

# Análisis de la conectividad ecológica de las áreas protegidas a través del paisaje del departamento de Caquetá, Colombia

Analysis of the ecological connectivity of protected areas through the landscape of the department of Caqueta, Colombia

Angie Lorena Moyano-Molano<sup>1</sup>

Linda Linney Rusinque-Quintero<sup>2</sup>

Grace Andrea Montoya-Rojas<sup>3</sup>

*Recibido 08 de abril de 2021; aceptado 30 de junio de 2021*

## RESUMEN

La pérdida de conectividad del paisaje se traduce en la disminución del funcionamiento conjunto de los flujos o procesos ecológicos que sobre dicho paisaje se encuentren. En el departamento de Caquetá, al sur de Colombia, se localizan 13 áreas protegidas que cubren el 38,50% de su área, su función ecológica está dada gracias a la interacción de los elementos del sistema Andes-Amazonía. A continuación se presenta el cálculo de un índice de conectividad ecológica para conocer el estado de la conectividad de las áreas protegidas en el departamento; el índice es calculado a partir del análisis y construcción de insumos cartográficos, permitiendo identificar el comportamiento de diversos elementos del paisaje agrupados en cinco sistemas planetarios, cada elemento demuestra la medida en que favorece o no la propagación de los flujos, es decir, si son favorecidos se entiende que el paisaje se encuentra conectado. Los elementos del paisaje demostraron un comportamiento sistémico; es decir, que hay interacción entre ellos, y evidencian que en mayor porcentaje los flujos son

<sup>1</sup> Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.-Ingeos SAS, Colombia, correo electrónico: angiemoyano@saltamontesoutdoor.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1084-5192>

<sup>2</sup> Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.-Ingeos SAS, Colombia, correo electrónico: lindarusinque@saltamontesoutdoor.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1999-786X>

<sup>3</sup> Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.-Ingeos SAS, Colombia, correo electrónico: gamontoya@saltamontesoutdoor.com. ORCID: <https://orcid.org/0001-9284-1111>

favorecidos y tienen un movimiento alto y que en menor valor las perturbaciones a los flujos representan movimientos moderados o con dificultad, esto fue reflejado en que el 99% de las áreas protegidas se encuentran conectadas, además se identificó que este porcentaje depende casi en su totalidad de la extensión y estado de conservación del PNN Serranía de Chiribiquete, y que el porcentaje de área protegida desconectada se localiza especialmente en los municipios de San Vicente del Caguán y Cartagena del Chairá.

Palabras clave: *Áreas Protegidas, conectividad, Ecología del paisaje, flujos, Caquetá.*

## **Abstract**

The loss of the landscape connectivity translates into a decrease in the joint functioning of the ecological flows or processes that are found on said landscape. In the Caquetá department, in the south of Colombia, there are 13 protected areas that cover 38.50% of their area, their ecological function is given thanks to the interaction of the elements of the Andes-Amazon system. Showing up next is the ecological connectivity index calculation to now the status of the protected areas connectivity in this department. The index is calculated from the analysis and cartographic inputs construction which allow to identify each landscape elements behavior grouped in five planetary systems, every element demonstrates the extent to which it favors or not the propagation of flows, that is, if they are favored, it is understood that the landscape is connected. The landscape elements demonstrated a systemic behavior since they interrelate with each other and show that in a higher percentage the flows are favored and have a high movement while in a lower value the flows present moderate or difficult movements, this was reflected in that the 99% of the protected areas are connected, it was also identified that this value depends almost entirely on the extension and state of conservation of the elements around and within the PNN Serranía de Chiribiquete, also that the percentage of disconnected protected area is located especially in the San Vicente del Caguán and Cartagena del Chairá municipalities.

Key words: *Protected Areas, connectivity, Landscape ecology, flows, Caquetá.*

## **1. Introducción**

Entre las diferentes formas de visualizar las representaciones de los elementos de un espacio geográfico y cómo estos han cambiado en el tiempo, la cartografía ha sido posiblemente el recurso mejor ideado para plasmarlo a lo largo de varios siglos (Torres-Márquez, 2016). Sin embargo, a partir de mediados del siglo anterior se producen un conjunto de fenómenos que llevan al desarrollo de la cartografía de manera digital, incrementando la disponibilidad de datos espaciales y de técnicas para su análisis, esto gracias a la necesidad de evaluar los cambios acelerados sobre la superficie terrestre por las diversas dinámicas que en el papel no se pueden apreciar, la necesidad de contrastar o combinar diferentes mapas para entender de manera sistemática la interacción de los

elementos geográficos, esto llevó a que hoy en día el desarrollo tecnológico permitiera el manejo de grandes volúmenes de datos espaciales, desarrollando cada vez más herramientas de digitalización y automatización de la cartografía esto se aprecia especialmente en el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Alonso-Sarría, 2006).

Para este estudio se tomaron diversos insumos cartográficos que representan elementos del paisaje agrupados en cinco sistemas planetarios (Montoya-Rojas, 2018a) con el fin de saber cómo su configuración desde la ecología del paisaje condiciona el movimiento de los flujos ecológicos, sean atmosféricos, hídricos, biogeoquímicos, movimiento de especies o flujos antrópicos; la ecología del paisaje tiene como aspecto central el análisis de la relación entre patrones y los procesos espaciales considerando la heterogeneidad del paisaje y los flujos, relaciones o procesos ecológicos que por él se muevan (Zetterberg, 2011), además de esto, se hace uso del índice ProtConn o “índice Protected Connected Land” que cuantifica el porcentaje de un área de estudio cubierta por áreas protegidas (AP) conectadas, este índice permite identificar dónde son necesarios los esfuerzos adicionales de conservación para robustecer la conectividad ecológica de las AP (Areiza *et al.*, 2018) en este caso el índice cuantifica la conectividad ecológica de las áreas protegidas del departamento de Caquetá en Colombia.

Por otro lado, se entiende que las AP son espacios esenciales para la conservación de la biodiversidad puesto que de ellas depende el destino de especies en peligro de extinción, la preservación de ecosistemas saludables y la prestación de servicios ecosistémicos (Gray *et al.*, 2016; Saura *et al.*, 2017). Años atrás estas áreas eran consideradas como el eje central de la conservación, sin embargo su enfoque cambió ya que como indican Juffe-Bignoli *et al.* (2014); las áreas protegidas deben ser manejadas como parte de un paisaje complejo ya que la efectividad de estas obedece al comportamiento de presiones externas las cuales condicionan la conectividad entre ellas facilitando o dificultando los flujos ecológicos construyendo así redes y sistemas que tienen en cuenta la relación interdependiente con los ecosistemas circundantes (Gray *et al.*, 2016), incluso haciendo participar al ser humano con el fin de que la conservación de la naturaleza con sus flujos se garanticen tanto a escala regional, nacional como trasnacional (Bennett, 2004; CDB —Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2018; Herrera & Díaz, 2013).

Al sur de Colombia se encuentra el departamento de Caquetá el cual contiene alrededor del 75% del AP de carácter nacional más extensa del país, Patrimonio Mixto (natural y cultural) de la Humanidad y una de las zonas más ricas en biodiversidad del planeta (Ciro-Rodríguez, 2018), se trata del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete (PNNSCH), en él confluyen elementos biogeográficos de distintos orígenes; de la selva amazónica, de la cordillera de los Andes y de los Llanos Orientales, convirtiéndolo en un espacio geográfico importante en la interacción de distintos flujos ecológicos (Naranjo, 2017), también en distintos procesos industriales productivos que requieren una gestión ambiental integral (Montoya-Rojas *et al.*, 2016). Además de esta,

Caquetá cuenta con parte de 12 AP más registradas en el RUNAP (Registro Único Nacional de Áreas Protegidas, 2019).

Este departamento ha sido escenario del conflicto armado por la presencia de las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC) y ahora, disidencias de esta guerrilla, llevaron a la construcción de distintas bases militares y el asentamiento de grupos paramilitares (Núñez *et al.*, 2014; Vélez, 2018), también ha sido protagonista de distintas olas extractivistas y dinámicas productivas que han modelado su paisaje ocasionando que este sea uno de los departamentos con más deforestación del país (Ciro-Rodríguez, 2018; IDEAM, 2017, 2018, 2019a); Otras actividades que se llevan a cabo condicionan la conservación de procesos ecológicos regionales, la mitigación y adaptación frente al cambio climático y parte de la pluriculturalidad de la región (Juffe-Bignoli *et al.*, 2014), es por esto, por lo que el análisis de la conectividad entre las AP de Caquetá permite reconocer en qué lugares se están llevando a cabo actividades que perturban con la propagación adecuada de los flujos ecológicos través del paisaje (Saura *et al.*, 2017).

## 2. Metodología

La metodología para la obtención del objetivo propuesto se basó en el desarrollo de las etapas que se exponen a continuación, además, la información en función de los criterios de análisis e insumos disponibles se encuentra a escala 1:100 000 dando como resultado un estudio semidetallado (Martínez-Ardila *et al.*, 2017) y una zonificación multicriterio (Montoya-Rojas, 2011b) a nivel departamental en una de las cuencas hidrográficas más importantes del suroriente colombiano.

