 2017.

Con los datos obtenidos para los cambios en la cubierta boscosa, en el periodo comprendido entre 1972 a 2017, se procedió a calcular la tasa promedio anual de deforestación (TMAD) (SIAT-AC 2015). La unidad de medida se presenta en hectáreas por año (ha/año).

La fórmula de cálculo es:

$$TMAD_{jt1-t2} = \frac{(AB_{jt1} - AB_{jt2})}{n}$$

Dónde:

TMAD_{jt1-t2}: tasa promedio anual de deforestación de SZH río Pauto, entre los momentos t1 (1972) y t2 (2017).

AB_{jt1}: la superficie cubierta por bosque en SZH río Pauto, en el momento t1 (1972).

AB_{jt2}: la superficie cubierta por bosque de la SZH río Pauto j, en el momento t2 (2017).

n: diferencia de años entre el momento t1 y el momento t2, para el presente estudio 45 años.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Realizada la Mapificación de las imágenes satelitales Landsat y estricto control de calidad en campo, fue posible establecer representación gráfica del cambio de las cubiertas en la Subzona Hidrográfica del río Pauto (IDEAM 2013), considerada como la bioregión de la Orinoquia (RANGEL-CH. *et al.* 1995) entre el periodo comprendido entre 1972 y 2017. En la **Figura 28**. Imagen satelital Landsat & representación de cubiertas año 2017., se evidencia la representación de las cubiertas para el año 2017, a partir de una imagen Landsat 8, procedente del sensor OLI_TIRS estación LGN, procesada mediante software LPGS_2.7.0., bajo caracterización temática como se describe en la Tabla 3.

Tabla 3. Categorización temática periodo 2017.

| Categoría | Área Ha | Categoría | Área Ha | Categoría | Área Ha |
|-------------|----------|--------------|----------|------------|-----------|
| Bosques | 97.417 | Cuerpos Agua | 14.419,6 | Pastizales | 517.263,1 |
| Agricultura | 98.155,5 | Herbazales | 55.729,7 | Urbano | 299,8 |

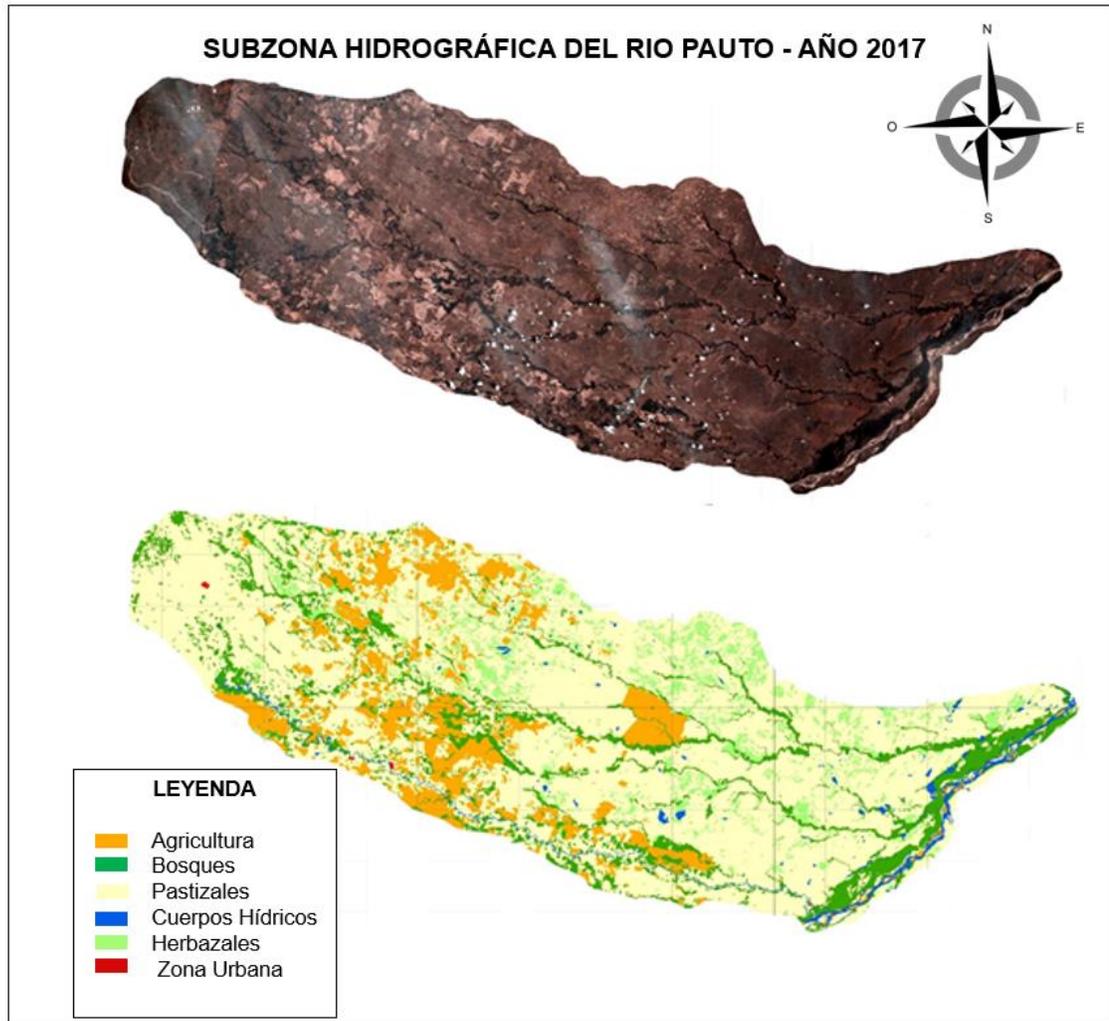


Figura 28. Imagen satelital Landsat & representación de cubiertas año 2017.

La representación gráfica de la imagen Landsat L1 de 1972, procedente del sensor MSS, procesada mediante el software LPGS_12.4.0, sustento notables cambios en el estado de las cubiertas que comprenden las 783.284,5 ha del área de estudio, como se evidencia en la Figura 28., bajo categorización temática descrita en la Tabla 4.

Con el fin de valorar las áreas afectadas por los cambios se procedió a realizar unión de información mapa 1972 y 2017 para así generar mapa de cambios de cobertura, como se observa en la tabla 5. y se detalla en el numeral 3.3 del presente capítulo. Realizado el análisis numérico que representa los cambios de las cubiertas entre el periodo comprendido entre 1972 al 2017, donde se observa una disminución

significativa del bosque, pasando de 136.364 ha en 1972 a 97.417, con disminución por año de 865 ha de bosque.

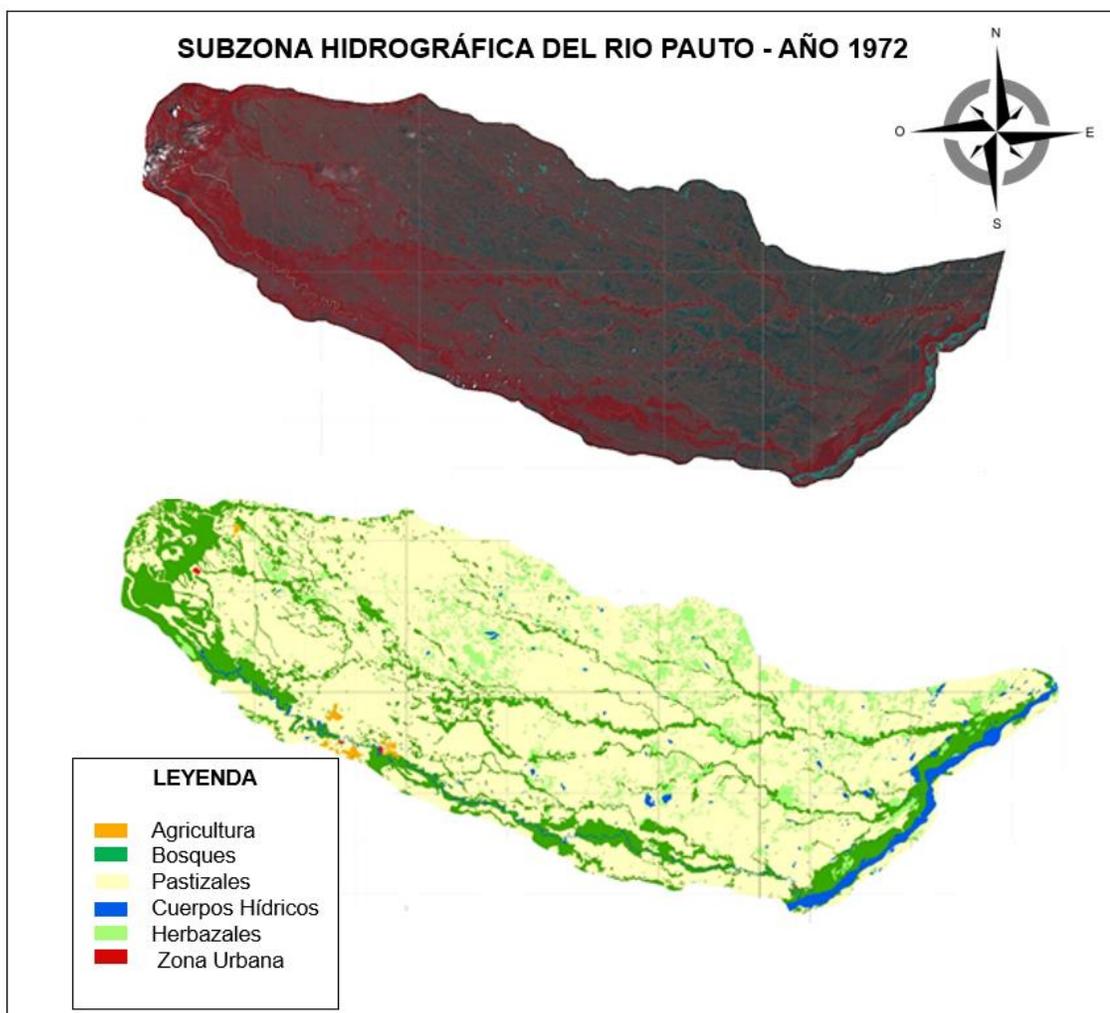


Figura 29. Imagen satelital LANDSAT & Representación de Cubiertas año 1972.

