



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**HUELLA ESPACIAL HUMANA (IHEH)  
EN PAISAJES LOCALES, COMO  
APORTE A LA GESTIÓN AMBIENTAL  
TERRITORIAL. ESTUDIO DE CASO:  
CUENCA DEL RIO TÚA, CASANARE –  
COLOMBIA.**

**CAROLINA PEREZ ROJAS**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencia Humanas

Bogotá, Colombia

2021



# **HUELLA ESPACIAL HUMANA (IHEH) EN PAISAJES LOCALES, COMO APORTE A LA GESTION AMBIENTAL TERRITORIAL. ESTUDIO DE CASO: CUENCA DEL RIO TÚA, CASANARE – COLOMBIA.**

**CAROLINA PEREZ ROJAS**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Geografía**

Director (a):

Ms.C. Myriam Susana Barrera Lobatón

Línea de Investigación:

Paisaje y Territorio

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Humanas

Bogotá, Colombia

2021



*Dedicatoria*

*A mi hijo, ángel que guarda mis sueños, que llena mi alma de motivación, que fluye con mi espíritu, maestro de vida que me enseñó a ser y recuperar la esencia.*

*"Deus sive Natura"*

*Baruch Spinoza*

*A mi padre:*

*“La muerte no es nada, Yo estoy en la habitación de al lado. Yo soy yo, tú eres tú. Lo que éramos el uno para el otro, lo seguimos siendo.*

*Llámame por el nombre que me has llamado siempre, háblame como siempre lo has hecho. No lo hagas con un tono diferente, solemne o triste. Sigue riéndote de lo que nos hacía reír juntos. Que se pronuncie mi nombre como siempre lo ha sido, sin énfasis, sin sombra.*

*La vida es lo que es, lo que siempre ha sido. El hilo no está roto. ¿Porque estaría fuera de tu mente y tu corazón, si solo estoy fuera de tu vista?*

*Te espero, no estoy lejos, solo al otro lado del camino. Ves, todo va bien, volverás a encontrar mi corazón y mi ternura acentuada. Enjuaga tus lágrimas, honra mi recuerdo, y ayuda a los demás a ser felices”.*

*Adaptado de Manuel Pérez*

*Ángel de ángeles, padre de padres, maestro de maestros; Gracias por amarme, cuidarme y enseñarme a sentirte en la brisa y en cada instante del cosmos. ¡Te amo y te extraño mi Sensei!*



## **Declaración de obra original**

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

CAROLINA PEREZ ROJAS

Nombre

Fecha 29/10/2021





## Agradecimientos

A mi hijo Aaron Emmanuel Obregón Pérez, quien cedió con nobleza de su tiempo, para respaldar a su “*pama*”: Mamá y Papá.

A mi Padre por recordarme a Dios siempre en mi corazón.

A mi familia por su paciencia en momentos de presencia y ausencia. A mi hermano Manuel Fernando Pérez Rojas, por sus palabras asertivas de confianza, apoyo y gallardía.

Agradezco a mi directora de tesis Susana Barrera Lobatón, quien me acogió fraternalmente en mi proceso académico, me enseñó de gentileza, confianza, disciplina y lealtad. A ella todo mi cariño, reconocimiento y respeto.

A Jhonatan Julián Díaz Timoté, Instituto Alexander von Humboldt (IAvH), por su tiempo, dedicación y orientación en el desarrollo conceptual y metodológico de los modelos cartográficos, su apoyo en el diseño de los análisis de los resultados, y especialmente por sus consejos y constante motivación en la construcción investigativa.

A CORPORINOQUIA, por facilitar los datos espaciales del POMCA del río Túa, en especial al Ing. Javier Orlando Flechas, de la subdirección de planeación ambiental, que con su alegría y optimismo facilitó el acceso a la información.

A Carlos Iván Díaz Solano, alcalde del municipio de Monterrey - Casanare, por su carisma y poner a disposición, contactos y recursos para apoyar el proceso de recolección de datos de campo en el municipio.