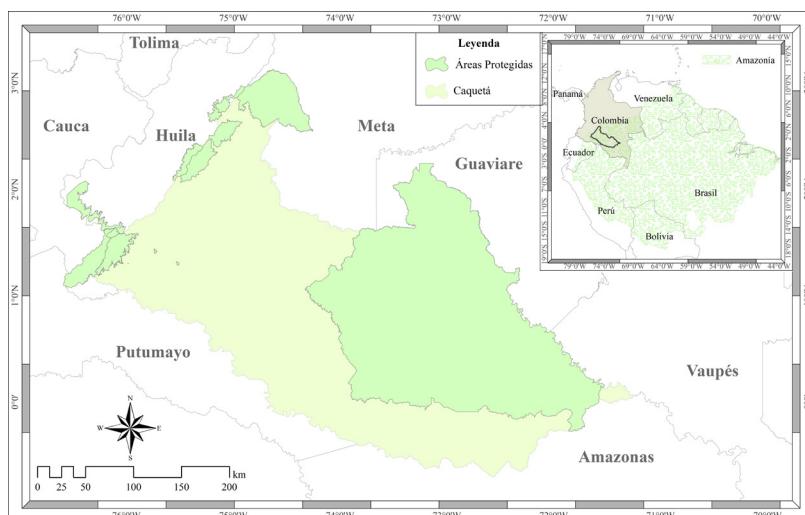
- Selección de insumos cartográficos en formato ráster elaborados por instituciones del país que representaran los diversos elementos del paisaje.
- Construcción de cinco matrices de costo a partir de la asignación de costos a cada elemento que según sus características condicionan el nivel de propagación de los flujos.
- Construcción de una superficie de fricción como el resultado de la interacción conjunta de las matrices de costo.
- Cálculo del índice ProtConn.

Una matriz de costo es este caso es un mapa donde el conjunto de pixeles que lo compone contiene un valor numérico que representa el costo energético que supone recorrer este espacio, es decir, valores bajos representan costos bajos para el movimiento, estas matrices permiten medir las trayectorias (de píxel a píxel) de menor coste a lo largo de una red desde varios orígenes a varios destinos, por ejemplo, entre las diferentes áreas protegidas (GEASIG — Especialistas en SIG y Medio Ambiente, 2019). Por otro lado, la superficie de fricción en un principio tiene la misma finalidad que una matriz de costo, para este caso la superficie representa el valor ponderado del conjunto de pixeles que componen las matrices, es decir un mismo espacio geográfico representado en un pixel contiene un valor por cada sistema planetario, el pixel de la superficie de fricción contendría entonces el promedio de dichos valores.

## 2.1 Área de estudio

Es seleccionado como base del área de estudio el departamento de Caquetá en Colombia, que por su localización sobre la cordillera de Los Andes y la selva Amazónica se convierte en un área de conectividad entre las AP de estas dos regiones (CEPAL —Comisión Económica para América Latina y el Caribe & Patrimonio Natural, 2013). Este departamento se encuentra al sur del país con un área de 90.108 km<sup>2</sup>, sus extremos geográficos se encuentran; al norte en 2° 57' 66", al este a -71° 18' 52", al sur en -0° 42' 66" y al oeste a -76° 8' 93", tiene una población de 359.602 habitantes (DANE —Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018) y administrativamente se divide en 16 municipios: Florencia su capital, Albania, Belén de los Andaquíes, Curillo, El Doncello, El Paujil, La Montañita, Milán, Morelia, Puerto Rico, San José del Fragua, Solita, Valparaíso; y los de mayor extensión son San Vicente del Caguán, Cartagena del Chairá y Solano. Saber sus municipios permite identificar en cuales de ellos se encuentran el porcentaje de área protegida desconectada lo cual sería valioso desde la gestión territorial de cada uno ya que permite considerar la incorporación de instrumentos técnicos de planeación que consideren las AP en los procesos de ordenamiento territorial permitiendo una gestión más apropiada a partir de su influencia en el grado de conectividad de las AP evaluadas (Paredes-Leguizamón, 2018).

Las áreas protegidas con las que este departamento cuenta se enlistan en el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas, identificando allí 13 de estas con diferentes categorías de manejo; Parques Nacionales Naturales (5), Parques Naturales Regionales (4), Reservas Naturales de la Sociedad Civil (3), y Reservas Forestales Protectoras Nacionales (1). El área de cada una de estas AP no se encuentra en su totalidad dentro del departamento, condicionando la selección



**Figura 1.** Localización área de estudio y AP.

del área de estudio como la sumatoria del departamento y las AP que se traslanan con este, siendo así incorporados segmentos de los departamentos de Huila, Cauca, Meta y Guaviare, obteniendo un área total de estudio de 105.223 km<sup>2</sup> con altitudes en la Llanura Amazónica desde los 56 hasta los 3.689 msnm en la cordillera Andina (Figura 1).

## 2.2 Insumos cartográficos

Para saber el estado de la conectividad de las AP a través del paisaje del departamento, es necesario contar con una superficie de fricción (o costo) ya que esta permite identificar las áreas en donde es o no favorecida la conectividad o propagación de flujos a través del paisaje integrando todos los sistemas (Balbi *et al.*, 2019). Esta superficie se genera a partir de la ponderación de un conjunto de matrices de costo, matrices resultantes de diferentes elementos del paisaje evaluados en cinco sistemas planetarios; atmosférico, hidrosférico, geosférico, biosférico y antroposférico (Montoya-Rojas, 2018a), a continuación, se describen cada uno de ellos.

Para el sistema atmosférico se tuvo en cuenta la precipitación como el elemento influyente en la propagación de flujos, su información fue obtenida del *Atlas de precipitación media total anual. Promedio multianual 1981-2010*, elaborado por el IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2014), las precipitaciones del área de estudio oscilan entre los 1.000 y 5.000 mm/año.

Para el sistema hidrosférico, desde la hidrología se tomaron elementos como cuerpos de agua, entre ellos ríos, lagunas y pantanos plasmados en la cartografía base del departamento (IGAC —Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018). Como segundo insumo para este sistema, pero desde la hidrogeología se contemplaron las zonas potenciales de recarga de aguas subterráneas clasificadas en alta, moderada, baja y muy baja potencialidad, esta información fue elaborada por el IDEAM (2019b) y en ella se representa la información a escala 1:1'000.000, rompiendo el parámetro de escala estimada para este estudio, sin embargo, se consideró útil ya que para hablar en términos hidrogeológicos se abarcan flujos de grandes regiones teniendo en cuenta la gran variabilidad geográfica y geológica del país indicando que todos los sistemas de flujo están contenidos dentro de escalas regionales (Thót, 1963), con interrelaciones hidrosistémicas que distribuyen beneficios ecológicos a los demás sistemas planetarios (Montoya-Rojas *et al.*, 2020).

En el sistema geosférico se tomó el suelo como el elemento influyente, la información utilizada es producto del IGAC (2014), donde los suelos fueron agrupados por el nivel de suborden según sus componentes a partir del Orden al que pertenecen, para la clasificación USDA en Soil Survey Staff (2014) se obtuvieron 12 diferentes subórdenes y fuera de esta clasificación, tres suelos especiales asociados a centros urbanos, cuerpos de agua y afloramientos rocosos.

Consiguiente a este, se encuentra el sistema biosférico en el cual los elementos que condicionan los flujos asociados a movimientos de especies

animales son: primero la cubierta biofísica (o cobertura) representada en el insumo de Monitoreo de los bosques y otras coberturas producto del SINCHI (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, 2018). Estas coberturas están basadas en la metodología Corine Land Cover para Colombia y en el área de estudio se presentaron 45 coberturas diferentes desde pastos limpios hasta bosques densos, las coberturas están relacionadas con las especies tanto animales como vegetales, ya que esta hace parte del entorno de las especies y particularmente de las características que determinan dónde estas se encuentran o no (Bamford & Calver, 2014) y segundo, las vías de la cartografía base (IGAC, 2018) ya que estas tienen un impacto negativo sobre la fauna silvestre causando fragmentación, modificación de hábitat, cambio en los patrones reproductivos y mortalidad en la fauna que por allí transite (Arroyave *et al.*, 2006).

Para el último sistema, el antroposférico se tuvo en cuenta al ser humano como el ente con capacidad de alterar los factores naturales, puesto que en el paisaje suceden interacciones entre elementos bióticos y abióticos, donde se encuentra el ser humano (Zubelzu & Allende, 2015). En este caso se tomó lo propuesto por Montoya-Rojas (2018a) para analizar este sistema desde tres criterios de manera independiente; el agrosistema, el antroposistema y el tecnosistema, para posteriormente unificar los elementos como un solo sistema.