Tabla 4. Categorización temática periodo 1972.

| Categoría | Área Ha | Categoría | Área Ha | Categoría | Área Ha |
|-------------|-----------|--------------|----------|------------|-----------|
| Bosques | 136.363,9 | Cuerpos Agua | 19.717,5 | Pastizales | 565.623,0 |
| Agricultura | 2.174,7 | Herbazales | 59.106 | Urbano | 299,5 |

Se identifico un crecimiento exponencial de la agricultura que para el año de 1972 se encontró en 2.175 ha y para el año 2017 en 98.156 ha. En general se identifica tendencia a la transformación de cubiertas naturales por zonas agrícolas como se observa en la Figura 31., y Tabla 5.

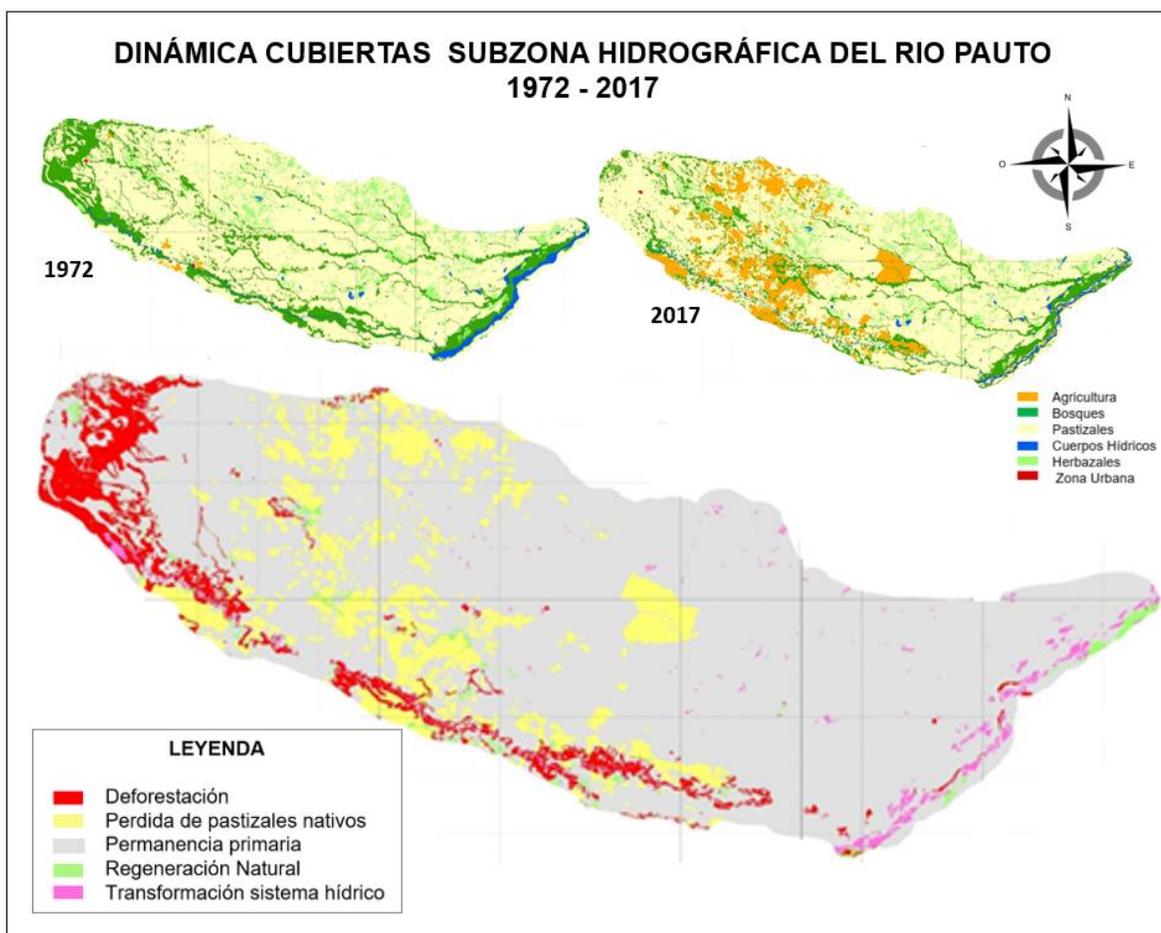
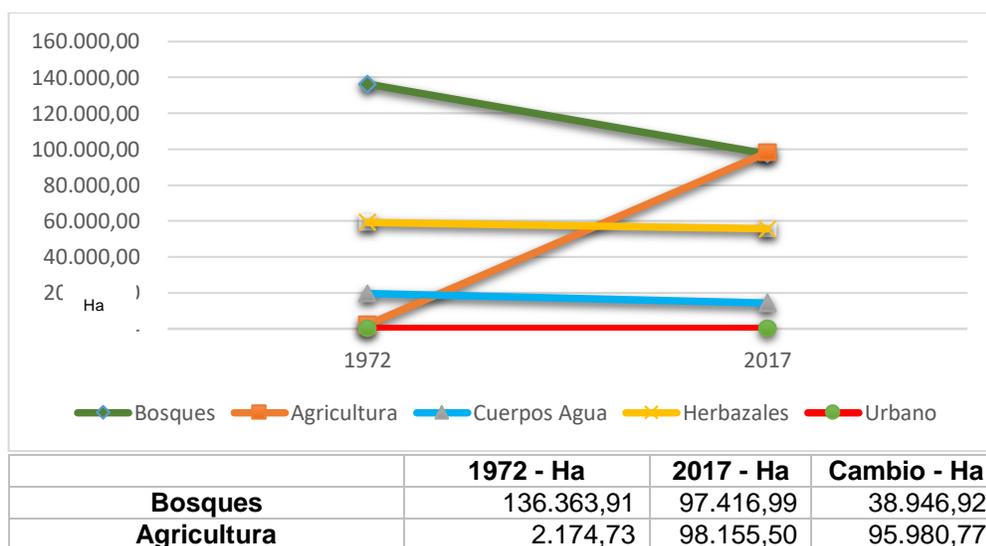


Figura 30. Mapa de procesos de cambio producto del análisis temporal de la SZH del río Pauto entre 1972 al 2017.



| | | | |
|---------------------|------------|------------|-----------|
| Cuerpos Agua | 19.717,50 | 14.419,63 | 5.297,87 |
| Herbazales | 59.106,02 | 55.729,71 | 3.376,31 |
| Pastizales | 565.623,04 | 517.263,10 | 48.359,94 |
| Urbano | 299,5 | 299,8 | 0,3 |

Figura 31. Análisis temporal de Cubiertas 1972 - 2017

Los resultados del análisis de la transformación de cubiertas revelan pérdidas de 38.946,92 ha. de las formaciones boscosas descritas en el capítulo 2 del presente estudio, entre el periodo comprendido entre 1972 al 2017; a su vez, los resultados sustentan que 3.271 ha. del área deforestada fueron destinadas a la agricultura, 44.010 ha. fueron destinadas para pastizales, 1290 ha. se transformaron a cubiertas inundadas, 429 ha. se convirtieron a herbazales y 0.3 ha se transformaron en área urbana en la SZH río Pauto (Tabla 5).

Tabla 5. Matriz de cambios 1972 – 2017 en hectáreas.

| CATEGORÍAS | AGRICULTURA | BOSQUES | CUERPOS AGUA | HERBAZALES | PASTIZALES | URBANO | TOTAL GENERAL |
|---------------|-------------|------------|--------------|------------|-------------|---------|---------------|
| Agricultura | 2.174,7 | | | | | | 2.174,727 |
| Bosques | 3.271,2 | 87.363,2 | 1.290,0 | 429,1 | 44.010,2 | 0,3 | 136.363,906 |
| Cuerpos Agua | 2.221,4 | 903,0 | 13.047,5 | 105,9 | 3.439,8 | | 19.717,500 |
| Herbazales | 57,6 | 59,7 | 3,5 | 55.110,8 | 3.874,5 | | 59.106,024 |
| Pastizales | 90.430,6 | 9.091,1 | 78,7 | 83,9 | 465.938,7 | | 565.623,038 |
| Urbano | | | | | | 299,5 | 299,530 |
| Total general | 98.155,501 | 97.416,988 | 14.419,632 | 55.729,710 | 517.263,100 | 299,794 | 783.284,725 |

2017

En términos de porcentaje se evidencia un crecimiento exponencial del 13% de la agricultura representada principalmente, en cultivos de arroz, seguido de palma de aceite y cultivos de pancoger, de acuerdo con la inspección desarrollada en campo. Crecimiento exponencial que afectado principalmente las cubiertas del bosque y los pastizales (Ver Figura 32).

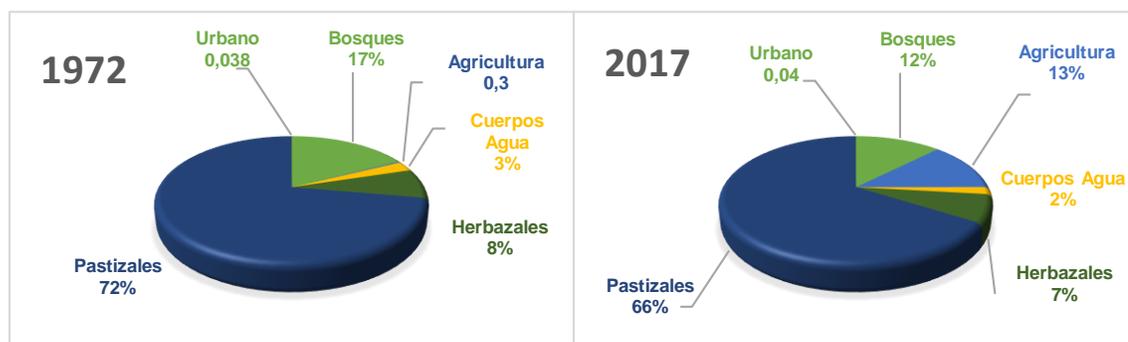


Figura 32. Cambios Temporales en las cubiertas de la SZH río Pauto.