## Resumen

### **Huella Espacial Humana como aporte a la gestión territorial. Estudio de Caso: Cuenca del río Túa, Casanare - Colombia**

Los sistemas naturales y humanos, son sistemas acoplados integrados, producto de interacciones complejas y de retroalimentación, que cambian de un estado a otro, a lo largo del tiempo y en el espacio. Dichas interacciones, no han sido del todo armoniosas, pues las actividades humanas y su impacto se han convertido en la principal fuerza impulsora de la degradación del ecosistema global, regional y local, resultando en la alteración del funcionamiento de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que provee. Para comprender el impacto humano sobre los sistemas naturales se requiere una representación adecuada de los paisajes modificados y una explicación de las relaciones entre factores socioeconómicos y biofísicos. El presente estudio, cuantifica la huella humana en paisajes locales, con caso de estudio en la cuenca del Río Túa (Casanare – Colombia), donde no solo incluye 14 indicadores geográficos de influencia humana que operan a escala local, sino evalúa la incorporación del índice de vulnerabilidad biofísica en la ecuación de la huella humana. En adición, se evaluó la correspondencia entre los resultados de huella humana y la ordenación de manejo y uso de suelo definida en el instrumento de planificación (POMCA). El estudio concluye que la Cuenca del río Túa se encuentra fuertemente transformada, ya que solo mantiene el 2,5% de su territorio sin huella humana y el 46% de su área total posee huella humana alta. Esta está concentrada principalmente sobre paisajes de terrazas y llanuras aluviales conformadas por sabanas naturales, remplazadas principalmente por pastizales para ganadería extensiva. La incorporación de la dimensión de vulnerabilidad biofísica es complementaria en los análisis de huella humana, además que permite comprender en parte la capacidad de resiliencia del sistema, esencial para la gestión territorial. Esta investigación detalla los procedimientos para invitar a replicarlo en otros sectores del país y a diferentes escalas, una vez que los insumos espaciales, son accesibles a cualquier entidad territorial.

**Palabras clave:** Huella humana, paisajes locales, indicadores geográficos, vulnerabilidad biofísica, gestión territorial.

## Abstract

Human Spatial Footprint as a contribution to territorial management. Case Study: Túa River Basin, Casanare - Colombia

Natural and human systems are integrated coupled systems, product of complex interactions and feedback, which change from one state to another, over time and in space. These interactions have not been entirely harmonious, as human activities and their impact have become the main driving force behind global, regional and local ecosystem degradation, resulting in disruption of ecosystem functioning and the ecosystem services it provides. Understanding the human impact on natural systems requires an adequate representation of modified landscapes and an explanation of the relationships between socio-economic and biophysical factors. This study quantifies the human footprint in local landscapes, with a case study in the Túa river basin (Casanare - Colombia). Besides including 14 geographical indicators of human influence that operate on a local scale, the study also evaluates the incorporation of the biophysical vulnerability index in the human footprint equation. In addition, it evaluates the correspondence between human footprint results and land use and management, both defined in the planning instrument (POMCA). The study concludes that the Túa River Basin is heavily transformed, since it only maintains 2.5% of its territory without a human footprint and 46% of its total area has a high human footprint. This is mainly concentrated on terraced landscapes and alluvial plains made up of natural savannas, replaced mainly by grasslands for extensive cattle ranching. The incorporation of the biophysical vulnerability dimension is complementary in human footprint analysis, and allows us to understand, in part, the relative resilience of the system, essential for territorial management. This research details the procedures to invite its replication in other sectors of the country and at different scales, once the spatial inputs are accessible to any territorial entity.

**Keywords: Human spatial Footprint, Landscape, geographic indicators, biophysical vulnerability, territorial environmental management**

# Contenido

Contenido

<b>Resumen</b> .....	<b>X</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de ilustraciones</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>5</b>
<b>Objetivo General</b> .....	<b>7</b>
<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Fundamentación teórica</b> .....	<b>9</b>
1.1 Estado del arte	9
1.1.1 Concepto de huella espacial humana .....	10
1.1.2 . Investigaciones en huella humana .....	12
1.1.3 . Metodologías para el mapeo de huella humana.....	17
1.1.4 Indicadores y variables geográficas de influencia humana .....	21
1.1.5 Para qué sirve la Huella Humana .....	27
1.1.6 Cómo interpretar la Huella Humana.....	31
<b>2. Marco teórico y conceptual</b> .....	<b>34</b>
2.1 Geografía ambiental	34
2.1.1 Geografía, ambiente y paisaje .....	38
2.1.2 La ecología del paisaje .....	39
2.2 Vulnerabilidad y resiliencia	42
2.3 Gestión ambiental Territorial	46
2.3.1 Cuenca hidrográfica como unidad de análisis.....	49
2.3.2 Planes de ordenamiento de cuencas hidrográficas.....	49
2.3.3 Fases y procesos del POMCA .....	50
2.3.4 Resultados de interés del POMCA del río Túa.....	55
<b>3. Marco metodológico</b> .....	<b>59</b>
<b>4. Marco contextual</b> .....	<b>90</b>
<b>5. Resultados</b> .....	<b>99</b>