El agrosistema es definido por Montoya-Rojas (2018a) como aquel en el que se tiene en cuenta el servicio de abastecimiento, en especial de alimentos y materias primas; enfocado al aprovechamiento de recursos por parte del ser humano, se tomó la información de coberturas del 2018 del departamento ya mencionada en el sistema anterior pero ahora con énfasis en las coberturas intervenidas por el ser humano para dichas actividades, entre estas los territorios agrícolas y áreas seminaturales en las que, según Corpoamazonia (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía, 2012), se llevan a cabo actividades como ganadería y agricultura, además por referirse al aprovechamiento de recursos se consideró la extracción de hidrocarburos y los cuerpos de agua donde se lleva a cabo la pesca para el consumo humano siendo parte de las actividades productivas más importantes de la región amazónica (Corpoamazonia, 2012).

El criterio del antroposistema es definido como el suelo transformado por el ser humano para la construcción de infraestructura que satisface sus necesidades básicas como salud, educación, vivienda, empresas y transporte (Montoya-Rojas, 2018a). En el área de estudio se identificaron como parte de este criterio los aeropuertos, las áreas urbanas, las vías y la red de ríos navegables ya que Corpoamazonia (2011) menciona la importancia de esta infraestructura de red fluvial a través de la cual se establece comunicación entre las zonas rurales más apartadas de la capital departamental.

Y, por último, desde el tecnosistema se incluyeron las zonas que contaran con alguna figura legal de conservación o manejo especial ya que preservan alguna parte del sistema natural (Montoya-Rojas, 2018a). Bajo esa definición se tomaron las diferentes áreas protegidas del SINAP (Sistema Nacional de Áreas Protegidas

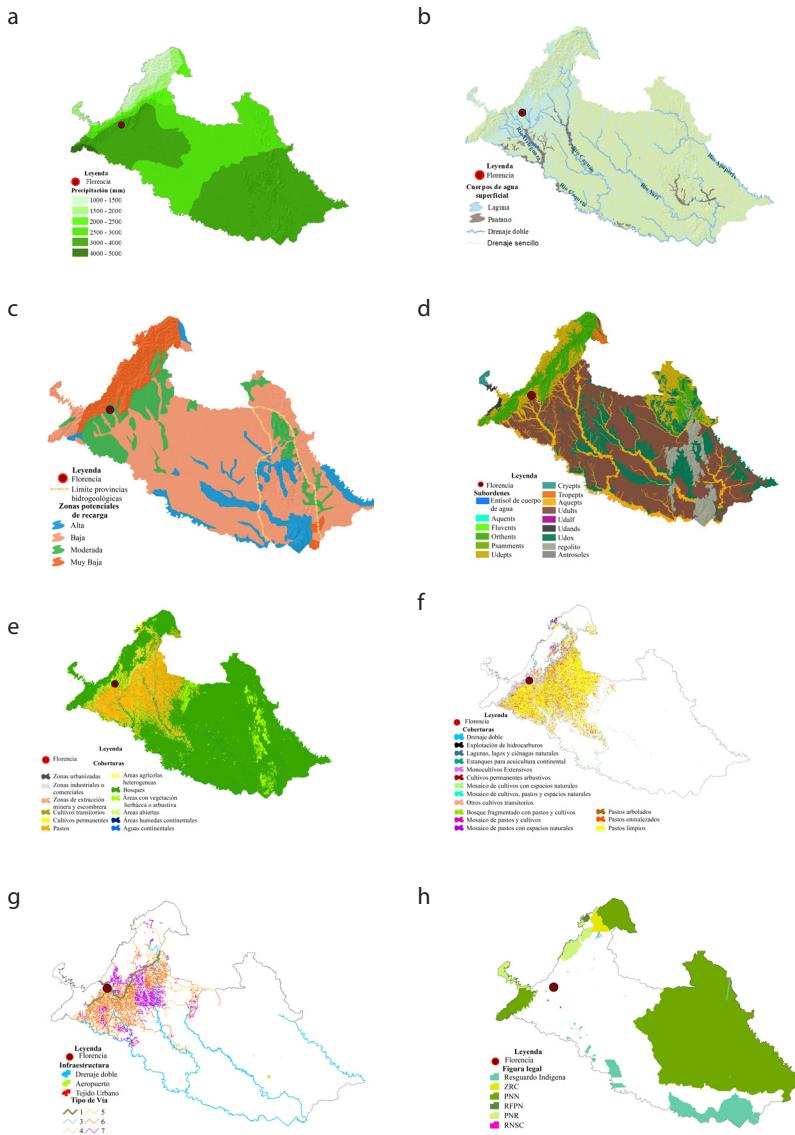
de Colombia) y otras áreas como Resguardos Indígenas y Zonas de Reserva Campesina. A continuación, se enlista la totalidad de los insumos utilizados con información asociada (Tabla 1) y representación espacial (Figura 2).

**Tabla 1.** Insumos cartográficos por sistema planetario

<i>Sistema</i>	<i>Insumo</i>	<i>Año</i>	<i>Escala</i>	<i>Formato</i>	<i>Fuente</i>
Atmosférico	Precipitación media total anual. Promedio multianual 1981-2010	2014	1:100.000	Atlas	IDEAM
Hidrosférico	Zonas potenciales de recarga de agua subterránea	2018	1:1.000.000	Atlas	IDEAM
	Cartografía base nacional	2019	1:100.000	Shape	IGAC
Geosférico	Suelos del Territorio colombiano. Depto. Caquetá	2014	1:100.000	Shape	IGAC
Biosférico	Monitoreo de los bosques y otras coberturas	2018	1:100.000	Shape	SINCHI
	Cartografía base nacional	2019	1:100.000	Shape	IGAC
	Cartografía base nacional	2019	1:100.000	Shape	IGAC
	Monitoreo de los bosques y otras coberturas	2018	1:100.000	Shape	SINCHI
	Áreas Protegidas	2018	1:100.000	Shape	RUNAP
Antroposférico	Mapa de Clasificación de las Tierras por su Vocación	2017	1:100.000	Shape	IGAC
	Territorios Indígenas	2017	1:100.000	Shape	RAISG*
	Zonas de reserva campesina	2019	1:100.000	Shape	ANT**

**Nota:** \*RAISG- Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada.

\*\*ANT- Agencia Nacional de Tierras de Colombia.



**Figura 2.** Insumos cartográficos: a) precipitaciones, b) hidrología, cuerpos de agua, c) hidrogeología, zonas potenciales de recarga, d) subórdenes de suelos clasificación USDA, e) coberturas de la Tierra Corine Land Cover, f) agrosistema, coberturas transformadas por el ser humano, g) antroposistema, infraestructura, h) tecnosistema, figuras legales de conservación.

## 2.3 Matrices de costo

Las matrices de costo se generaron a partir de valores asignados a cada celda o pixel, los valores fueron adaptados de la escala planteada por Beier *et al.* (2009) en la que se utiliza una escala de 1 a 10 con cuatro intervalos, como lo muestra la Tabla 2; los costos de 1-3 corresponden a las zonas donde los flujos tienen un alto movimiento, los valores de 4-5 indican un movimiento moderado, de 6-7 para las zonas en las que los flujos tienen dificultad de movimiento y de 8-10 indicando restricción en este; esta valoración fue adaptada de cómo se desarrolló en Colorado *et al.* (2017) por cada sistema planetario en los elementos mencionados en la etapa anterior.

**Tabla 2. Escala de costos**

Escala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Característica de los flujos	Alto movimiento		Movimiento moderado		Movimiento con dificultad		Movimiento restringido			

La asignación de los costos dependió de las características de los elementos de cada sistema planetario, por ejemplo, para las precipitaciones los costos se asignaron a partir de los intervalos de precipitación por su magnitud en milímetros; en este caso, toda el área de estudio se evaluó dentro del primer intervalo de la escala (1-3) ya que las altas precipitaciones reflejarían un alto movimiento de flujos. Para la hidrología los costos partían de las condiciones registradas en literatura secundaria sobre el estado de los cuerpos de agua, los valores dentro del primer intervalo (1-3) se distribuyen con el costo más bajo donde no se registra perturbación o alteración en los ciclos naturales de estos cuerpos, los costos medios, a aquellos cercanos a centros poblados o los influenciados por actividades turísticas, esto último se tuvo en cuenta ya que cualquier actividad de esta categoría genera impactos negativos contribuyendo la degradación de los ecosistemas (Gualy-Montealegre *et al.*, 2013), los siguientes costos como 5 y 6 se asignaron dependiendo del nivel de perturbación antrópica; el mayor costo (6) para cuerpos con presencia de mercurio, resultado de la explotación de oro (Salazar *et al.*, 2019) y un costo de 5 a los cuerpos de agua cercanos o expuestos a la contaminación por aguas residuales siendo variables que dificultan la movilidad de los flujos asociados. Para la hidrogeología se consideró de manera sistemática cuán influente es cada zona según su potencialidad de recarga en el conjunto de flujos subterráneos, las zonas con mayor potencial de recarga les correspondió el menor costo del intervalo 1-3 por ser zonas de protección especial, ya que la Ley N°99 de 1993 considera que "Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial" y para las siguientes zonas; moderada, baja y muy baja el costo aumentó conforme disminuía su potencialidad de recarga.