El estudio muestra, además que, existe pérdida significativa de bosque en los últimos 45 años; estos cambios atribuibles a diversos factores, entre ellos el crecimiento poblacional. Así como, las pérdidas de áreas boscosas más próximas a las zonas agrícolas y de pastoreo, lo que de alguna manera confirma el fenómeno

de la expansión agrícola, en concordancia con CHIKHAOUI *et al.* (2006), quien sustenta que, las causas actuales de la deforestación, están dadas por producción de cultivos y la mecanización de las actividades agropecuarias, que ocasionan; erosión del suelo y cambios en la sinergia del ecosistemas (PINEDA *et al.*, 2009).

Son escasas las investigaciones detalladas y actualizadas que permiten determinar los niveles actuales de la pérdida de cobertura vegetal por año en la Orinoquia. Algunos estudios a nivel regional han reportado el uso de diferentes técnicas y metodologías para registrar las tasas de deforestación. Mediante la metodología propuesta por el SIAT-AC (2015) se identificó el promedio anual de deforestación, obteniendo para el área de estudio; 865 ha por cada año (Ver Tabla 6.)

Tabla 6. Tasa promedio anual de deforestación (TMAD) en la SZH del río Pauto, 1972 - 2017.

$$TMAD_{jt1-t2} = \frac{AB_{jt1} - AB_{jt2}}{n} = 865 \text{ ha por año.}$$

La Tabla 6. **Tasa promedio anual de deforestación (TMAD) en la SZH del río Pauto, 1972 - 2017.** Sustenta disminución promedio de 865 ha por año, de la cubierta boscosa SZH del río Pauto, que en términos de porcentaje paso del 17% en 1972 al 12% de 2017, mientras se genera crecimiento exponencial de las cubiertas destinadas a la agricultura pasando en 1972 del 0.3% al 13%, los resultados revelan sobreexplotación de los recursos naturales, originados principalmente por el crecimiento acelerado y sin planificación de la agricultura y la ganadería. Información que fue posible confirmar mediante trabajo de campo, interpretación y procesamiento de imágenes satelitales siguiendo lo propuesto por CHUVIECO (1996), que menciona que cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés (procesos antrópicos, plagas, sequía, deforestación, etc.), su reflectancia será inferior en el infrarrojo cercano y rojo, con lo que el contraste entre ambas bandas será mucho menor en relación con una vegetación sana de gran vigor (Figura 33).

Con la tasa promedio de deforestación anual y la estimación de las cubiertas boscosas para el año 2017 y 1972, se proyectó la tendencia para cada año, de los 45 objeto del estudio multitemporal (Ver Tabla 7). Información que representó deforestación exponencial y confirma el aumento significativo de la transformación de los ecosistemas naturales (Etter *et al.*, 2005) La eliminación de bosque para la agricultura, ganadería y la extracción de recursos en muchos lugares del mundo, ha causado la pérdida de biodiversidad, fragmentación del hábitat, alteración de los procesos ecológicos y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Kyle & Duncan 2012).

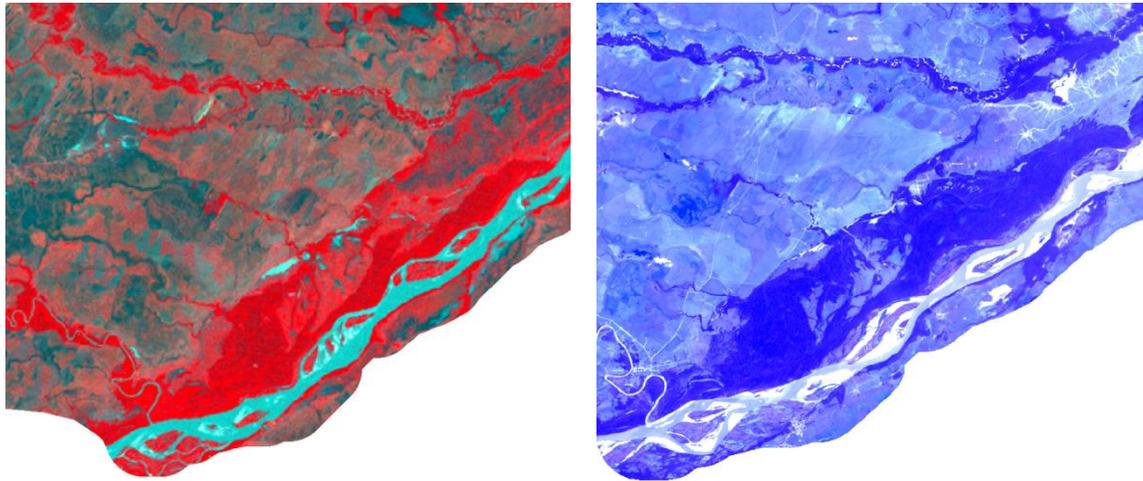


Figura 33. Contraste de vegetación en imágenes Satelitales Landsat 1972-2017.

Como se identifica en la Figura 29, las cubiertas de bosque se encuentran discontinuas, con alta fragmentación y ligadas estrictamente a los cuerpos hídricos, o áreas ambientalmente sensibles, refiriéndose a la dirección y magnitud de cambio que pueden experimentar los sistemas biológicos ante perturbaciones tanto de carácter natural como humano (CHAVEZ-CORTES *et al.*, 2010).

Tabla 7. Dinámica de las cubiertas Boscosas en la SZH del río Pauto.

| Año | Cubierta Boscosa Ha | Año | Cubierta Boscosa Ha | Año | Cubierta Boscosa Ha |
|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|
| 2017 | 97.417 | 2001 | 111.273 | 1985 | 125.129 |
| 2016 | 98.283 | 2000 | 112.139 | 1984 | 125.995 |
| 2015 | 99.149 | 1999 | 113.005 | 1983 | 126.861 |
| 2014 | 100.015 | 1998 | 113.871 | 1982 | 127.727 |
| 2013 | 100.881 | 1997 | 114.737 | 1981 | 128.593 |
| 2012 | 101.747 | 1996 | 115.603 | 1980 | 129.459 |
| 2011 | 102.613 | 1995 | 116.469 | 1979 | 130.325 |
| 2010 | 103.479 | 1994 | 117.335 | 1978 | 131.191 |
| 2009 | 104.345 | 1993 | 118.201 | 1977 | 132.057 |
| 2008 | 105.211 | 1992 | 119.067 | 1976 | 132.923 |
| 2007 | 106.077 | 1991 | 119.933 | 1975 | 133.789 |
| 2006 | 106.943 | 1990 | 120.799 | 1974 | 134.655 |
| 2005 | 107.809 | 1989 | 121.665 | 1973 | 135.521 |
| 2004 | 108.675 | 1988 | 122.531 | 1972 | 136.387 |
| 2003 | 109.541 | 1987 | 123.397 | | |
| 2002 | 110.407 | 1986 | 124.263 | | |

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la Figura 34., es posible validar la tendencia que muestra la perdida de recurso boscoso y de acuerdo a lo propuesto por Opdam & Wascher (2004), se prevé que los cambios en el uso de la tierra van a seguir transformando el paisaje, debido al aumento de la actividad económica, urbanización y el desarrollo agrícola

y ganadero, causando una disminución espacial (tamaño de los parches de bosque) del hábitat para las especies, la degradación del suelo y la pérdida de otros beneficios ambientales del bosque.

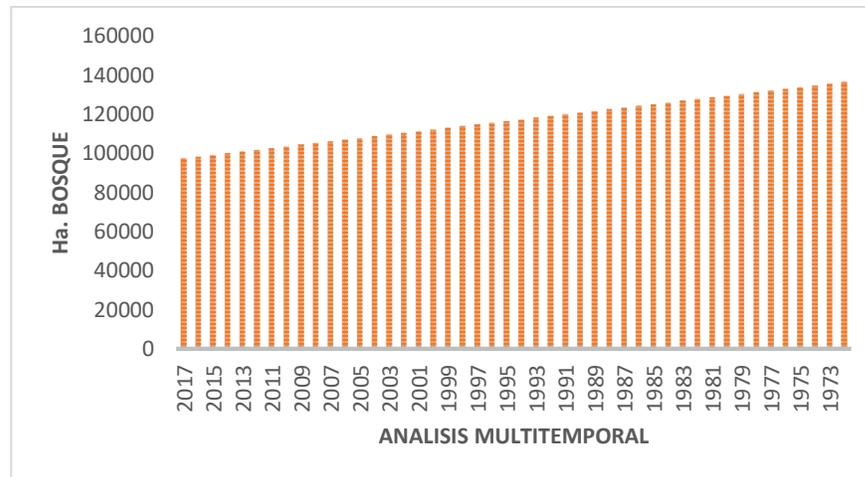


Figura 34. Dinámica de las Cubiertas boscosas en la SZH del río Pauto, 2017 a 1972.

El informe elaborado por el Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques y Carbono operado por el IDEAM (2014), señala que los focos de tala de bosques se están concentrando en zonas claves para la biodiversidad del país, dada la carencia de la planificación territorial, deficiente control y vigilancia de las normas ambientales, afectación ambiental, que no sólo incluyen la reducción de la biodiversidad, hábitats naturales y biomasa vegetal, sino que, además, generan detrimento en la calidad de vida de la especie humana impulsando la pobreza, por la disminución misma de los servicios ambientales que presta directa e indirectamente los bosques. Estos cambios en la cobertura de suelos se dan especialmente cuando se altera y convierte un tipo específico de ecosistema, como los bosques y pastos, en una superficie para la agricultura o ganaderías. Estos cambios alteran los balances de energía local y la composición de las especies dominantes (RESTREPO 2005).

Es necesario recalcar que los frágiles suelos forestales sólo pueden sustentar una vida abundante porque las hojas y las ramas que caen proporcionan nutrientes, por la protección que les proporciona el follaje forestal contra el sol ardiente y las lluvias torrenciales, y dado que las estructuras de las raíces evitan la erosión. Cuando ya no hay árboles, el suelo se agota rápidamente. Los pastos nativos ofrecen pocos nutrientes y escasa protección al suelo, y el exceso de pastoreo acelera la pérdida de nutrientes y la erosión (FAO, 2010).