---

5.1 Huella espacial Humana	99
5.1.1 Mapas de influencia humana en la cuenca del río Túa.....	102
5.1.2 Huella espacial humana de la cuenca del río Túa .....	117
5.1.3 Evaluación de la incorporación del índice de vulnerabilidad biofísica en la Huella espacial humana .....	128
5.1.4 Análisis de correspondencia entre la zonificación ambiental y la huella espacial humana de la cuenca del Río Túa. ....	139
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>150</b>
<b>7. Recomendaciones.....</b>	<b>154</b>
<b>Anexo A: Formato de identificación y validación de impactos humanos .....</b>	<b>157</b>
<b>Anexo B: Formato 2. Análisis de percepción .....</b>	<b>159</b>
<b>Anexo C: Marco legal .....</b>	<b>160</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>169</b>

## Listado de ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1. Causas directas e indirectas de la deforestación tropical. ....	41
Ilustración 2. Fases, procesos y procedimientos del POMCA.....	51
Ilustración 3. Modelo cartográfico de la zonificación ambiental.....	53
Ilustración 4. Zonificación de la cuenca del río Túa, .....	56
Ilustración 5. Procedimiento metodológico General.....	60
Ilustración 6. Esquema de procesos y productos de fase recolección de información primaria .....	61
Ilustración 7. Procesamiento de variables de influencia humana (IIH) .....	67
Ilustración 8. Tiempo de intervención (años) para 2003, 2014, 2018 y 2019 .....	82
Ilustración 9. Localización de la zona de estudio. ....	90
Ilustración 10. Municipios y participación en la cuenca del río Túa. ....	91
Ilustración 11. Asentamientos dentro de la cuenca del río Túa.....	91
Ilustración 12. Coberturas de la cuenca del río Túa, en nivel de clasificación 4.....	95
Ilustración 13. Densidad Población Rural Cuenca del Río Túa. ....	102
Ilustración 14. Distancia a vías tipo 1 a 5 en la cuenca del Río Túa.....	103
Ilustración 15. Distancia-costo de acceso de vías tipo 6 a 7 en la cuenca de Río Túa...	104
Ilustración 16. Distancia a asentamientos de cabeceras municipales en la cuenca del Río Túa.....	105
Ilustración 17. Distancia a asentamientos de Centros Poblados en la cuenca del Río Túa .....	106
Ilustración 18. Cobertura y Uso del suelo en la cuenca de Río Túa.....	107
Ilustración 19. Índice de Fragmentación de la cuenca del Río Túa .....	108
Ilustración 20. Índice de almacenamiento potencial de Carbono .....	109
Ilustración 21. Distancia de Infraestructura energética en la cuenca de Río Túa .....	110
Ilustración 22. Densidad de ambiente construido en la cuenca del Río Túa .....	111
Ilustración 23. Distancia de pozos de extracción de Hidrocarburos en la cuenca del Río Túa.....	112
Ilustración 24. Distancia de influencia de depredadores sinantrópicos en la cuenca del Río Túa	113
Ilustración 25. Percepción social de impacto en la cuenca del Río Túa .....	114
Ilustración 26. Índice de uso del Agua (IUA) en la cuenca del río Túa .....	115
Ilustración 27. Tiempo de intervención (años) en la cuenca del Río Túa .....	116
Ilustración 28. Mapa de intensidad de uso del suelo de la cuenca del río Túa. ....	117
Ilustración 29. Mapa de huella espacial humana (valores) de la cuenca del río Túa. ....	118
Ilustración 30. Huella espacial Humana normalizada de la Cuenca del Río Túa.....	119
Ilustración 31. Huella espacial humana local (IHEHL) reclasificada Cuenca del Río Túa .....	120
Ilustración 32. Distribución porcentual de la ocupación de la huella humana en la cuenca del río Túa. ....	121
Ilustración 33. Comportamiento Huella Humana en los municipios que conforman la cuenca del Río Túa .....	122

---

Ilustración 34. Distribución de la cobertura y uso del suelo en Huella humana alta. ....	127
Ilustración 35. Índice de fertilidad de cuenca del río Túa .....	129
Ilustración 36. Pendiente de la cuenca del río Túa .....	130
Ilustración 37. Índice de aridez de la cuenca de río Túa .....	131
Ilustración 38. Distribución potencial de idoneidad biofísica de especies dentro de alguna categoría de amenaza por UICN en la cuenca del río Túa .....	132
Ilustración 39. Vulnerabilidad biofísica de la cuenca del río Túa.....	133
Ilustración 40. Vulnerabilidad Biofísica normalizada de la cuenca del río Túa .....	134
Ilustración 41. Comparación de la Huella Humana con y sin vulnerabilidad biofísica para la cuenca del río Túa.....	135
Ilustración 42. Cambios en las categorías de huella humana en la cuenca del río Túa..	137
Ilustración 43. Zonificación ambiental de la cuenca del río Túa .....	139
Ilustración 44. Comparación Huella Humana vs. Subzonas de uso y manejo (POMCA). .....	143
Ilustración 45. Metas de Achi para la diversidad biológica.....	160
Ilustración 46. Marco normativo e instrumental para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.....	163
Ilustración 47. Interacción de actores e instrumentos para la gestión del recurso hídrico en la cuenca.....	164
Ilustración 48. Principales instrumentos de manejo de recursos naturales renovables a considerar en los POMCAS.....	167

## Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 1. Cuadro resumen de generalidades básicas de investigaciones en Huella Humana en el mundo. (Fuente: propia) .....	12
Tabla 2. Comparación de indicadores geográficos de influencia humana en diferentes investigaciones de Huella humana (HF). .....	20
Tabla 3. Causas directas e indirectas de la deforestación tropical.....	54
Tabla 4. Categorías de ordenación de uso múltiple y subzonas de uso y manejo en las cuencas hidrográficas.....	55
Tabla 5. Categorías de ordenación de conservación de la cuenca del río Túa. ....	57
Tabla 6. Categorías de ordenación de uso múltiple de la cuenca del río Túa. ....	58
Tabla 7. Variables e indicadores de influencia humana. ....	65
Tabla 8. Contribución a la huella humana y rangos de escala de valor para cada variable de la dimensión intensidad uso del suelo. ....	70
Tabla 9. Contribución a la huella humana y rangos de escala de valor para cada variable de la dimensión tiempo y vulnerabilidad biofísica. ....	71
Tabla 10. Características y especificaciones de las vías tipo 1 a 7 para Colombia.....	74
Tabla 11. Densidad de población urbana y rural de los municipios de la cuenca del Túa. ....	75
Tabla 12. Índice de productividad del suelo.....	83
Tabla 13. Unidades hidrográficas de nivel I de la cuenca del río Túa. ....	93
Tabla 14. Coberturas de la cuenca del río Túa. ....	96
Tabla 15. Cifras de la Huella espacial humana de la cuenca del Río Túa.....	121
Tabla 16. Características biofísicas de ecosistemas con alta huella humana. ....	123
Tabla 17. Proporción de la huella humana por categoría de ecosistemas amenazados. ....	124
Tabla 18. Distribución porcentual del estado de amenaza de los ecosistemas con la huella humana en la cuenca del río Túa. ....	125
Tabla 19. Comparación Huella humana con y sin vulnerabilidad biofísica para la cuenca del río Túa. ....	136
Tabla 20. Categorías de manejo de uso del suelo de la zonificación ambiental de la cuenca del río Túa.....	140
Tabla 21. Área ocupada de las subzonas de manejo del POMCA por categoría de huella humana. ....	142
Tabla 22. Participación en área (%) de las subzonas de uso y manejo dentro de las categorías de huella humana. ....	144



---

Tabla 23. Áreas sin huella humana (natural) vs. zonificación del POMCA.....	144
Tabla 24. Áreas huella humana baja vs. zonificación del POMCA.....	145
Tabla 25. Huella humana media vs. zonificación del POMCA. ....	146
Tabla 26. Huella humana alta vs. zonificación del POMCA. ....	148

# Introducción

Los sistemas naturales y humanos, son sistemas acoplados integrados, producto de interacciones complejas y de retroalimentación, que cambian de un estado a otro, a lo largo del tiempo (umbrales temporales) y en el espacio (umbrales espaciales) (Liu *et al.*, 2007).

Dichas interacciones, se han venido investigando para evaluar el impacto humano, pues desde mediados del siglo XX, las actividades humanas se han convertido en la principal fuerza impulsora de la degradación del ecosistema global (Simpson y Christensen, 1997, Olson *et al.*, 1997, Françoise y Jacques, 2003), ocasionado cambios considerables en los patrones del paisaje, aumento de la fragmentación (Nagashima *et al.*, 2002; Haddad *et al.*, 2015), pérdida de hábitats (Crooks *et al.*, 2011), destrucción de comunidades vegetales (Ramalho *et al.*, 2014), alteración de los procesos ecológicos del suelo (Li *et al.*, 2014) (Chi *et al.*, 2017), cambios en la biogeoquímica global, cambio climático, pérdida de diversidad biológica (Vitousek, 1994; Watson *et al.*, 2016), extinción de especies (Dirzo *et al.*, 2014) y en general amenazando las funciones globales ecosistémicas y sus procesos ecológicos y de servicios (Etter *et al.*, 2011)

La influencia humana y sus impactos sobre el medio ambiente natural, se han estudiado a través del cambio de uso de la tierra (Hernández & Vieyra, 2010) pues tiene efectos en el funcionamiento de los ecosistemas a múltiples escalas, con consecuencias desde lo regional hasta cambios en el clima global, degradación hidrológica y del suelo, incrementando invasiones y extinciones biológicas (Etter *et al.*, 2011); sin embargo, esta variable por sí sola no describe adecuadamente la complejidad de las presiones humanas.