Posteriormente, para el sistema geosférico se tuvieron en cuenta los flujos inherentes a los suelos como lo son la materia orgánica, los minerales, los microorganismos, el aire y el agua, ya que la dinámica e interacción entre cada elemento determina la funcionalidad de este (FAO —Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y Agricultura, 1996; Gonzales & Etcheverts, 1999; Montoya-Rojas, 2018b), así bien, para los subórdenes de suelos que permitieran la existencia de todos los flujos tendrían costo de 1 y conforme carecen de uno de ellos aumenta su costo. Los subórdenes encontrados según la clasificación USDA en el área de estudio corresponden a los órdenes: *inceptisol*, *entisol*, *alfisol*, *andisol*, *ultisol* y *oxisol*; los centros urbanos son catalogados como suelos *antrosoles* debido a la fuerte modificación por el ser humano, dado que hay una transformación física y química por los materiales intrínsecos en las actividades antrópicas y por ende les corresponde costo de 9 dentro de la escala de valoración ya que se asocian a suelos compactos y muy densos que carecen de poros dificultando sus flujos (FAO, 2008), los cuerpos de agua son denominados dentro de la categoría de suelos especiales como *entisoles* de cuerpos de agua por su relación con materiales aluviónicos, sin embargo, es importante aclarar que se considera que no existe suelo si la superficie está cubierta en forma permanente por agua, y si esta está a 2,5 m. de profundidad impidiendo por completo el desarrollo de vegetación (Soil Survey Staff, 2014), por último, se encuentra el regolito que, si bien está compuesto por partículas de rocas, aún no constituye un suelo formado (Montoya-Rojas, 2018a), una vez se forme este suelo, se comienza a formar la Geoderma, importante para la formación de ecosistemas (Montoya-Rojas, 2019) y para este caso les correspondió un costo de 5.

En el sistema biosférico una estrategia para determinar actividades de conservación es la selección de un número pequeño de especies denominadas “especies focales”, suponiendo que al usar los requisitos espaciales de estas en establecimientos suficientemente grandes e interconectados se cumplirá con los requisitos de las demás especies que allí habiten (Dinerstein *et al.*, citado en Kattan & Naranjo, 2008). Para este sistema se quiso utilizar esta metodología tomando tres especies focales considerando las recomendaciones de Alonso *et al.* (2017); Kattan & Naranjo (2008) quienes mencionan que estas son especies emblemáticas de la región, de las que se tenga interés para conservación, que cumplan con características ecológicas contrastantes y que tengan información disponible; así pues, las especies focales seleccionadas fueron; el jaguar (*Panthera Onca*), el mono churuco o mono lanudo gris (*Lagothrix lagotricha lugens*) y el águila arpía (*Harpia harpyja*). Para la matriz de costo se relacionaron las coberturas de la tierra que pudiesen restringir o no el movimiento fluido de cada una de las especies y se promediaron estos valores, por ejemplo, se clasificó en el intervalo de mayor costo (8-10) aquellas coberturas intervenidas por el ser humano que afectan el balance agroecológico y son evitadas por las especies (Alba *et al.*, 2013; Montoya-Rojas *et al.*, 2014), las coberturas que para cada especie representaran un lugar utilizable pero no adecuado para su reproducción fueron calificadas en el intervalo 6-7, de 4-5 se calificaron aquellas que permiten una reproducción marginal y de 1-3 las coberturas que cumplen con las condiciones del hábitat reproductivo preferido por las especies (Beier *et al.*, 2009).

Para el agrosistema, criterio del antroposistema, se calificaron las coberturas de la tierra transformadas por el ser humano en contraste con la vocación del suelo, siendo esta la determinación del uso más apropiado que puede soportar cada uno de ellos, buscando una producción sostenible, sin deteriorar los recursos naturales, ni generar cargas de contaminación orgánica (IGAC, 2014; Montoya-Rojas, 2011a; Pochiraju, 2019); es decir que en este criterio las coberturas que se encuentran sobre suelos con vocación óptima, contaron con costos de 1 y dependiendo de cuán conflictivas sean las coberturas aumentaba sus costos, por ejemplo para nombrar un caso, al considerar la cobertura de pastos limpios (donde predomina la actividad ganadera) y la vocación ganadera se les asignó costo de 1, mientras que si el suelo es de vocación forestal o de conservación obtuvieron una calificación de 8. La infraestructura (antrosistema) fue calificada según su contribución en la interacción de la población, dado que se analiza desde la ecología del paisaje es necesario incluir los flujos antrópicos y este criterio analiza su conectividad por medio de las diferentes obras civiles, Rozas & Figueroa (2006) mencionan que la representación física del concepto abstracto de conectividad es la estructura conformada por redes de corredores que sirven para movilizar bienes, servicios y personas entre distintos puntos del territorio, por esta razón a las vías tipo 1 y 3 (con mayor amplitud, mejor revestimiento y mayor flujo de movilidad) se les asignó un costo de 1, luego las demás fueron calificadas según el volumen de tráfico que permiten y la calidad de su revestimiento, las vías tipo 4 y 5 se encuentran en el intervalo de costo de 4-5 debido a que permiten un movimiento moderado y las vías tipo 6 y 7 cuentan con un costo de 6 ya que por ellas se produce dificultad en el movimiento, a los aeropuertos, círculos urbanos y centros poblados de los municipios por ser puntos de concentración de servicios esenciales para el ser humano y su conectividad se le asignó un costo 1, por otro lado la red de drenaje dependiendo de si hacen parte de la red primaria o secundaria de navegación se les asignó costo de 1 y 3 respectivamente.

Para finalizar, en el tecnosistema se dio un costo a cada una de las áreas que representan una figura legal de conservación dependiendo del nivel de conservación y manejo especial de los recursos naturales que representan. Se asignaron costos únicamente del intervalo 1-3 puesto que todas estas áreas conservan alguna parte del sistema natural, unas en mayor grado que otras; las áreas sin figura legal de conservación pero con cobertura vegetal no modificada tuvieron un costo de 3, luego las áreas calificadas con 2, son aquellas que permiten el uso de los recursos naturales dentro de estas pero sin una población beneficiaria específica lo que podría dar lugar a conflictos, como es el caso de las Reserva Forestal Protectora (MADS, 2017) y los Parques Nacionales Regionales (Bonilla & Higuera, 2016) y, aquellas calificadas con 1 tienen un manejo especial tanto de forma institucional como de la población que las habitan dada las relaciones de gobernanza (Palacio, 2015), contribuyendo de forma significativa el cumplimiento de los objetivos de conservación planteado para cada una de estas áreas (Cortes, 2018; Rojas, 2014).

Así bien, tras la asignación de cada uno de los costos se construyeron las cinco matrices y que por medio de la herramienta Weighted Overlay de ArcGIS dan como resultado la superficie de fricción, ya que como se mencionó esta superficie representa el costo ponderado para el movimiento conjunto de los flujos tal como lo percibe la ecología del paisaje (central el análisis de la relación entre patrones y los procesos espaciales) y esta a su vez es necesaria para el cálculo de la conectividad entre AP del área de estudio.

## 2.4 Índice ProtConn

Las áreas protegidas no deben ser vistas como elementos aislados del resto del paisaje dado que los objetivos de conservación que estas tienen dependen de su funcionalidad ecológica y dicha funcionalidad está ligada con las condiciones de conectividad del paisaje (Areiza *et al.*, 2018). El sistema de áreas protegidas es considerado como una red de sitios potencialmente unidos por interacciones espaciales y es por estas interacciones que se debe evaluar las áreas en conjunto sin aislarlas del paisaje del cual hacen parte (Saura *et al.*, 2017). Para saber el estado de conectividad de las AP, cuantificar el porcentaje del departamento que está cubierto por áreas protegidas conectadas e identificar las zonas en donde hay perturbación en la conectividad, se utilizó el índice *Protected Connected Land (ProtConn)* teniendo en cuenta la metodología propuesta por Saura *et al.* (2017).

Este índice se calculó mediante el paquete *Makurhini* para RStudio (Godínez-Gómez & Correa-Ayram, 2020) a partir de la función *MK\_ProtconnMult* la cual calcula el índice ProtConn para cada municipio. En su desarrollo es necesario utilizar el argumento *distancefile* como el cálculo de las distancias de costo entre todo el conjunto de AP.

Inicialmente se tomaron las Áreas Protegidas y la superficie de fricción para calcular las distancias de costo mínimo entre ellas, ya que al utilizar los valores asignados a cada celda determina cuánto se debe recorrer desde la celda fuente hasta la celda final, la distancia de costo mínimo entre áreas es aquella con menos coste acumulado haciendo alusión al camino más corto con este tipo de distancia o donde son altamente favorecidos los flujos (Etherington, 2016; Richard & Armstrong, 2010; Wang *et al.*, 2009); posteriormente se utilizó la función *MK\_ProtconnMult* donde se definieron los valores para sus diferentes argumentos, por ejemplo los nodos que corresponden a las AP y las regiones o unidades de análisis que corresponden a los municipios, otro argumento importante es definir las AP transfronterizas, estas áreas son aquellas que están fuera del área de estudio pero que influyen en la conectividad de las AP que si lo están, estas fueron seleccionadas mediante un buffer de 165 km al área de estudio obtenido por la fórmula de probabilidad máxima de dispersión de las especies focales (Saura *et al.*, 2017, 2018). Una vez definidos sus argumentos se procedió a realizar el cálculo del índice ProtConn obteniendo valores de conectividad para cada municipio y para la totalidad del departamento.