Se debe destacar que con el estudio realizado por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) del IDEAM y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2016), se estableció que a nivel nacional, se identifica un total

de 124.035 ha deforestadas en 2015 (Tabla 8), reduciéndose un 12% la tasa de deforestación con relación al año 2014 (140,356 ha).

El estudio del IDEAM (2016), sustenta además que a nivel regional se identificaron un comportamiento de reducción en los frentes de deforestación, a su vez afirma que, la menor deforestación regional ocurrida en el periodo 2015, se presentó en la Orinoquía con 9.132 ha, representando el 7% del total nacional. El estudio también revela que en la jurisdicción de cinco departamentos se concentra el 60% de la deforestación nacional, a saber, Caquetá, Antioquia, Meta, Guaviare y Putumayo.

El IDEAM (2016) reporta para Casanare deforestación para el año 2015 de 2.939 ha, equivalente al 2.4% de la deforestación nacional para el año 2015. Situación alarmante, dado que, los bosques en la región Orinoquense son indispensables para la conectividad entre la región Andina y Amazónica, así como, sustento vital para la regulación hídrica de ecosistemas de sabana, más aun, cuando el presente estudio revela que de un área 783.285 ha (SZH río Pauto), apenas 97.417 ha, pertenecen a cubiertas boscosas, equivalente al 12.4%. Situación que amerita generación de estrategias que permitan la conservación de los recursos boscosos y la permanencia de sus bienes y servicios ecosistémicos.

Tabla 8. Cifra de deforestación en Colombia 2015 por departamento.

| <i>Departamentos</i> | <i>Deforestación Anual 2015 (ha)</i> | <i>% Deforestación Nacional</i> |
|----------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| CAQUETA | 23,812 | 19.2 |
| ANTIOQUIA | 15,888 | 12.8 |
| META | 15,369 | 12.4 |
| GUAVIARE | 9,634 | 7.8 |
| PUTUMAYO | 9,214 | 7.4 |
| NARIÑO | 7,432 | 6.0 |
| NORTE DE SANTANDER | 6,819 | 5.5 |
| CHOCO | 5,813 | 4.7 |
| BOLIVAR | 4,566 | 3.7 |
| SANTANDER | 3,584 | 2.9 |
| CAUCA | 3,031 | 2.4 |
| CASANARE | 2,939 | 2.4 |
| VICHADA | 2,690 | 2.2 |
| ARAUCA | 2,395 | 1.9 |
| CORDOBA | 1,937 | 1.6 |
| GUAINIA | 1,340 | 1.1 |
| MAGDALENA | 1,280 | 1.0 |
| AMAZONAS | 1,277 | 1.0 |
| VAUPES | 1,116 | 0.9 |
| HUILA | 686 | 0.6 |
| VALLE DEL CAUCA | 629 | 0.5 |
| TOLIMA | 571 | 0.5 |
| CUNDINAMARCA | 489 | 0.4 |
| CESAR | 448 | 0.4 |
| BOYACA | 347 | 0.3 |
| SUCRE | 245 | 0.2 |
| LA GUAJIRA | 205 | 0.2 |
| CALDAS | 178 | 0.1 |
| RISARALDA | 58 | 0.0 |
| ATLANTICO | 40 | 0.0 |
| BOGOTA, D.C | 2 | 0.0 |
| QUINDIO | 0 | 0.0 |

Fuente IDEAM, 2016.

En la Tabla 8, se observan los datos de deforestación en cada uno de los departamentos de Colombia para el año 2015, con grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura y degradación e intensificación del uso del suelo (LAMBIN 1997). La actividad humana ha sido la transformadora del paisaje en los últimos 300 años (AGUAYO *et al.*, 2009). En un contexto global, los cambios socioeconómicos ocurridos durante la última década del siglo XX conllevaron a numerosos cambios ambientales a diferentes escalas espaciotemporales, con modificación de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y la pérdida de la biodiversidad a un ritmo sin precedentes (VITOUSEK 1994; PIMM *et al.* 1995).

Para comprender la tendencia de la sociedad local a la deforestación, es necesario conocer el contexto histórico, dado que la afectación sobre el recurso boscoso identificado en el presente estudio es continuidad de los procesos generados desde la colonización, que origina la introducción de ganados, la ampliación de grandes áreas destinadas a cultivos, el requerimiento de maderas para las distintas construcciones urbanas, así como para combustible. De esta manera causa un detrimento ecosistémico, que hasta la fecha se ha justificado en el desarrollo tecnológico y económico, como producto de la relación entre la sociedad y el ecosistema (FITZHARDINGE 1994).

Se resalta que la investigación realizada por MORA-FERNÁNDEZ (2011) señala que, las primeras ocupaciones productivas de la Orinoquia, se les atribuye a los misioneros, quienes después de varias incursiones fallidas de orden religioso, en 1659 se hicieron presentes en Tame, Arauca. Las comunidades religiosas, en especial los jesuitas, para su labor evangelizadora se valieron de los centros de misiones que les permitían desligarse de las encomiendas y pueblos españoles; a partir de éstos, crecieron, se fortalecieron y consolidaron los sistemas de haciendas, a lo largo del país, principalmente sobre la cordillera Oriental como los principales sistemas económicos durante el siglo XVII (CORRALES *et al.* 1997).

Amparados jurídicamente, los jesuitas actuaron desde ángulos distintos pero muy relacionados: el económico, el social, el evangélico y el cultural y se extendieron por todo el territorio de forma masiva en Arauca, Casanare y Meta. Con esta política, los jesuitas buscaron tener unidades productivas que se autofinanciaban independiente de la ayuda del estado (GIRALDO 2006; PÉREZ 2007).

Fue tal éxito de la reproducción bovina, que pronto se transformó hacia la cimarronería o retorno casi completo al estado salvaje. Este hecho, muestra que las condiciones ambientales de la América tropical favorecieron en sumo grado la adaptación del ganado, iniciándose el proceso de fijación de genes resistentes a las condiciones tropicales, el cual, aunado al relativo aislamiento de los principales núcleos ganaderos de la colonia, desembocaría en la formación de las razas criollas colombianas.

El modelo alimentario indígena basado en raíces, caza y pesca, fue modificado por un régimen carnívoro, donde la carne vacuna se mezcla con los derivados del maíz y tubérculos como base de la alimentación popular (YEPES 2001). En adelante se estableció como una de las principales actividades económicas en la Orinoquia; no obstante, se fundamentó en prácticas no sostenibles.

La pérdida del recurso boscoso que se sustenta en la Tabla 5, se correlaciona además, con el deterioro de la capacidad productiva del suelo, que se debe en gran medida a la deforestación, y surge en parte, a la demanda de suelo fértil; asimismo el aumento demográfico, y las presiones económicas para intensificar la producción agropecuaria, con el propósito de obtener ganancias inmediatas, como resultado del uso inapropiado de los recursos naturales (NAVIA 2000); En consecuencia, para aumentar el área de terreno disponible se incrementa la deforestación, sucesiva, dado que cuando el suelo reduce su fertilidad, estos terrenos son dedicados al pastoreo de ganado y para el establecimiento de nuevos cultivos se continúa talando los bosques, como se evidencia en la Figura 31., la cual sustenta en color verde las cubiertas boscosas que existían en 1972 y las de 2017, la expansión agrícola en color anaranjado y el bosque deforestado en color rojo.

En concordancia con lo expuesto por MORA-FERNÁNDEZ *et al.* (2013) que sustenta que, la causa principal en el deterioro de las comunidades de los distintos grupos de fauna se debe a la periodicidad, severidad y persistencia de la transformación de los bosques y sabanas durante los ciclos anual de siembra de pastos y arroz. La mayor pérdida de hábitat generada por estos cultivos se presenta entre los meses de marzo y abril, en los cuales se realizan las actividades de arado y preparación del suelo para la siembra. Durante este proceso se tala, poda y extrae toda cobertura natural, dejando el suelo desnudo y destruyendo los hábitats y microhábitats de muchas especies de pequeños mamíferos, aves, reptiles, anfibios y peces que se refugian bajo el suelo en espera de la época de lluvias que dan inicio en mayo y buscan su alimento en los bajos y esteros.

La transformación mecánica derivada de las actividades humanas sobre los suelos de los bancos, bajos, esteros, caños y bosques, repercuten en las condiciones fisicoquímicas del agua, el hábitat físico y los drenajes naturales (MONTROYA *et al.* 2011), interrumpiendo y deteriorando las dinámicas de reclutamiento de larvas o juveniles de muchas especies, que garantizan la continuidad de las poblaciones de grupos tales como peces, anfibios y reptiles.

Los resultados del presente estudio se extrapolan en general a las diferentes formaciones vegetales de la Orinoquia, que están sufriendo cambios considerables, cada vez más intensas. El impacto del desarrollo agropecuario cada vez es más evidente, dado que requiere poca inversión para comenzar a criar ganado en tierras baratas o abandonadas, donde ya crece la hierba y las ganancias pueden ser elevadas, al menos por un tiempo. Pasados apenas entre 5 y 10 años, el exceso de

pastoreo y la pérdida de nutrientes convierten las tierras del bosque, que antes eran un depósito de biodiversidad en terrenos estériles (FAO 2010). Más aún, estos cambios en el uso del suelo se consideran la principal causa de la pérdida y degradación de numerosos hábitats naturales, lo que tiene como consecuencia directa el declive de la biodiversidad (WHITE *et al.*, 1997; WILCOVE *et al.*, 1998; LEPERS *et al.*, 2005).

Valorados los resultados obtenidos en la presente investigación se evidencia que, muestran diferencias sustanciales en referencia al estudio reportado por INFANTE-BETANCOURT & MARTÍNEZ-MORA (2017) que sustenta “el bosque denso aumento en un 4.5 %” en la cuenca del río Pauto (

Figura 35).