Tapia-Armijos *et al.*, (2017) confirman que la presión humana es causada por la interacción sinérgica de factores socioeconómicos, físicos, demográficos y políticos; donde la mayor demanda de recursos, está relacionada con el crecimiento poblacional; y la transformación del paisaje asociada fuertemente con la dinámica de comercio nacional e internacional

---

(Venter *et al.*, 2016). En adición, existen variedad de factores como la intensidad del uso del suelo (Shen *et al.*, 2020), la duración de la intervención, la espacialidad y la heterogeneidad biofísica de los ecosistemas, son aspectos obligatorios a considerar en el proceso de medir el impacto humano.

Uno de los primeros indicadores del impacto humano fue el índice de huella humana (HFI) introducido por Sanderson *et al.*, (2002), seguido por Brown y Vivas, 2005, Wang y Yu, 2013, Xu *et al.*, 2015, Di *et al.*, 2015, Cen *et al.*, 2015, Xu *et al.*, 2016, Chi *et al.*, 2017b, Peng *et al.*, 2017, Wellmann *et al.*, 2018, entre otros, que concentraron sus esfuerzos en cuantificar la intensidad de la actividad humana (Chi *et al.*, 2017).

Hannah *et al.*, (1995) desarrollaron un índice de clasificación para evaluar el grado de impacto humano a nivel de biomas y provincias biogeográficas; Sanderson *et al.*, (2002) hicieron un mapa global de huella humana mostrando la extensión e intensidad de la presencia humana y sus acciones, incorporando variables influyentes de escala como: densidad de población, transformación del paisaje, accesibilidad e infraestructura de energía eléctrica (Haines *et al.*, 2008).

Leu *et al* (2008) modelaron la huella espacial incorporando características antropogénicas puntuales, más allá de su huella física como fragmentación antrópica, riesgo de invasión de especies exóticas, depredadores sinantrópicos, incendios humanos, sitios de extracción de agua, campamentos, vertederos y pozos de extracción de energía. Estos enfoques se centran en la huella humana como resultado de factores socioeconómicos o variables asociadas que generan estrés.

Woolmer *et al.*, (2008) incluyen sitios como minas, hidroeléctricas y desarrollaron una versión reescalada de huella humana para la planificación de la conservación a escala regional, a partir de la cual concluyen que el uso de escala detallada destaca la complejidad espacial de la huella, por tanto, debe ser cuidadosamente interpretada cuando se aplica para comprender patrones locales.

Trombulak *et al.*, (2010) aplicaron el índice, a nivel regional, para evaluar el impacto humano en ecoregiones terrestres; y Tapia-Armijos *et al.*, (2017), adapta el HF de Sanderson *et al.*, (2002) para el sur del Ecuador, un área única en biodiversidad y

endemismo, y evalúan como los distintos niveles de presión humana varían en diferentes ecosistemas e incorpora variables como la densidad de población, transformación del paisaje, distribución de la infraestructura eléctrica y acceso humano (Tapia-Armijos *et al.*, 2017).

Etter *et al.* (2011), Gonzales-Abraham *et al.*, (2015) y (Correa Ayram *et al.*, 2020) aplicaron el índice para evaluar la influencia espacial humana en ecosistemas y regiones naturales, a nivel nacional.

Etter *et al.* (2011) cuya versión de HFI incluye la dimensión de la intensidad del uso de la tierra el tiempo de intervención humana y la vulnerabilidad biofísica (fertilidad del suelo, pendiente, disponibilidad de humedad y número de especies de corto alcance). Al combinar estas tres dimensiones espaciales, los autores proporcionaron una caracterización más integral de los impactos humanos al incorporar contextos históricos y ecológicos; este HFI ampliado facilita la detección de áreas prioritarias específicas para el ecosistema para la planificación de la conservación. De hecho, ya se ha utilizado para este propósito en países de alta biodiversidad, como Colombia (Ocampo-Peñuela y Pimm, 2014), China (Qiu *et al.*, 2015) y México (Correa Ayram *et al.*, 2017)(Correa Ayram *et al.*, 2018).