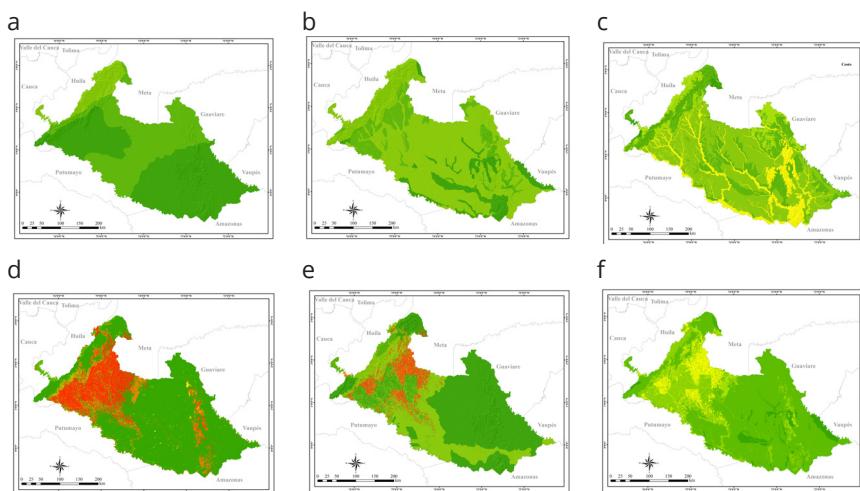
### 3. Resultados

Los resultados estarían dados en tres etapas; primero, por la construcción de las matrices de costo donde se obtiene una por cada sistema planetario con los costos asignados dentro de la valoración de 1 a 10, representando así, en cuáles zonas del área de estudio se está favoreciendo o restringiendo la movilidad de los flujos ecológicos, en segundo lugar, la ponderación de las matrices anteriores dando como resultado la superficie de fricción, y por último, el índice ProtConn mostrando por cada uno de los municipios del departamento su influencia en la conectividad de la red de AP y en qué porcentaje contienen área protegida y área protegida conectada.

En términos porcentuales, en el sistema atmosférico un 64% del área de estudio, cuenta con costo 1, mientras que los costos de 2 y 3 corresponden al 36% restante, recordando que la variable influyente fue la precipitación media anual (promedio multianual, Figura 3a). El sistema hidrosférico, comprende valores entre 1 y 6 en la escala de costo, apreciando cómo las zonas con el menor costo están en mediaciones de la Serranía de Chiribiquete al este del departamento, siendo esta la zona con menos perturbación antrópica y una muy alta potencialidad de recarga de acuíferos, mientras los costos de 3 cubren casi el 53% del área de estudio, y los costos más altos como 5 y 6 corresponden a los flujos perturbados por sus niveles de contaminación, no obstante, representan menos del 1% de área total, dando así entender que en términos del sistema hidrosférico se tiene un alto movimiento de flujos. El sistema geosférico dio como resultado que menos del 1% del área de estudio corresponde a *antrosoles*, como los suelos asociados a los centros poblados del departamento; en su mayoría los ríos principales y algunas rocas o regolitos presentan costos de 5 ya que por sus características no permiten el flujo de la totalidad de los componentes del suelo, sin embargo, de manera general la mayoría del área de estudio con un 76% presenta costos dentro del primer intervalo (1-3) denotando así alto movimiento de los flujos asociados a los suelos. El sistema biosférico, junto con el sistema antroposférico son los sistemas con mayor variedad de costos dado que se incorporan los valores más altos de la escala en comparación con los primeros tres sistemas debido a su dinámica. Para el biosférico las zonas con costos 8-10 cubren el 21% del departamento, con costos de 4 a 7 un poco menos del 10%, sin embargo, aun cuando resalta el área donde la propagación de flujos; en este caso de las especies focales, se ve limitada (Figura 3d), en la mayor parte del área de estudio (69%) la propagación de estas no se ve afectada.

Para culminar esta primer etapa, se tiene el sistema antroposférico, resultado de la agrupación del agrosistema, antroposistema y tecnosistema, los costos están distribuidos de tal manera que el menor costo (1) representa el 52,4% del departamento, correspondiendo principalmente a las áreas protegidas especialmente a el Parque Nacional Natural Serranía del Chiribiquete y los diferentes resguardos indígenas, seguido de costos 2 y 3 con el 35,6% demostrando entonces que casi el 88% de este paisaje favorece el movimiento alto de flujos, sin embargo, se menciona que hay un 8% que restringe esta propagación desde la visión de este sistema. Posteriormente, se expone la

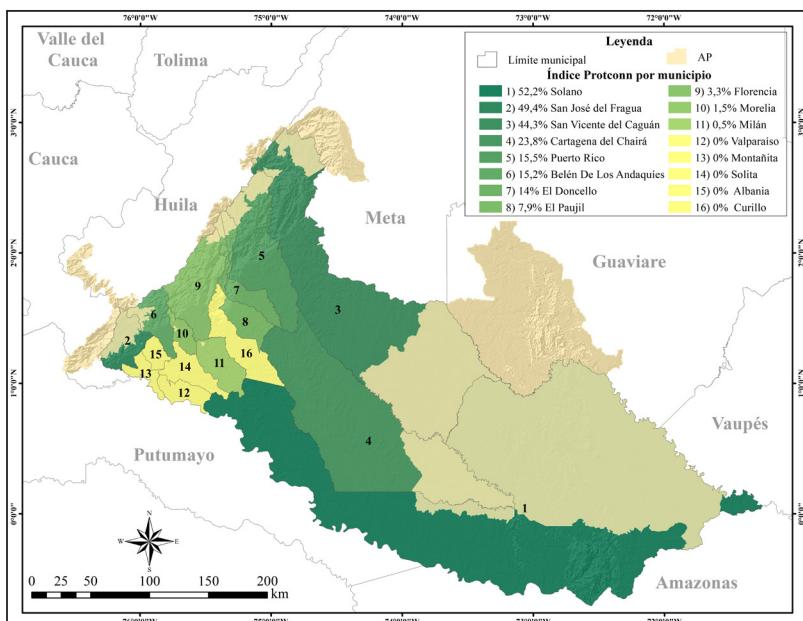
superficie de fricción como representación del estudio abarcado desde la ecología del paisaje, aun cuando en las matrices se obtienen costos altos es decir entre 8 y 10, esta superficie cuenta con costos únicamente del 1 al 6 debido a la ponderación realizada, el intervalo que determina el alto movimiento de flujos (1-3) cubre alrededor del 83% del área de estudio teniendo así que el 17% restante corresponde a costos entre 4, 5 y 6.



**Figura 3.** Matrices a) S. atmosférico, b) S. hidrosférico, c) S. geosférico, d) S. biosférico, e) S. antroposférico, f) Superficie de fricción.

Por último, al considerar la red de AP del departamento de Caquetá y las distancias de costo entre ellas, se obtiene por medio del índice ProtConn (Figura 4 y Tabla 3) que el 38,50% del área de estudio se encuentra bajo la figura de AP y en un 99% protegido conectado ya que es el 38,45% del área de estudio el que contiene área protegida conectada, no obstante, el 1% restante representa alrededor de 4.827,8 hectáreas de AP no conectadas, aun cuando es un valor bajo en función de toda el área de estudio se puede analizar que estas hectáreas están localizadas en un 91% en San Vicente del Caguán y el 9% en Cartagena del Chairá, estos resultados a nivel municipal permiten evaluar si los instrumentos de planeación y gestión de esas unidades territoriales están cumpliendo con un desarrollo en armonía con los ecosistemas que contiene, este bajo porcentaje posiblemente aumentará con el tiempo, así que es un momento determinante para repensar las actividades que allí se desarrollan buscando no perturbar la conectividad de esta red de áreas protegidas, ya que son estos municipios los que presentan los más altos porcentajes de hectáreas deforestadas según los boletines de detecciones tempranas de deforestación en el país (IDEAM, 2017, 2018) y que si bien para este estudio no demuestran perturbación a la conectividad, con el tiempo tenderá a afectarla.

Por otro lado, un 5,20% del área de las áreas protegidas se conectan gracias a las áreas transfronterizas, si no se tuviesen en cuenta, el porcentaje de área protegida conectada del departamento se reduciría a un 33,25%, o que el 99% de AP conectadas llegaría a un 86,36% observando, así como la conectividad entre ellas también depende de la conexión de todo un conjunto de AP regionales.