2. Con base en la tabla 8 se evidencia cambios importantes en las coberturas más representativas pertenecientes a la cuenca del río pauto, como se observa a continuación.

| CLASES | AREA 1990 m2 | % COBERTURA | AREA 2001 m2 | % COBERTURA | AREA 2015 m2 | % COBERTURA |
|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| BOSQUE DENSO | 262265577.95 | 20.97 | 310529922.00 | 24.83 | 320058463.06 | 25.59 |
| HIDROGRAFIA | 22820201.99 | 1.82 | 48534631.83 | 3.88 | 22607345.13 | 1.81 |
| SUELO DESNUDO | 57233110.89 | 4.58 | 47300127.05 | 3.78 | 180604745.60 | 14.44 |
| VEGETACION 2 | 711614756.40 | 56.91 | 665933228.65 | 53.25 | 497327332.03 | 39.77 |

Tabla 9: Análisis de resultados. Fuente: propia

- Bosque denso aumento en un 4.5 %
- Hidrografía se mantiene en un promedio de 1.81 %
- Suelo desnudo aumento en un 10%
- Vegetación secundaria disminuyo en un 17.13 %

Figura 35. Resultados del análisis multitemporal de las coberturas vegetales en la cuenca del río Pauto, Casanare (INFANTE-BETANCOURT & MARTÍNEZ-MORA 2017).

Los resultados del presente estudio se disponen como insumo para investigar la incidencia de otras actividades antrópicas en la región (Ver Figura 36). Los impactos ambientales generados por la industria petrolera deben ser objeto de estudios específicos, que logren validar la posible afectación y deterioro de los recursos naturales. Es necesario recalcar que estudio realizado por la FAO (2010), sustenta que, el proceso de deforestación comienza con la construcción de carreteras que atraviesan los bosques y los abren a la tala, agricultura y ganadería. Una vez desbrozado el bosque a lo largo de la carretera, llegan los agricultores comerciales o de subsistencia y comienzan a producir

cultivos. Pero el suelo de los bosques tiene muy pocos nutrientes y es demasiado frágil para sustentar los cultivos durante mucho tiempo. Al cabo de dos o tres años, los suelos se han agotado, la producción disminuye y los agricultores dejan crecer la hierba y se van a otra parte. Entonces llegan los productores de ganado.

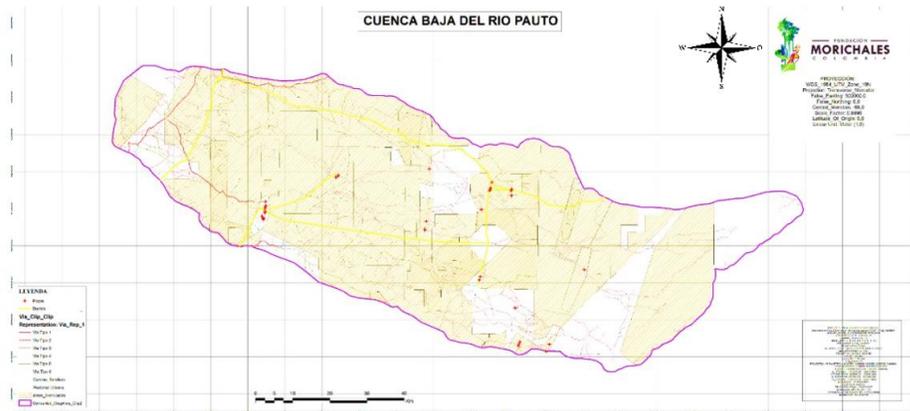


Figura 36. Bloques Petroleros Licenciados dentro de la SZH del Río Pauto. “Elaboración propia”. Fuente de Información Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

El grado de intervención del área da lugar a una fragmentación excesiva de los ecosistemas y puede reducir la aptitud de un hábitat para ciertas especies, al no existir fragmentos suficientemente grandes para mantener poblaciones estables (USHER 1987). Se sabe que las modificaciones humanas son las más determinantes en la fragmentación y deterioro de los ecosistemas, acelerando la pérdida de hábitat y la reducción de la diversidad biológica. El paso de bosque nativo a áreas de pastizales y agrícolas en el área hace que el paisaje se encuentre más fragmentado y el efecto de borde sea más abrupto (USHER 1987).

3.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los bosques de la subzona hidrográfica del río Pauto presentan alta heterogeneidad dadas las condiciones geomorfológicas y climáticas que caracterizan el área, sumado a la regeneración natural. Para los bosques del área de estudio se identificaron 135 especies y con mayor abundancia, frecuencia y dominancia de *Attalea butyracea* (Palma real), seguido de *Guazuma ulmifolia* (Guácimo), *Mauritia flexuosa* (Palma moriche), *Cochlospermum vitifolium* (Bototo), *Spondias mombin*, (Jobo), *Conarus cf. ruber* (sangrito), *Vitex orinocensis* (guarataro), *Guarea guidonia* (trompillo), *Sapium marmieri* (lechero), *Cochlospermum vitifolium* (bototo) y *Jacaranda lasiogyne* (Gualanday).

Las variaciones y contrastes estructurales de la vegetación identificada en el área de estudio están siendo influenciados por la alta presión que ejerce la actividad agrícola y ganadera sobre el recurso boscoso.

Debido a las presiones identificadas (Ganadería, cultivos de arroz y palma, deforestación, quemadas, industria petrolera) sobre el bosque en la SZH del río Pauto se estimó una pérdida de 38.946,92 ha. (Ver Figura 31) de dichas formaciones, entre el periodo 1972 al 2017; de éstas, 3.271 ha. son usadas en la agricultura, 44.010 ha. en pastizales, 1290 ha. se transformaron a cubiertas inundadas, 429 ha. en herbazales y 0.3 ha. de área urbana (Tabla 5). En términos de porcentaje se evidencia un crecimiento exponencial de las cubiertas de agricultura con el 13% representada principalmente, en cultivos de arroz, seguido de palma de aceite y cultivos de pancoger, de acuerdo con la inspección desarrollada en campo. Crecimiento que ha afectado principalmente al bosque y sabanas naturales (Ver Figura 32).

La tasa promedio anual de deforestación (TMAD) en la SZH del río Pauto sustenta que se están deforestando 865 ha/año, cifra de deforestación por año alarmante, dado que estos bosques actualmente tienen apenas un área de 97.417 ha., de un área total de 783.285 ha., es decir, el 12.4% del área objeto de estudio, lo que justifica acciones inmediatas que permitan generar procesos de restauración ecológica y políticas de planificación territorial que garanticen la permanencia en el tiempo los recursos naturales que sustentan estos ecosistemas y sus bienes y servicios ambientales.

Los resultados del presente estudio sustentan una alerta temprana de la pérdida del recurso boscoso, así como, los bienes y servicios ambientales que presta estos ecosistemas. En tal sentido, la información generada se encuentra disponible, para ser usada como insumo para la toma de decisiones en la planificación del territorio.

Se recomienda extender el presente estudio a toda la región Orinoquia, para reconocer las estructuras y composición de los bosques, así como, su dinámica en el tiempo, como soporte que permita desarrollar e implementar estrategias regionales de uso del suelo y donde se determine las necesidades a corto y largo plazo, balance del portafolio de los servicios ecosistémicos e incremento de la resiliencia de paisajes transformados (FOLEY *et al*, 2005). A su vez, es necesario que las entidades competentes promuevan estudios que permitan mantener la información actualizada.

Se recomienda involucrar a la comunidad de la SZH del río Pauto en procesos de educación ambiental que les permita comprender la importancia de conservar el bosque, así como la generación de estrategias de conservación y desarrollo sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI PROYECTOS S.A & ECOPETROL. (2011). Componente Biotico, Estudio de Impacto Ambiental Área de Perforación Exploratoria Llanos 9. 197.
- AGUAYO, M., AZÓCAR, G., WIEGAND, T., & WIEGAND, K. (2006). Revealing driving forces of mid-cities urban growth patterns using spatial modeling: a case study of Los Angeles. *Ecology and Society*.
- AGUILAR, M. (2002). Fotointerpretación. Uruguay: Universidad de la República de Uruguay.
- ÁLVAREZ, M., CÓRDOBA, S., ESCOBAR, F., & FAGUA, G. (2006). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad . Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Ramos López Editorial.
- ALZATE, B. (2001). Introducción a la Percepción Remota e Imágenes Satelitales. Procesamiento digital, análisis y extracción de la información temática. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- AMEZQUITA, E. R. (2013. Cali.). Sistemas Agropastoriles: Un enfoque Integrado para el Manejo Sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia.
- ARIZA, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Instituto Geográfico Agustín Codazzi Bogotá. Colombia.
- AVELLA-M, A., & RANGEL-CH., J. (2012). Composición florística y aspectos estructurales de la vegetación boscosa del Sur del departamento de Córdoba. . J.O. Rangel Ch. (ed.). Colombia Diversidad Biótica XII. La región Caribe de Colombia: 477 537. Universidad Nacional de Ciencias Naturales.Colombia – Instituto d.
- BENAVIDES, J. (2010). El desarrollo económico de la Orinoquia. Obtenido de Corporación Andina de Fomento (CAF): <https://www.caf.com/media/3783/desarrolloorinoquia.pdf>
- BERMÚDEZ, E. P. (2015). Análisis multitemporal de los cambios de la cobertura boscosa en la zona pacífico norte del departamento del Chocó, 1990 - 2014. Manizales: universidad de Manizales.
- BLYDENSTEIN, J. (1962). La sabana de Trachypogon de de Trachypogon del Alto Llano . Bol. Soc. Venez. Cieno. Natur. 102:, 139-206.
- BOCCO, G. (1998). Naturaleza y Sociedad. Escalas de espacio y tiempo. Ciencias. 51., 54-59.
- BOGAERT, J., CELULEMANS, R., & SALVADOR-VAN Eysenrode, D. (2004). A decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Eve Manage*, 62-33.
- BOYD, D., & DANSON, F. (2005). Satellite Remote Sensing of Forest Resources: three decades of research development. *Progress in Physical Geography* 29, pp. 126.
- BRAVO, R., & RUILOVA, M. (2008). BRAVO CASTRO Roberth Paúl, RUILOVA ROJAS María Esther. Árboles de clasificación (Inteligencia Artificial Avanzada). Universidad Técnica Particular de Loja.