Venter *et al.* (2016) actualizó el índice de huella espacial humana basado en Sanderson *et al.*, (2002), incluyeron el efecto de carreteras, ferrocarriles y vías navegables y analizaron los cambios de los patrones espaciales entre 1993 y 2009, proporcionando el primer conjunto de mapas de huella humana comparables temporalmente (Correa Ayram, 2017).

Correa Ayram *et al.*, (2020) realizaron un análisis multitemporal de LHFI (1970-2015) para Colombia, identificaron el hotspot de cambio de huella humana y exploraron las relaciones de LHFI con categorías de riesgo para cada ecosistema. A diferencia de otros estudios de huella humana (Li *et al.*, 2018, Tapia-Armijos *et al.*, 2017, Venter *et al.*, 2016, Geldmann *et al.*, 2014), estimaron los impactos humanos en cuatro períodos que amplían la resolución temporal de cualquier HFI disponible (Correa Ayram *et al.*, 2020).

La aplicación del índice de Huella espacial humana, además de cuantificar el impacto acumulado, permite realizar monitoreos del estado de conservación o degradación de los ecosistemas, generar alertas tempranas para la gestión y planificación adecuada y sostenible del uso del territorio.

En adición, el mapeo de los cambios espacio-temporales de huella humana, revelan las áreas donde la presión antrópica ha incrementado, disminuido o se han mantenido estables, así como los puntos críticos (*hotspot*), donde los impactos son sobresalientes (Geldmann *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2018; Tapia-Armijos *et al.*, 2017; Venter *et al.*, 2016).

De acuerdo con los resultados de Correa Ayram *et al.*, (2020) los *hotspot* de cambio estuvieron localizados en las regiones: Andes, Amazonas y Orinoco. En este último, los ecosistemas que presentaron mayor alteración fue el pie de monte llanero, del departamento de Casanare, que adicionalmente alberga ecosistemas con categorías de amenaza de la UICN en peligro crítico (CR) y estado vulnerable (VU).

En base a lo anterior, se seleccionó como zona de estudio, la cuenca del río Túa, ubicada al sur del departamento de Casanare. Alberga cuatro municipios: Villanueva, Sabanalarga, Tauramena y Monterrey, cuenta con un amplio rango altitudinal desde los 2400 hasta 200msnm, configurándose en un territorio con alta heterogeneidad biofísica y variedad ecosistémica y con fuertes procesos de transformación impulsados por sector agropecuario, minero, de hidrocarburos e infraestructura vial, principalmente.

Por lo mismo, mapear los actuales patrones espaciales de presión humana de la zona de estudio, asistirán al direccionamiento de la cuenca en pro del manejo adecuado del suelo y fortalecerán los programas de conservación (Woolmer *et al.*, 2008), ya que hasta el momento se desconoce la efectividad de los instrumentos de planificación que no se evidencian materializados en el territorio y sus gentes.

Así bien, el presente estudio tiene como propósito evaluar la huella humana en paisajes locales colombianos altamente transformados, así: (1) Proponer un enfoque metodológico para determinar la huella espacial humana en paisajes locales, aplicado en la cuenca del río Túa, Casanare; (2) Evaluar la pertinencia de la incorporación de la dimensión de vulnerabilidad biofísica en la huella espacial humana de paisajes locales en la cuenca del río Túa y (3) Analizar la correspondencia entre el POMCA, como instrumento de planificación territorial, y los resultados de huella espacial humana para la cuenca del río Túa.

## Justificación

La presión humana es causada por la interacción sinérgica de aspectos demográficos, factores políticos, físicos y socioeconómicos, los cuales están fuertemente asociados a la dinámica del comercio a nivel nacional e internacional, con particularidades territoriales.

Estas interacciones de sistemas acoplados han dejado tras su paso paisajes transformados (Venter *et al.*, 2016 en Tapia-Armijos *et al.*, 2017), fragmentación (Nagashima *et al.*, 2002), pérdida de biodiversidad, alteración de los servicios ecosistémicos, desertización y ecosistemas en riesgo de colapso, entre otros. En los últimos 50 años, la transformación de los ecosistemas en Colombia ha sido vinculada a la expansión de la tierra productiva y sus cambios tecnológicos en respuesta a las demandas comerciales, el aumento de la migración a los centros urbanos, el narcotráfico y el conflicto armado interno (Etter *et al.*, 2008)

Actualmente, Colombia tiene casi la mitad (36) de los tipos de ecosistemas en niveles altos de riesgo: en peligro crítico (CR) y estado vulnerable (VU); 22 ecosistemas del país, equivalentes al 27%, están categorizados como CR, y 14 ecosistemas (17%) en estado de peligro (EN). Esto quiere decir que cerca de la mitad de los ecosistemas del país representan condiciones que ponen en peligro su permanencia y su provisión de servicios a la sociedad (Etter, Andrade, et al., 2017).