**Figura 4.** Índice ProtConn.

**Tabla 3.** Porcentaje de área protegida en cada municipio

Municipio	%	Municipio	%
Solano	52,15	Florencia	3,33
San José del Fragua	49,39	Morelia	1,54
San Vicente del Caguán	44,52	Milán	0,54
Cartagena del Chairá	23,83	Valparaíso	0,00
Puerto Rico	15,54	Montañita	0,00
Belén de los Andaquíes	15,21	Solita	0,00
El Doncello	14,01	Albania	0,00
El Paujil	7,87	Curillo	0,00
Total: 38,50			

**Nota:** Los porcentajes son obtenidos del índice ProtConn.

## 4. Discusión de resultados

Inicialmente, desde el sistema atmosférico se evidenció cómo es permitido un alto movimiento de flujos ya que se encontraron costos ubicados dentro del primer intervalo, esto es debido a la homogeneidad del comportamiento de la precipitación. Consecuentemente, al evaluar las diferentes perturbaciones en los cuerpos de agua superficiales; para el sistema hidrosférico se tuvo que menos del 1% del área de estudio presentó flujos moderados o con dificultad donde se encuentran cuerpos de agua con registros de metales pesados y aguas residuales, ubicados en lo que corresponde al cauce de los ríos con nacimiento en la cordillera de los Andes y que su tránsito es cercano a los centros poblados de mayor tamaño del departamento, en el porcentaje restante se encontró en el primer intervalo, donde al 72% del área estudiada le correspondió un costo de 3, este costo se vio relacionado con las zonas de muy bajo y bajo potencial de recarga de aguas subterráneas, también, el menor costo (1) se dio en las áreas con alta potencialidad de recarga, en su mayoría concentradas al este del departamento en inmediaciones de la Serranía de Chiribiquete, evidenciando una relación con los ríos de gran caudal como el río Caquetá, Yarí y Apaporis. En conjunto, tanto las altas precipitaciones como la dinámica hidrológica e hidrogeológica demostraron que en el área de estudio se favorece el movimiento del agua desde que esta precipita, discurre y alimenta las zonas de recarga subterráneas.

Para el sistema geosférico, al evaluar los diferentes subórdenes de suelo, el costo más alto fue de 9, el cual correspondió a los antrosoles, recordando que estos son los relacionados con las actividades antrópicas, sin embargo, cubren menos del 1% del área de estudio, el segundo orden de suelo de mayor costo corresponde al 18% del área con un valor de 5 y están asociados a los cuerpos de agua y regolitos los cuales resaltan por su tono amarillo en la cartografía (Figura 3c). Las características del buen drenaje de los suelos más antiguos (oxisoles y ultisoles) determinaron que el 23,4% del área de estudio tuviese un costo de 2, seguido de un 52,8% respectivamente, aquellos suelos que favorecían todos los flujos evaluados se encuentran distribuidos en el piedemonte y algunas zonas de montaña sobre los Andes colombianos.

Fue en el sistema biosférico donde la matriz de costo tuvo mayor contraste ya que se abarca cada uno de los intervalos de la escala trabajada debido a la variedad de coberturas y la influencia de estas en las especies focales, el 21% del área total corresponde al intervalo más restrictivo para su movimiento (8-10); este porcentaje tiene relación con las coberturas transformadas por el ser humano como pastos, monocultivos y cultivos permanentes, concentrados casi en su totalidad en el piedemonte donde se encuentra la mayoría de la población asentada. En contraste con esto, el 69% del área del departamento cumple las condiciones óptimas para las especies focales, sin embargo, este se ve en parte fraccionado por aquel 21% mencionado perjudicando la conectividad entre los Andes y la Amazonía desde la visión de este sistema. Por otro lado, llama la atención que, hacia el este del departamento en la selva amazónica (Figura 3d), donde se encuentra la mayor área que favorece al flujo de especies también se

presenten fragmentos con costos altos, estos son dados por las formaciones rocosas las cuales son de poca preferencia por las especies evaluadas, sin embargo, por las características del área que circunda estas formaciones es posible encontrar varios ejemplares de estas especies.

Para el último sistema al relacionar el paisaje del departamento y las diferentes dinámicas que las actividades antrópicas representan, se obtiene como resultado que más del 52% del área total presenta costo 1 determinando así que este porcentaje permite el alto movimiento de los flujos, para este sistema este valor se le atribuye en gran medida al tecnosistema por considerar las áreas protegidas de nivel nacional y los resguardos indígenas, los cuales en conjunto abarcan el 46% del área del departamento, los costos más altos representan alrededor de 8,5% del área correspondiendo a los parches con tonos rojos (Figura 3e), se puede ver como se distribuyen en la parte central y al suroeste del departamento, esto en su mayoría está relacionado con las coberturas que no coinciden con la vocación del suelo concentrándose en el municipio de San Vicente del Caguán, Puerto Rico y Morelia, el fragmento de mayor tamaño se encuentra en el municipio de San Vicente del Caguán donde Peña-Venegas & Cardona (2010) señalan que la actividad ganadera que allí se lleva a cabo traducida en pastos limpios se debe a su cercanía con las praderas del departamento del Meta expandiendo estas prácticas, como se menciona anteriormente al localizar estas zonas de mayor perturbación permite repensar las actividades que allí se desarrollan para que a futuro no contribuyan con la perdida de conectividad ecológica del departamento.

## 5. Conclusiones

En general se observa que aun cuando los sistemas han presentado costos altos y denotarían una restricción en el tránsito de los flujos ecológicos; en el momento en que se hace la ponderación de todos los sistemas como la visión global de la ecología del paisaje, estos valores disminuyen encontrando como máximo costo el 6 sin embargo, cubre menos del 1% del área, mostrando que al evaluar la configuración del paisaje, sus elementos están organizados de tal manera que los flujos no tienen restricciones ni mayores dificultades, en gran porcentaje esto también es gracias a el estado de conservación del PNNSCH representando una de las zonas posiblemente menos exploradas y perturbadas del país, no obstante, en los últimos años los mayores focos de deforestación del país se han detectado alrededor e incluso dentro de áreas protegidas (IDEAM, 2017, 2018, 2019a) lo cual lo convierte en un tema de interés y se deben robustecer las políticas públicas para evitar que se lleven a cabo actividades que perturben el interior de las AP. Los valores del intervalo 4-5 donde hay movimientos moderados ocupan el 16% del departamento relacionándose con las prácticas antrópicas que como se mencionó no son acordes a la vocación del suelo o deterioran el hábitat de las especies focales, el primer intervalo corresponde a un 83,7% del área total del departamento permitiendo así comprender y confirmar a través del índice que hay un alto porcentaje de áreas protegidas conectadas, dado que se presenta un movimiento alto de flujos en

la mayor parte del departamento conectando las regiones de los Andes y la Amazonía.

Al haber evaluado el comportamiento de los elementos y su interacción en la configuración del paisaje fue posible tener una visión integral de la conectividad de este, se observa la interdependencia entre elementos funcionando como un sistema, tal y como lo describe Etter (1991). La información cartográfica de cada elemento al estar espacializada permitió identificar en dónde y de qué manera se dan dichas interacciones plasmando el análisis de la conectividad por medio de una superficie de costo, momento donde se permite la combinación simultánea de diferentes elementos espaciales y es ahí donde los diferentes insumos permiten considerarse como instrumentos para la intervención territorial.

Si se toma como referencia las matrices de cada sistema planetario por separado, posiblemente el resultado del índice varíe en su porcentaje de AP conectada, sin embargo sería por el enfoque que cada sistema determina, evaluar en conjunto estos sistemas permite ver como aun cuando en el departamento se consideraron diversas perturbaciones con costos altos, en el momento de analizar todo desde la ecología del paisaje se compensan unas con las otras provocando que el paisaje del área de estudio favorezca movimientos altos de flujos, contribuyendo de manera positiva a la conectividad entre los Andes y la Amazonía. Por otra parte, se entendería entonces que por el alto porcentaje de AP conectada la gestión está orientada en un adecuado ordenamiento territorial municipal, acorde a un ordenamiento departamental. No obstante, es importante no descuidar los esfuerzos que buscan mantener la conectividad de estas áreas de conservación importantes para todos dentro de la gestión interdependiente de los municipios que componen el departamento de Caquetá ya que se corrobora que la conectividad de la red de AP va más allá de la conservación propia de cada área protegida sino también del área que las circunda e incluso de aquellas AP transfronterizas que permiten aumentar la conectividad del conjunto de AP regionales. Para finalizar, la asignación de los costos se basa en la consulta de distintas fuentes para dar soporte y rigurosidad a la metodología ya que estas sirven como ruta de guía, sin embargo, es el autor quien realmente determina la calificación para cada elemento en la construcción de las matrices de costo.