- BUTLER, M., MOUCHO, V., BARALE, C., & LEBLANC, C. (1990). The application of remote sensing technology to marine fisheries. Introductory manual. FAO Fisheries Technical.
- C&MA & LEWIS ENERGY. (2013). Componente Biótico. modificación de la licencia ambiental del bloque Guachiría Sur. 3-370.
- CABRERA, E. G. (2011). Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales IDEAM.
- CABRERA-AMAYA, D., & RIVERA-DÍAZ, O. (2016). composición florística y estructura de los bosques ribereños de la cuenca baja del río pauto, casanare, colombia. *Caldasia*, ISSN 2357-3759, 53-85.
- CÁRDENAS-GARCÍA, D. (2016). Sequía en la sabana inundable de Casanare y sus efectos ecológicos: perspectivas de solución (Documento de trabajo No. 02). Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia.
- CARO, M. (2006). Caracterización florística y estructural de la vegetación de un morichal en la hacienda Mataredonda, Municipio de San Martín, Meta. (Trabajo de pregrado, Ecología). Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- CCRS. (1998). Fundamentos de Sensores Remotos. Centro Canadiense de Teledetección.
- CORREA , H. D., RUIZ, S. L., & ARÉVALO, L. M. (2005). Plan de acción en biodiversidad de la cuenca del orinoco – Colombia / 2005 – 2015. propuesta técnica. Bogota D.C.: Corporinoquia, Cormacarena, I.A.V.H, Unitrópico, Fundación Omacha, Fundación Horizonte Verde, Universidad Javeriana, Unillanos, WWF. Colombia. 273 p.
- CELIS, L., RANGEL-CH, O., & MINORTA-CELY, V. (2014). Suelos de la orinoquia colombiana aspectos físicos y químicos con base en la revisión bibliográfica. *Colombia biodiversidad biótica XIV, La región de la Orinoquia de Colombia*.
- CHAVEZ-CORTES, M., BINNQUIST CERVANTES, G., & GARCÍA-CALVA, L. (2010). El valor de las áreas ecológicamente sensibles para el ordenamiento territorial. *Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Planeación Ambiental*, 56-64.
- CHIKHAOUI, M., BONN, A., BOKOYE, & MERZOUK, A. (2006). A spectral index for land degradation mapping using ASTER data: Application to a semi-arid Mediterranean catchment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* núm.7, 140-153.
- CHUVIECO, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones Rialp S.A., 449.
- CHUVIECO, E. (1996). Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: análisis cuantitativo y representación cartográfica. *Serie Geográfica*. Vol.; 6 , 131-147.
- CHUVIECO, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución. *Revista de Teledetección*. Vol. 10., 1-9.

- CHUVIECO, E. (2002). Teledetección Ambiental, La Observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona: Ariel ciencia.
- CHUVIECO, E. (2007). Mirar desde el espacio o mirar hacia otro lado: Tendencias en teledetección y su situación en la geografía española. Documentos de Análisis Geográfica. No 50, 75-85.
- CONNELL, M. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science (Washington, D.C), 1302-1310.
- CORRALES, E., MURGUEITIO, E., FORERO, J., DURAN, D., CIFUENTES, E., CHARA, J., RUIZ, J. (1997). Sabanas, Vegas y Palmares: Reflexiones sobre el uso sostenible del agua en la Orinoquia. Bogotá D.C.: Ed. Carmiña Lopez.
- CORREA GÓMEZ, D., & STEVENSON, P. (2010). Estructura y diversidad de bosques de galería en una sabana estacional de los llanos orientales colombianos (reserva tomogrande, Vichada). Revista Orinoquia - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia , Volumen 14 - Sup (1) 31-48.
- CORTÉS, A. (1986). Las tierras de la Orinoquia, capacidad de uso actual y futuro. Universidad Jorge Tadeo Lozano, 97.
- CORONADO-CHACON, L. (2001). Comprobación de técnicas de procesamiento de imágenes del sensor remoto ETM+ de Landsat 7, en la identificación de Bosques Secundarios en la Región Huetar Norte de Costa Rica, 87.
- DI RIENZO, J., CASANOVES, F., BALZARINI, M., GONZÁLEZ, L., TABLADA, M., & C., R. (2013). InfoStat versión 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- DINERSTEIN, E., GRAHAM, D., OLSON, D., WEBSTER, A., PRIMM, S., BOOKBINDER, M., & LEDEC, G. (1995). Una evaluación del estado de conservación de las eco-regiones terrestres de America Latina y el Caribe. Banco Mundial, 135 pp.
- FAO. (1960). Levantamiento general de los suelos del pie de monte de los Llanos Orientales de Colombia. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 187.
- FAO. (1965). Reconocimiento edafológico de los Llanos Orientales de Colombia. Tomo III. La vegetación natural y la ganadería. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación., 233.
- FAO. (2010). Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales. Departamento Forestal Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 30.
- FAO. (2010). Informes de la FAO sobre políticas pecuarias. Políticas pecuarias 03.
- FAO. (2011). Medir la Degradación del Bosque. Revista internacional de silvicultura e industrias forestales vol 62, 238.
- FERNÁNDEZ-COPPEL, . (2001). El Satélite Landsat: análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat. Universidad de Valladolid, 2001, 37.
- FITZHARDINGE, G. (1994). An Alternative Understanding of the Relationship Between the Ecosystem and the Social System - Implications for Land

Management in Semi-Arid Australia. . The Rangeland Journal vol. 16, 254–264.

- FORMAN, R. (1995). Land mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge, University Press, 602.
- FORMAN, R., & GODRON, M. (1986). Landscape Ecology. New York, John Wiley and Sons, 620.
- GAJARDO, R. (1994). La Vegetación Natural de Chile. Editorial Universitaria, Chile. 165.
- GARCÍA VARELA, A. (2010). LANDSAT. Obtenido de kimerius.com/app/download/5784863998/LANDSAT.pdf
- GARCIA, H. (2014). Deforestación en Colombia: Retos y Perspectivas. Obtenido de Fedesarrollo - Centro de Investigación Económica y Social: <http://hdl.handle.net/11445/337>
- GENTRY, A. (1988). Patterns of plant community diversity on geographical and environmental gradients. . Annals. Missouri Botanical. Garden. Vol.; 75. No 1., 1-52.
- GEOSOCIAL LTDA & LOH ENERGY (2010). Componente Biotico. Estudio de impacto ambiental para el área de perforación exploratoria Llanos 18.
- GIL-LEGUIZAMÓN, P., & MORALES-P., M. (2015). Multitemporalidad de coberturas vegetales del complejo páramo de Bijagual (Boyacá). Ponencia en herramientas de manejo del paisaje. Libro de resúmenes. VIII Congreso Colombiano de Botánica: biodiversidad y país. Manizales, 275.
- GIRALDO-CASTAÑO, G. (2006). La colonización en la Orinoquia Colombiana Arauca (1900-1980). Bogotá: Ediciones Ántropos, 217.
- GÓNIMA, L. (2001). Procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a estudios ambientales. Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global. , 330-333.
- GONZALEZ, A. (2007). Fundamentos de Fotointerpretación. 2 ed. Bogotá. Fundamentos de Fotointerpretación. 2 ed. Bogotá.
- GONZALEZ BORRERO, L.H., ROMERO RODRIGUEZ A.P. (2013) Análisis multitemporal de los cambios de la cobertura de la tierra e incidencia del cultivo de palma en el territorio del municipio de Villanueva Casanare. Pontificia universidad Javeriana facultad de estudios ambientales y rurales. Bogotá D.C., 81.
- GOOSEN, D. (1963). División fisiográfica de los Llanos Orientales. Revista Nacional de Agricultura 697 , 39-41.
- GOOSEN, D. (s.f.). Physiography and soils of the Llanos Orientales, Colombia. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences. 2d ed. Enschede. , 1972.
- GRADEX & COLUMBUS ENERGY. (2009). Estudio de Impacto Ambiental Área de Perforación Exploratoria Bloque Llanos 20. Trinidad.
- GUERRA CEREZO, E. A. (2006). Análisis Multitemporal de la cobertura y uso de la tierra a través del sistema LCCS en la cuenca baja del Río Grande-Santa Cruz. Cochabamba, Bolivia. [En Línea].

- GUSTAFSON, E. J. (1998). Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art? *Ecosystems*, Vol. 1, No. 2. (Mar. - Apr.), pp. 143-156.
- HILL, M. (1979). Twinspan-A Fortran Program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell University, Ithaca, New York. . En Rangel-Ch, J.O..
- LOWY P. & AGUILAR M. Colombia Biodiversidad Biotica II, Tipos de Vegetación en Colombia, 378.
- IDEAM. (2011). Protocolo para la realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal - Escala 1:100.000. Bogotá, D. C.
- IDEAM. (2013). Zonificación y Codificación de Uniades Hidrográficas e Hidrogeológicas. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM): http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIAS_MAPAZONIFICACIONHIDROGRAFICA.pdf
- IDEAM. (2014). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/aumenta-deforestacion-en-colombia-para-2014.
- IDEAM. (2016). LA CIFRA DE DEFORESTACIÓN EN COLOMBIA 2015 REPORTA 124.035 HECTÁREAS AFECTADAS. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/la-cifra-de-deforestacion-en-colombia-2015-reporta-124-035-ha-afectada.
- IGAC. (2005). Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación. Bogotá. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica - CIAF.
- INFANTE-BETANCOURT, P., & MARTÍNEZ-MORA, J. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en la cuenca del río Pauto, departamento del Casanare. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ingeniería Topográfica.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (2014). IGAC. Obtenido de <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/ef2a84804391398596edf7f9d08ae71d/Estos+son+los+5+pecados.pdf?MOD=AJPERES>.
- JARAMILLO, Ú., CORTEZ-DUQUE, J., & FLOREZ-AYALA, C. (2015). Colombia anfibia, un país de humedales volumen I. Bogotá D. C., Colombia. 140 pp.
- JIMÉNEZ, Y., & MORENO, J. (2006). Los SIG en el análisis y el diagnóstico del paisaje. El caso del río Guadix (Parque Nacional de Sierra Nevada). Cuadernos de Geografía Universidad de Granada. Vol.; 39, 103-123.
- KALACSKA, M., & SANCHEZ AZOFEIFA, G. (2007). Ecological fingerprinting of ecosystem succession: Estimating secondary dry forest structure and diversity using imaging spectroscopy. *Remote Sensing*.
- LAMBIN, E., BAULIES, N., BOCKSTAEL, G., & FISHER, T. (1999). Land use and land cover change implementation strategy. IGBP report, 48, IHDP, report 10, Estocolmo.