Por lo anterior, surge la imperiosa necesidad de adelantar acciones de gestión y manejo apropiado para mitigar y controlar estos conflictos, por lo que se requiere conocimiento a escala detallada de los diferentes niveles de impactos humanos en los ecosistemas (Tapia-Armijos *et al.*, 2017), para cada contexto biofísico y socioeconómico particular.

Una medida espacial de la huella humana que incluya variables que operan a escala local,

proporcionará a los tomadores de decisión, argumentos científicos para la planificación con base en información más detallada sobre el alcance de los impactos, la prioridad de las áreas de intervención y permitirá desarrollar escenarios de restauración e identificar áreas con altos valores de conservación en paisajes locales en contextos regionales (Leu *et al*, 2008).

Es por esta razón, que es imperante se requiere verificar si existe correspondencia entre el estado de degradación de los ecosistemas con la zonificación y definición del uso del suelo de los instrumentos de planificación del territorio, de forma que se proporcionen lineamientos de gestión más efectivos y acertados, y que respondan a las realidades locales.

Se toma como caso de estudio, la cuenca del río Túa ubicada al sur del departamento de Casanare, bajo dos argumentos: (1) Esta cuenca hace parte de los **hotspot** de cambio de huella espacial humana de carácter nacional (Correa Ayram *et al.*, 2020), ya que existe un frente de desarrollo concentrado con intensos procesos de transformación a lo largo de estribaciones de alta biodiversidad, debido a la expansión de ganadería de baja productividad y una agroindustria intensificada y además (2) alberga ecosistemas en categorías de alto riesgo (CR y EN) de acuerdo con la más reciente lista roja de ecosistemas (LRE).

## Objetivo General

Evaluar la huella espacial humana en paisajes locales, identificados como *hotspot* de transformación antrópica en Colombia.

## Objetivos específicos

1. Proponer un enfoque metodológico para determinar la huella espacial humana en paisajes locales, aplicado en la cuenca del río Túa, Casanare.
2. Evaluar la pertinencia de la incorporación de la dimensión de vulnerabilidad biofísica en la huella espacial humana de paisajes locales en la cuenca del río Túa.
3. Analizar la correspondencia entre el POMCA, como instrumento de planificación territorial, y los resultados de huella espacial humana para la cuenca del río Túa.





# 1. Fundamentación teórica

## 1.1 Estado del arte

Desde mediados del siglo XX, se ha acelerado la presión humana sobre el medio ambiente, incrementando el riesgo sobre la biodiversidad y la provisión de bienes y servicios ecosistémicos (Steffen *et al.*, 2015 citado en (Sanderson *et al.*, 2002). Los impactos directos de las actividades humanas sobre los sistemas naturales incluyen la pérdida y degradación del hábitat (Crooks *et al.*, 2011), la fragmentación (Haddad *et al.*, 2015), la deforestación (Hansen *et al.*, 2013), la extinción de especies (Dirzo *et al.*, 2014) y contaminación plástica en ecosistemas marinos (Eriksen *et al.*, 2014).

A pesar del amplio consenso sobre la importancia de la influencia humana y sus implicaciones sobre la naturaleza, no son plenamente apreciadas por la comunidad humana en general, pues no las reconoce en sus sistemas económicos (Hall *et al.* 2001) ni en la mayoría de sus decisiones políticas (Chapin III *et al.*, 2000).

En parte, esta ausencia de comunicación puede deberse a la propensión de los científicos a expresarse con abstracciones que no son entendidas, o a suposiciones históricas y hábitos heredados de tiempos en los que los seres humanos, tenían una influencia mucho menor en la biosfera (Sanderson *et al.*, 2002). Por lo tanto, es indispensable hacer un acercamiento a los resultados de investigaciones científicas, desde la academia, con instrumentos de ley que permitan a los tomadores de decisión gestionar de manera asertiva sobre los territorios y sus gentes.

Actualmente, las decisiones individuales de más de 6 mil millones de personas se suman a un fenómeno global de una manera única en nuestro tiempo; por lo que se hace indispensable comprender esta influencia en extensión, lo cual les otorga una influencia importante a los mapas.