## Bibliografía

- Alba, A., Burgos, Á., Cárdenas, J., Lara, K., Sierra, A. & Montoya Rojas, G. A. (2013). Research Panorama on the Second Green Revolution in the World and Colombia. *Tecciencia*, 8(15), 49-64. <https://doi.org/10.18180/tecciencia.2013.15.6>
- Alonso-F., A. M., Finegan, B., Brenes, C., Günter, S., & Palomeque, X. (2017). *Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Caldasia, Ecuador*, 39(1), 140-156. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.64324>
- Alonso-Sarría, F. (2006). *Sistemas de Información Geográfica, Cartografía digital*. 1a, (5-6). Murcia, España: Recuperado de <https://www.um.es/geografi/sigmur/sigpdf/temario.pdf>

- Areiza, A., Corzo, G., Castillo, L., Matallana. C., & Correa Ayram, C. (2018). Áreas protegidas regionales y reservas privadas: las protagonistas de las últimas décadas. En Moreno, L. A, Andrade, G. I. & Gómez, M.F. (Eds.), *Biodiversidad 2018. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia: Recuperado de <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2018/cap3/303/#seccion8>
- Arroyave, M., Gómez, C., Gutiérrez, M., Múnera, D., Zapata, P., Vergara, I., ... Ramos, K. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA*, 3(5), 45-57. Recuperado de <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/146>
- Balbi, M., Petit, E. J., Croci, S., Nabucet, J., Georges, R., Madec, L., & Ernoult, A. (2019). Ecological relevance of least cost path analysis: An easy implementation method for landscape urban planning. *Journal of Environmental Management*, 244, 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.124>
- Bamford, M., & Calver, M. (2014). A precise definition of habitat is needed for effective conservation and communication. *Australian Zoologist*, 37(2), 245-247. <https://doi.org/10.7882/AZ.2014.015>
- Beier, P., Majka, D. R., & Newell, S. L. (2009). Uncertainty analysis of least-cost modeling for designing wildlife linkages. *Ecological Applications*, 19(8), 2067-2077. <https://doi.org/10.1890/08-1898.1>
- Bennett, A. F. (2004). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la Conservación de la vida silvestre*. IUCN —Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza (Eds.), 2a. ed., 309 pp. San José, Costa Rica. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2004.FR.1.en>
- Bonilla, L., & Higuera, I. (2016). ¿Parques de papel? Áreas protegidas y deforestación en Colombia. *Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional*, (248), 1-53. <https://doi.org/10.32468/dtseru.248>
- CDB (Convención sobre la Diversidad Biológica) (2018). *Protected areas and other effective area-based conservation measures* 22. Montreal, Canadá: UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4643828/>
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe & Patrimonio Natural Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas) (2013). *La región amazónica Escenarios: Amazonia posible*, 1a. ed., (1-20), Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/1506-amazonia-posible-sostenible>
- Ciro-Rodríguez, E. (2018). "Ni guerra que nos mate, ni paz que nos oprima": incursión petrolera y defensa del agua durante las negociaciones y firma de la paz en el sur de Colombia. *Colombia Internacional*, (93) 147-178. <https://doi.org/10.7440/colombiaint93.2018.06>
- Colorado, G., Vásquez, J., & Mazo, I. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque andino en Santa Elena (Medellín, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 22(3), 379-393. <https://doi.org/10.15446/abc.v22n3.63013>
- Corpoamazonia (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía) (2011). *Caracterización ambiental, Plan Departamental de Agua. Departamento de Caquetá*. Recuperado de [https://www.corpoamazonia.gov.co/files/Documento\\_Caquet%C3%A1.pdf](https://www.corpoamazonia.gov.co/files/Documento_Caquet%C3%A1.pdf)

- Corpoamazonia (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía) (2012). *Actividades Productivas de Caquetá*. Recuperado de [http://www.corpoamazonia.gov.co/region/Jur\\_Actividades.htm](http://www.corpoamazonia.gov.co/region/Jur_Actividades.htm)
- Cortes, A. (2018). *Resguardos Indígenas en la conservación: territorios en traslape*. 1-47. Recuperado de [https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/682/1/DHA-spa-2018-Resguardos\\_indigenas\\_en\\_la\\_conservacion\\_terриторios\\_en\\_traslape.pdf](https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/682/1/DHA-spa-2018-Resguardos_indigenas_en_la_conservacion_terриторios_en_traslape.pdf)
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 - Colombia, Departamento (18) Caquetá*. Recuperado de <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#/>
- Dinerstein, E., Powell, G., Olson, D., Wikramanayake, E., Abell, R., Loucks, C., ... Burgess, N. (2000). A Workbook for Conducting Biological Assessments And Developing Biodiversity Visions For Ecoregion-Based Conservation (WWF (ed.); Conservation). Recuperado de [https://awsassets.panda.org/downloads/1\\_2\\_spatial\\_assessment\\_\\_terrestrial\\_11\\_01\\_02.pdf](https://awsassets.panda.org/downloads/1_2_spatial_assessment__terrestrial_11_01_02.pdf)
- Etherington, T. (2016). Least-cost modelling and landscape ecology: concepts, applications, and opportunities. *Current Landscape Ecology Reports*, 1(1), 40-53. <https://doi.org/10.1007/s40823-016-0006-9>
- Etter, A. (1991). Introducción a la Ecología del Paisaje: un marco de integración para los levantamientos ecológicos. *Landscape Ecology*, 32(3), 25-56. <https://doi.org/10.13140/2.1.4464.5121>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura). (1996). *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. Ecología y Enseñanza*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s00.htm#TopOfPage>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura) (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo, un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>
- GEASIG (Especialistas en SIG y Medio Ambiente) (2019). *Análisis de coste distancia con ArcGIS*. Recuperado de <https://www.geasig.com/analisis-coste-distancia-con-arcgis/>
- Godínez-Gómez, O., & Correa-Ayram, C. A. (2020). *OscarGOGO/Makurhini: An R package for analyzing landscape connectivity* (v1.0.0). <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3749434>
- Gonzales, F. D. L., & Etcheverts, J. (1999). *Materia orgánica en el suelo y disponibilidad de nitrógeno*, (1), 1-20. Recuperada de [https://www.researchgate.net/publication/278726976\\_Materia\\_organica\\_en\\_el\\_suelo\\_y\\_disponibilidad\\_de\\_nitrogeno](https://www.researchgate.net/publication/278726976_Materia_organica_en_el_suelo_y_disponibilidad_de_nitrogeno)
- Gray, C., Hill, S., Newbold, T., Hudson, L., Boirger, L., Contu, S., & Scharlemann, J. (2016). Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. *Nature Communications*, (7), 1-7. <https://doi.org/10.1038/ncomms12306>
- Gualy-Montealegre, L., Herrera-Valencia, W., & Osorio-Monar, J. (2013). *Turismo de Naturaleza, oportunidad para las comunidades de la región Amazónica*. Corporación Misión Verde Amazonia, Gobernación de Caquetá, Instituto de Cultura, Deporte y Turismo. Florencia, Caquetá, 1-113. Caquetá, Colombia. Recuperado de <http://misionverdeamazonia.org/wp-content/uploads/2018/10/Turismo-De-Naturaleza-Oportunidad-para-las-comunidades-de-la-regi%C3%B3n-Amazonica.pdf>

- Herrera, P., & Díaz, E. (2013). Ecología del paisaje, conectividad ecológica y territorio: Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica. *Planificación espacial y conectividad ecológica: los corredores ecológicos*, 43-70. Recuperado de <http://iuu.uva.es/DOSSIER/Dossier%2001/Dossier%2001%20CORREDORES%20ECOLOGICOS.pdf>
- IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales) (2014). *Atlas de precipitación media total anual. Promedio multianual 1981-2010*. Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales). (2017). *Resultados Monitoreo de la deforestación 2017*. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023835/Resultados\\_Monitoreo\\_Deforestacion\\_2017.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023835/Resultados_Monitoreo_Deforestacion_2017.pdf)
- IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales) (2018). *Boletín de detección temprana de deforestación 17*. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023856/17\\_BoletinAT-D.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023856/17_BoletinAT-D.pdf)
- IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales) (2019a). *Boletín de detección temprana de deforestación 21*. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023884/023884.html>
- IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales) (2019b). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Bogotá, Colombia, 1-452. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/ENA\\_2018.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/ENA_2018.pdf)
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) (2014). *Mapas de suelos del territorio colombiano a escala 1:100 000. Departamento de Caquetá*. Recuperado de <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) (2018). Cartografía base: Departamento de Caquetá. Recuperado de <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>
- Juffe-Bignoli, D., Burgess, N., Bingham, H., Belle, E., de Lima, M., Deguignet, M., ... Kingston, N. (2014). *Protected Planet Report. Tracking progress towards global targets for protected areas* (1-70), UNEP-WCMC: Cambridge, Reino Unido. Recuperado de [https://www.unep-wcmc.org/system/dataset\\_file\\_fields/files/000/000/264/original/Asia\\_Protected\\_Planet\\_WEB.pdf?1415613854](https://www.unep-wcmc.org/system/dataset_file_fields/files/000/000/264/original/Asia_Protected_Planet_WEB.pdf?1415613854)
- Kattan, G., Naranjo, L. & Rojas, V. (2008). Especies focales. En Kattan, G., & Naranjo, L. (Eds.) *Regiones biodiversas: herramientas para la planificación de sistemas regionales de áreas protegidas*, (155-166). Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/265368859>
- MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) (2017). *Régimen de usos y administración de las reservas forestales protectoras nacionales*. Recuperado de <http://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/normativas/doc.tecnico-regimenusosyadministracion.diciembre.pdf>
- Martínez-Ardila, N., López-Salgado, H., Samacá-Torres, W., Vargas-Tejedor, S., & Vargas-Hernández, W. (2017). Elaboración de la leyenda geomorfológica nacional aplicada a los levantamientos de suelos, metodología IGAC. En *Tecnologías de la Información para la consolidación ambiental y productiva del territorio. Análisis Geográficos. Revista del Instituto Geográfico Agustín Codazzi*, 1(53), 17-24. Recuperado de [https://cias.igac.gov.co/sites/cias.igac.gov.co/files/analisis\\_geograficos\\_53\\_2017.pdf](https://cias.igac.gov.co/sites/cias.igac.gov.co/files/analisis_geograficos_53_2017.pdf)