- LASSO, C. (2013). Morichales y Cananguchales de la Orinoquia y Amazonia: Colombia y Venezuela Parte I. Instituto Alexander Von Humboldt, Bogotá D.C.
- LEPERS, E., LAMBIN, E., JANETO, A., & DEFRIES, R. (2005). A Synthesis of information on rapid land-use change for the period 1981-2000. *BioScience*, 115-124.
- LILLESAND, T., & KIEFER, R. (1999). Remote sensing and image interpretation. John Wiley and Sons, USA. Cuarta edición. 724.
- LUNA-FERNÁNDEZ, V. (2011). Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso del suelo rural-urbano en la región de atlixco, puebla. Colegio de postgraduados institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas campeche-córdoba-montecillo-puebla-san luis potosí-tabasco-veracruz, 10-183.
- MACHADO-ALLISON, A. C., LASSO, J. S., & USMA, P. S. (2010.). Peces Capítulo 7. En: Lasso, C. A., J. S. Usma, F. Trujillo y A. Rial (Eds.). Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia Fundación Omacha, Fundación La Salle e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia)., Bogotá, D.C., Colombia.
- MALDONADO-OCAMPO, J. A., URBANO-BONILLA, A., PRECIADO, J. V., & BOGOTÁ-GREGORY. (2013). Peces de la cuenca del río Pauto, Orinoquia Colombiana. *Biota Colombiana*, vol. 14, núm. 2, julio-diciembre, pp. 114-137.
- MARTINEZ, L., & RUIZ-ORJUELA, L. (2016). Analisis de la pérdida en la cobertura vegetal a partir de un estudio multitemporal 2007 - 2013 parque nacional natural alto fragua indi wasi. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- MATTEUCCI, S., & COLMA, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Organización de los Estados Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, 86.
- MCS & RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED. (2011). Componente Biótico. estudio de impacto ambiental del área de perforación exploratoria del bloque llanos 40.
- MINORTA-CELY, V., & RANGEL-CH, O. (2014). El clima de la Orinoquia colombiana. *Colombia Diversidad Biotica XIV*.
- MONTOYA, J., CASTILLO, M., & SÁNCHEZ, L. (2011). La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos tropicales: Estudios en la cuenca del Orinoco. *Interciencia*. Vol. 36 (12), 899-907 .
- MORA-FERÁNDEZ, C., CASTELLANOS-CASTRO, C., CARDONA-CARDOZO, A., PINZÓN-PÉREZ, L., & VARGAS-RIO, J. (2011). Geología, geomorfología, clima y vegetación. En: T León-Sicard (ed.) Mamíferos, Reptiles y cosistemas del Bloque Cubiro (Casanare): Educación Ambiental para la Conservación.

- Instituto de Estudios Ambientales Universidad Nacional de Colombia, Alange Energy Corp., Bogotá D.C. 49-73.
- MORA-FERNÁNDEZ, C., CASTELLANOS-CASTRO, C., CARDONA-CARDOZO, A., PINZÓN-PÉREZ, L., & VARGAS-RÍOS, J. (2011). Historia de transformación del paisaje, de la cuenca baja del Río Pauto, Casanare (Colombia). Mamíferos, reptiles y ecosistemas del Bloque Cubiro (Casanare) : educación ambiental para la conservación / Jorge Andersson Ahumada ... [et al.]. — Bogotá : Tomás León Sicard.
- MORA-FERNÁNDEZ, C., PEÑUELA-RECIO, L., CABRERA-AMAYA, D., ANGARITA-SIERRA, T., SUÁREZ-CASTRO, F., LÓPEZ-ORDOÑEZ, J., CASTRO-LIMA, F. (2013). caracterización y diagnóstico de las sabanas inundables asociadas a la cuenca del río Pauto. Salud Ecosistémica de las sabanas inundables asociadas a la cuenca del río Pauto Casanare, Colombia. Yoluka ONG, fundación de investigación en biodiversidad y conservación, Fundación Horizonte Verde y Ecopetrol S.A. , 150pp.
- MURCIA, G., HUERTAS, M., RODRÍGUEZ, J., & CASTELLANOS, H. (2011). Monitoreo de los Bosques y Otras Coberturas de la Mazonia Colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales en el período 2002 al 2007. Bogotá, D. C., 226 p., 104: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi.
- OJIMA , D., GALVIN, K., & TURNER, B. (1994). The Global Impact of Land-use Change. *BioScience* 44 (5), 300-304.
- ORTIZ, E. (1999). Introducción a Sistemas de Información Geográfica (Con referencias a IDRISI Windows, 2.0. Serie de Apoyo Académico N°28. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR, Cartago, Costa Rica. , 53.
- PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA. (2014). Colombia Revela su Primera Tasa Anual de Deforestación. Obtenido de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/colombia-revela-su-primera-tasa-anual-de-deforestacion/>
- PATIÑO, N. (2015). Clasificación de la cobertura de la tierra en el suelo rural del municipio de pupiales – Nariño. Manizales: Universidad de Manizales.
- PÉREZ, H. (2007). La hacienda y el hato en la estructura económica, social y política de los Llano colombo-venezolanos durante el periodo colonial. *Procesos históricos*, 11:1-19.
- PIMM, S., RUSSELL, J., GITTLEMAN, J., & BROOKS, T. (1995). The future of biodiversity, *Science* 269: 347-350.
- PINEDA, J., SENDRA, M., & PLATA, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*. 69: , 33-52.
- POSADA, E. (2008). Introducción al procesamiento digital. IGAC.
- RANGEL-CH, J. (2014). La Región de la Orinoquia de Colombia. Colombia Biodiversida Biotica XIV, UNAL. Bogota D.C.: Instituto de Ciencias Naturales, UNAL.

- RANGEL-CH, J., & AGUILAR-P., M. (1995). Una aproximación sobre la Diversidad Climática en las Regiones Naturales de Colombia. Colombia Diversidad Biotica I. Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia, 25-77.
- RANGEL-CH, J., & LOZANO-C, G. (1986). Un perfil de vegetación entre la Plata (Huila) y el Volcán del Puracé. . *Caldasia* 14 , (68-70): 503-547.
- RANGEL-CH, J., & VELÁSQUEZ, A. (1997). Métodos de estudio de la vegetación.p. 59-87 En: Rangel-Ch. J. Orlando, Lowy, C. & Aguilar, M. . (Eds.). Colombia. Diversidad Biótica II: tipos de vegetación en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá, Colombia: Editorial Unibiblos., 436.
- RANGEL-CH, J., SÁNCHEZ-C., H., LOWYC, P., & AGUILAR, M. (1995). Región de la Orinoquia. En: J.O. RangelCh. (ed.). Colombia Diversidad Biótica I. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C, 239-254.
- RANGEL-CH, O., & MINORTA-CELY, V. (2014). Los Tipos de Vegetación de la Orinoquia Colombiana. Colombia Diversidad Biotica XIV, 533-625.
- REJAS-AYUGA, J. G. (s.f.). Tratamiento digital previo de las imágenes - Módulo VII: Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua 2007/2008 EOI.
- RESTREPO, A. (2005). Los sedimentos del río Magdalen. Editorial Universidad EAFIT, 267.
- RIAÑO, O. (2010). Algebra lineal en el procesamiento digital de imagenes" En: Colombia fondo de publicaciones Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas ISBN: 978-958-8337-86-9 V. 1, 330.
- RIPPSTEIN, G., ESCOBAR, G., & MALTA, F. (2001). Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los llanos orientales de Colombia. Cali.
- RIVERA-DÍAS, O., & D. M.-A. (2016). Composición florística y estructura de los bosques ribereños de la cuenca baja del río Pauto, casanare, colombia. *Caldasia - Revistas UNAL - Universidad Nacional de Colombia*, 38(1):53-85.
- RODRÍGUEZ-GALIANO, V., GHIMIRE, B., ROGAN, J., CHICA-OLMO, M., & RIGOL-SANCHEZ, J. (2012). J.P. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for Land-co classification. . *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol.; 67.
- ROMERO, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista aqua TIC* (24), 29., 29.
- ROSETE, F., PÉREZ, L., & BOCCO, G. (2009). Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación 1978-2000 en la Península de Baja California, México. *Investigación ambiental*, 70-82.
- SACRISTÁN-ROMERO, F. (2007). La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista Científica de la Sociedad Española de Acuicultura*. No 29., 79-90.
- SANABRIA-MARÍN, R. (2007). Sistemas de información geográfica y estadística para la determinación de áreas prioritarias de conservación. Grupo de Investigación en Geomática y Ambiente-GIGA. Escuela de Ingeniería Civil

- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. Colombia. Primer Congreso Nacional en Sistemas de Alta Montaña Tropical “Bosque Alto Andino, Páramos de Colombia y Glaciar”, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- SCANTERRA. (2015). Analisis Multitemporal. Obtenido de Sacanterra: http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html.
- SHAO, J., JIUPA, N., WEI, C., & XIE, D. (2005). Land use change and its corresponding ecological responses: a review. 15 3: . Journal of Geographical Sciences., 305-328.
- SIAT-AC. (2015). Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonia colombiana. Obtenido de Tasa promedio anual de deforestación (TMAD): <http://siatac.co/web/guest/tasa-deforestacion>
- SKOLE, D., CHOMENTOWSKI, W., & SALAS, W. (1994). Physical and Human Dimensions of Deforestation in Amazonia. *Bioscience* 44 (5), 314-322.
- TRUJILLO-GONZALEZ, J., TORRES-MORA, M., & SANTANA-CASTAÑEDA, E. (2011). La palma de Moriche (*Mauritia flexuosa* L.f.) un ecosistema estratégico. *Revista ORINOQUIA - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia Volumen 15 - No 1*, 62-70.
- UNIÓN TEMPORAL CAIM-MCS & RAMSHORN INTERNATIONAL LIMITED. (2010). Componente Biotico. Estudio de Impacto Ambiental del Área de Perforación Exploratoria del Bloque Llanos 17.
- USHER, M. (1987). Effects of fragmentation on communities and populations: a review with applications to wildlife conservation. . Saunders, D.A., G.W. Arnold, A.A. Burbidge, Hopkins, A.J.M. (eds). *Nature conservation: the role of remnants of native vegetation*, pp 103-121. Surrey Beatty and Sons, Chipping Norton, Australia., 117-123.
- USMA, J., & TRUJILLO, F. (s.f.). Biodiversidad del Casanare: Ecosistemas Estratégico del Departamento. Gobernación de Casanare - WWF Colombia. Bogotá D.C., 286p.
- VAN AART J.A.N, & WYNNE, R.H. (2001). Spectral separability among six southern tree species. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67, pp. 1367-1375.
- VITOUSEK, P. (1994). Beyond Global warming-ecology and global change. *Ecology*, 75: 1861-1876.
- WHITE, D., MINOTTI, M., BARCZAK, J., SIFNEO, R., & PRESTON, E. (1997). Assessing risk to biodiversity from future landscape change. *Conservation Biology*, 349-360.
- WILCOVE, D., ROTHSTEIN, D., DUBOW, J., & PHILLIPS, A. (1998). Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience*, 607-617.
- YEPES, F. (2001). Ganadería y transformación de ecosistemas: Un análisis ambiental de la política de apropiación territorial. Universidad Nacional de Colombia, facultad de derecho, ciencias políticas y sociales, instituto colombiano de antropología e historia. ICANH. Bogotá, Colombia., pp. 117-172.