- Montoya-Rojas, G. (2011a). La edafología en la planeación ambiental y el desarrollo territorial. *Tecciencia*, 6(11), 56-65. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5113293>
- Montoya-Rojas, G. (2011b). *Zonificación ambiental en cuencas hidrográficas*. Académica Española (Eds.), 1a. ed., 1-316, España.
- Montoya-Rojas, G. (2018a). *Lineamientos epistemológicos para la aplicación de la geografía del suelo*. Sociedad Geográfica de Colombia (Eds.), 1a., 1-128. Bogotá, D.C., Colombia.
- Montoya-Rojas, G. (2018b). El suelo, una ciencia clave para el análisis frente la adaptación al cambio climático. *Periódico Institucional de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA*, 10(25), 3-4. Recuperado de <https://es.calameo.com/read/000897567dfaec0dcd08c>
- Montoya-Rojas, G., Almario García, M. Bello-Escobar, S. & Pal Singh, K. (2020). Analysis of the interrelations between biogeographic systems and the dynamics of the Port-Waterfront Cities: Cartagena de Indias, Colombia. *Ocean and Coastal Management*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105055>
- Montoya-Rojas, G., Barragan, C., Herrera Aranguren, M., Martínez Hernández, N., Rodríguez Tolosa, R., & Villamil Gil, R. (2014). Discussion on the implications upon the environment of some technologies from the second green revolution. Colombia. *Tecciencia*, 9(17), 44-49. <https://doi.org/10.18180/tecciencia.2014.16.2>
- Montoya-Rojas, G., Posada, A., Martin, J., Garnica, L., Peña, P., & Ramírez, A. (2016). Gestión integral de la industria cauchera en el municipio de San José del Guaviare, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 21(2), 277-298. <https://doi.org/10.19053/01233769.5854>
- Montoya-Rojas, G., & Singh, P. K. (2019). *Geoderma: interrelations between soil ecosystem quality and groundwater*. Federation of India Geosciences Associations, 2nd Triennial Congress of FIGA, Hyderabad, India. 13-16 oct. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10546.96960/1>
- Naranjo, L. (2017). Paisajes y ecosistemas del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete. *Revista Colombia Amazónica*, (10), 47-54. Recuperado de <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/revista/pdf/10/3%20paisajes%20y%20ecosistemas%20parque%20nacional%20natural%20serrana%20de%20chiribiquete.pdf>
- Nuñez, M., Aguelo, E., & Gil, B. (2014). Un análisis descriptivo de la presencia de Mercurio en agua, sedimento y peces de interés socio-económico en la amazonia colombiana. *Revista Colombia Amazónica* 1(7), 149-160. Recuperado de <https://sinchi.org.co/revista-colombia-amazonica-vii>
- Pabon-Zamora, L., Bezaury, J., Leon, F., Gill, L., Stolton, S., Groves, A., ... Dudley, N. (2008). Valorando La Naturaleza: Beneficios de las áreas protegidas. En Arlington, J. (Ed.), *Serie Guía Rápida*, VA: The Nature Conservancy. Recuperado de <https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Valorandolanaturaleza.pdf>
- Palacio, D. (2015). Redes, actores y gobernanza desde un enfoque relacional. En Ungar, P. (Ed.), *Hojas de ruta. Guías para el estudio socioecológico de la alta montaña en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Recuperado de [http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9294/IAVH\\_Paramos-Manuales%20202-web.pdf?sequence=1&isAllowed=](http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9294/IAVH_Paramos-Manuales%20202-web.pdf?sequence=1&isAllowed=)

- Paredes-Leguizamón, G. (2018). *Integrando las áreas protegidas al ordenamiento territorial: Caso Colombia*. PNCC y UICN. 1-142. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.24.es>
- Peña-Venegas, C., & Cardona, G. (2010). *Dinámica de los suelos amazónicos: Procesos de degradación y alternativas para su recuperación*. Recuperado de <https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/librosuelosweb.pdf>
- Pochiraju, H., Montoya-Rojas, G. & Singh, K. (2019). Impact assessment of bioclogging on flow of water in porous media. Conference at Federation of India Geosciences Associations, 2nd Triennial Congress of FIGA, Geosciences for Sustainable Development Goals. CSIR – NGRI, Hyderabad, India. 13-16 oct. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/337561624\\_Impact\\_assessment\\_of\\_bioclogging\\_on\\_the\\_flow\\_of\\_water\\_in\\_porous\\_media](https://www.researchgate.net/publication/337561624_Impact_assessment_of_bioclogging_on_the_flow_of_water_in_porous_media)
- Richard, Y., & Armstrong, D. (2010). Cost distance modelling of landscape connectivity and gap-crossing ability using radio-tracking data. *Journal of Applied Ecology*, 47, 603-610. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01806.x>
- Rojas, Y. (2014). La historia de las áreas protegidas en Colombia, sus firmas de gobierno y las alternativas para la gobernanza. *Sociedad y economía*, 27, 155-176. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/soec/n27/n27a07.pdf>
- Rozas, P. & Figueroa, O. (2006). *Conectividad, ámbitos de impacto y desarrollo territorial: análisis de experiencias internacionales, División de Recursos Naturales e Infraestructura*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, Naciones Unidas, 1(107). Santiago de Chile, Chile: Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6314/1/S0600566\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6314/1/S0600566_es.pdf)
- RUNAP (Registro Único Nacional de Áreas Protegidas) (2019). *Mapa de áreas protegidas de Colombia*. Recuperado de <https://runap.parquesnacionales.gov.co/cifras>
- Salazar, C., Riaño, A., Reyes, M., Riaño, U., Castañeda, W., Rubiano, S., & Rodríguez, C. (2019). *Minería Impactos sociales en la Amazonía*. Instituto Amazónico de Investigaciones. Científicas sinchi. Recuperado de [https://sinchi.org.co/files/publicaciones/novedades%20editoriales/pdf/Mineri%CC%81a%20en%20la%20Amazonia%20\(LowRes\).pdf](https://sinchi.org.co/files/publicaciones/novedades%20editoriales/pdf/Mineri%CC%81a%20en%20la%20Amazonia%20(LowRes).pdf)
- Saura, S., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A., & Dubois, G. (2017). Protected areas in the world's ecoregions: How well connected are they? *Ecological Indicators*, 76, 144-158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.047>
- Saura, S., Bartzky, B., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A., & Dubois, G. (2018). Protected area connectivity: Shortfalls in global targets and country-level priorities. *Biological Conservation*, 219, 53-67. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.020>
- SINCHI (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas) (2018). *Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonía Colombiana, a escala 1:100 000*. Recuperado de <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/MONITOREO%20web.pdf>
- Soil Survey Staff (2014). *Keys to Soil Taxonomy*. USDA-Natural Resources Conservation Service, 12. Recuperado de [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051546.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf)
- Thót, J. (1963). A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins. *Geophysical Research*, 68(16), 4795-4812. Recuperado de <https://sci-hub.se/10.1029/jz068i016p04795>

- Torres-Márquez, M. (2016). *Córdoba en las “minutas cartográficas” del Instituto Geográfico Nacional (1871-1900) y su hábitat rural como herramienta cartográfica*. Instituto Interuniversitario de Geografía Universidad de Alicante, España: 65, 75-96. <https://doi.org/10.14198/INGEO2016.65.05>
- Vélez, J. (15 de octubre de 2018). *Las disidencias de la FARC disparan la deforestación en Caquetá. Amazonía Socioambiental*. Recuperado de: <https://www.amazoniasocioambiental.org/es/radar/las-disidencias-de-la-farc-disparan-la-deforestacion-en-caqueta/>
- Wang, I., Savage, W., & Shaffer, B. (2009). Landscape genetics and least-cost path analysis reveal unexpected dispersal routes in the California tiger salamander (*Ambystoma californiense*). *Ecología molecular*, 18(7), 1365-1374. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04122.x>
- Zetterberg, A. (2011). *Connecting the Dots Network: Analysis, Landscape Ecology, And Practical Application*. Royal Institute of Technology (KTH), Estocolmo. Recuperado de <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:457901/FULLTEXT01.pdf>
- Zubelzu, S., & Allende, F. (2015). El concepto de paisaje y sus elementos constituyentes: requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España. *Revista Colombiana de Geografía*, 24(1), 29-42. recuperado de [https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/41369/pdf\\_23](https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/41369/pdf_23)