ANEXOS

• ID. Imagen Satelital 1972

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0101404028670_00069"
LANDSAT_SCENE_ID = "LM10060561972293AAA05"
FILE_DATE = 2014-04-08T03:14:31Z
STATION_ID = "XXX"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION =
"LPGS_12.4.0"
DATA_CATEGORY = "NOMINAL"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
DATA_TYPE = "L1G"
DATA_TYPE_LORP = "MSSX_LORP"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
EPHEMERIS_TYPE = "PREDICTIVE"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_1"
SENSOR_ID = "MSS"
WRS_PATH = 006
WRS_ROW = 056
DATE_ACQUIRED = 1972-10-19
SCENE_CENTER_TIME = 14:31:44.5000000Z
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = 6.71148
CORNER_UL_LON_PRODUCT = -72.40058
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = 6.72196
CORNER_UR_LON_PRODUCT = -70.14022
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = 4.78746
CORNER_LL_LON_PRODUCT = -72.38917
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = 4.79492
CORNER_LR_LON_PRODUCT = -70.13639
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT =
123960.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT =
743160.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT =
373980.000
CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT =
743160.000
CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT =
123960.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT =
530100.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT =
373980.000
CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT =
530100.000
REFLECTIVE_LINES = 3552
REFLECTIVE_SAMPLES = 4168
FILE_NAME_BAND_4 =
"LM10060561972293AAA05_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LM10060561972293AAA05_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 =
"LM10060561972293AAA05_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LM10060561972293AAA05_B7.TIF"
PRESENT_BAND_4 = "Y"
PRESENT_BAND_5 = "Y"
PRESENT_BAND_6 = "Y"
PRESENT_BAND_7 = "Y"
METADATA_FILE_NAME =
"LM10060561972293AAA05_MTL.txt"
CPF_NAME = "LM1CPF19720723_19780107.05"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_CO = 0.00
CLOUD_COVER_AUTOMATED_L1 = 2.00
IMAGE_QUALITY = 0
SUN_AZIMUTH = 118.25052016
SUN_ELEVATION = 56.41469489
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 201.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = 0.000
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 171.300
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = 9.100
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 161.600
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -8.400
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 159.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = 0.000
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
CORRECTION_GAIN_BAND_4 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_5 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_6 = "CPF"
CORRECTION_GAIN_BAND_7 = "CPF"
GAIN_BAND_4 = "L"
GAIN_BAND_5 = "L"
GAIN_BAND_6 = "L"
GAIN_BAND_7 = "L"
END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 0.791
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 0.639
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 0.669
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 0.626
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -0.79134
RADIANCE_ADD_BAND_5 = 8.46142
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -9.06929
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -0.62598
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 19
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 60.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"

L1_METADATA_FILE
END

• ID. Imagen Satelital 2017

GROUP = FILE_HEADER
LANDSAT_SCENE_ID = "LC80060562017075LGN00"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
NUMBER_OF_BANDS = 11
BAND_LIST = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
END_GROUP = FILE_HEADER
GROUP = PROJECTION
ELLIPSOID_AXES = (6378137.000000, 6356752.314200)
MAP_PROJECTION = "UTM"
PROJECTION_UNITS = "METERS"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 19
PROJECTION_PARAMETERS = (0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000,
0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000)
UL_CORNER = (157500.000, 756000.000)
UR_CORNER = (385500.000, 756000.000)
LL_CORNER = (157500.000, 523200.000)
LR_CORNER = (385500.000, 523200.000)
END_GROUP = PROJECTION
GROUP = EPHEMERIS
EPHEMERIS_EPOCH_YEAR = 2017
EPHEMERIS_EPOCH_DAY = 075
EPHEMERIS_EPOCH_SECONDS = 53955.716064
NUMBER_OF_POINTS = 54
EPHEMERIS_TIME = (0.000000, 1.000000, 2.000000, 3.000000, 4.000000,
5.000000, 6.000000, 7.000000, 8.000000, 9.000000,
10.000000, 11.000000, 12.000000, 13.000000, 14.000000,
15.000000, 16.000000, 17.000000, 18.000000, 19.000000,
20.000000, 21.000000, 22.000000, 23.000000, 24.000000,
25.000000, 26.000000, 27.000000, 28.000000, 29.000000,
30.000000, 31.000000, 32.000000, 33.000000, 34.000000,
35.000000, 36.000000, 37.000000, 38.000000, 39.000000,
40.000000, 41.000000, 42.000000, 43.000000, 44.000000,
45.000000, 46.000000, 47.000000, 48.000000, 49.000000,
50.000000, 51.000000, 52.000000, 53.000000)
EPHEMERIS_ECEF_X = (2317655.300568, 2316468.335837, 2315278.580336, 2314086.086165, 2312890.630758,
2311692.431555, 2310491.509626, 2309287.834726, 2308081.442106, 2306872.220030,
2305660.171846, 2304445.414655, 2303227.884784, 2302007.552540, 2300784.491398,
2299558.654311, 2298330.011641, 2297098.690494, 2295864.511589, 2294627.658237,
2293388.052186, 2292145.740779, 2290900.586242, 2289652.722745, 2288402.151785,
2287148.886816, 2285892.760679, 2284633.921660, 2283372.422484, 2282108.098823,
2280841.024516, 2279571.256924, 2278298.743974, 2277023.601581, 2275745.797512,
2274465.184045, 2273181.804445, 2271895.777501, 2270607.009544, 2269315.574201,
2268021.349875, 2266724.522324, 2265424.895000, 2264122.627084, 2262817.708665,
2261510.151830, 2260199.821275, 2258886.813511, 2257571.224399, 2256252.824512,
2254931.915417, 2253608.171335, 2252281.805190, 2250952.681756)
EPHEMERIS_ECEF_Y = (-6631573.482226, -6632994.293767, -6634407.413604, -6635812.925742, -6637210.838931,
-6638601.080210, -6639983.696057, -6641358.613800, -6642726.145494, -6644085.900467,
-6645438.345620, -6646783.071705, -6648120.100331, -6649449.610697, -6650771.483311,
-6652085.841929, -6653392.515322, -6654691.462642, -6655982.917573, -6657266.860677,
-6658542.896777, -6659811.671464, -6661072.923297, -6662325.938593, -6663571.822697,
-6664809.981826, -6666040.271129, -6667263.089236, -6668478.113849, -6669685.390250,
-6670885.080867, -6672077.259472, -6673261.858681, -6674439.062401, -6675608.449289,
-6676770.032039, -6677923.868018, -6679069.800808, -6680208.512141, -6681339.605471,
-6682462.760761, -6683578.198735, -6684686.186949, -6685786.917803, -6686879.516902,
-6687964.788902, -6689041.864945, -6690111.581883, -6691173.418512, -6692227.547581,
-6693274.567359, -6694313.202915, -6695344.526395, -6696368.126074)
EPHEMERIS_ECEF_Z = (900277.788460, 892912.130890, 885545.449861, 878177.762439, 870809.102799,
863439.445182, 856068.803604, 848697.175364, 841324.622392, 833951.098494.

- **REGISTRO FOTOGRÁFICO VALIDACIÓN DE CUBIERTAS**



Fotografía 7. Validación de Cubiertas Boscosas. Coordenadas 5°41'25.10"N, 71°57'46.83"O. "Registro propio".



Fotografía 8. Validación de Cubierta Pastizales. Coordenadas 5°25'50.30"N, 71°7'54.12"O. "Registro propio".



Fotografía 9. Validación de Cubierta Hidricas. Coordenadas $5^{\circ}20'11.04''\text{N}$, $71^{\circ}1'6.54''\text{O}$. "Registro propio"



Fotografía 10. Validación de Cubierta Bosque. "Registro propio" Coordenadas: $5^{\circ}25'47.40''\text{N}$, $71^{\circ}11'57.70''\text{O}$.



Fotografía 11. Validación de Cubierta Pastizales. "Registro propio" Coordenadas: 5°14'45.24"N, 70°59'50.16"O.



Fotografía 12. Validación de Cubiertas. "Registro propio" Coordenadas: 5°49'50.78"N, 71°53'6.28"O.



Fotografía 13. Validación de Cubiertas. “Registro propio” Coordenadas: 5°38'51.31"N, 71°57'46.05"O.



Fotografía 14. Validación de Cubiertas Cultivos. “Registro propio” Coordenadas: 5°25'24.84"N, 71°33'19.31"O.



Fotografía 15. Validación de Cubiertas Herbazales. “Registro propio”
Coordenadas: 5°20'40.47"N, 71° 2'53.19"O.



Fotografía 16. Validación de Cubiertas. “El Autor”
Coordenadas: 5°21'31.33"N,
71° 3'45.63"O.