Hasta hace poco, no era posible diseñar un mapa de este tipo porque no se disponía de datos detallados sobre las actividades humanas a escala mundial, no obstante, la afortunada confluencia de varios factores durante la década de los noventa cambió esta situación. Los rápidos avances en la observación de la Tierra, utilizando tecnología satelital iniciada por la NASA y otras agencias espaciales, significaron que, por primera vez, se dispuso de mapas globales verificables del uso y cobertura de la tierra (Loveland *et al.* 2000). La mejora de los informes de estadísticas de población a nivel subnacional permitió a los geógrafos crear mapas digitales globales de la densidad de población humana (CIESIN *et al.* 2000 citado en (Sanderson *et al.*, 2002).

Finalmente, los avances en los sistemas de información geográfica (SIG) han proporcionado la tecnología de integración necesaria para combinar datos de manera eficiente y reproducible, y aunque los conjuntos de datos disponibles son aún imperfectos, son lo suficientemente detallados y completos como para que los científicos puedan mapear la influencia de los humanos en toda la superficie de la tierra (Sanderson *et al.*, 2002).

Al mapa de influencia humana se le llama: “la huella humana”. Conscientes de su similitud con la huella ecológica: *conjunto de técnicas para estimar la cantidad de tierra o mar necesaria para sustentar los hábitos de consumo de un individuo, población, producto, actividad, o servicio* (Wackernagel y Rees 1996 ), la huella humana representa en cierto sentido la suma total de las huellas ecológicas de la población humana. Sin embargo, expresa esa suma como un continuo de la influencia humana que se extiende a lo largo de la superficie de la tierra, revelando a través de su variación el patrón principal de influencia humana en la naturaleza (Sanderson *et al.*, 2002).

### **1.1.1 Concepto de huella espacial humana**

La huella humana es una herramienta que mapea la dimensión espacial de la influencia humana, mostrando la extensión e intensidad, tanto de la presencia humana como de sus acciones, más allá de su área física (Tapia-Armijos *et al.*, 2017).

La investigación de características antropogénicas o patrones de perturbación puede cambiar según la escala del análisis y el alcance de la investigación. Por lo tanto, la

---

identificación y la importancia de los datos específicos de la huella humana dependerán de las preguntas que se hagan y de la escala del análisis (Haines *et al.*, 2008).

Haines *et al.*, utilizaron la huella humana para evaluar los esfuerzos de conservación a nivel de paisaje. Burton y col., utilizaron los datos para encontrar la relación entre huella humana y biodiversidad. Venter *et al.*, redefinieron el concepto de huella humana e incluyeron el efecto de carreteras, ferrocarriles y vías navegables; en adición construyeron un mapa global comparando 1993-2009.

A escala global, Sanderson *et al.* (2002) desarrollaron datos de la huella humana basados en características antropogénicas influyentes a esta escala, como la densidad de población, la transformación de la tierra, el acceso humano, la infraestructura de energía eléctrica y los biomas terrestres globales (Haines *et al.*, 2008).

A una escala más regional, Leu *et al.* (2008) definieron la huella humana para el oeste de los Estados Unidos con base en el área de influencia ecológica por características antropogénicas más allá de su huella física, para características puntuales antropogénicas (por ejemplo, campamentos, vertederos y pozos de extracción de energía), características lineales (por ejemplo, carreteras principales, carreteras secundarias, ferrocarriles, líneas eléctricas y canales de riego) y características poligonales (por ejemplo, tierras agrícolas y áreas urbanas).

Por su lado, Woolmer *et al.*, (2008) reescalaron la huella humana para la planificación de la conservación a escala regional; Trombulak *et al.*, (2010) aplicaron el índice, a nivel regional, para evaluar el impacto humano en ecoregiones terrestres y Tapia-Armijos *et al.*, (2017), adapta el HF de Sanderson *et al.*, (2002) para el sur del Ecuador, un área única en biodiversidad y endemismo, evalúa como los distintos niveles de presión humana varían en diferentes ecosistemas e incorpora: densidad de población, transformación del paisaje, distribución de la infraestructura eléctrica y acceso humano.

A nivel nacional, aplicaron el índice para evaluar la influencia espacial humana en ecosistemas y regiones naturales (Etter *et al.*, 2011; Gonzales-Abraham *et al.*, 2015). Por su lado, el estudio de Venter *et al.* (2016) actualizó el índice de huella espacial humana basado en Sanderson *et al.*, (2002), y analizó los cambios de los patrones espaciales entre

---

1993 y 2009, proporcionando el primer conjunto de mapas de huella humana comparables temporalmente (Correa Ayram *et al.*, 2017).

La huella humana es un enfoque espacialmente explícito para la planificación de la conservación que puede servir como un medio visual eficaz para audiencias públicas, al simplificar la presentación de información compleja. Al presentar ilustraciones claras de datos espaciales que cambian a lo largo del tiempo, el público puede visualizar los impactos ecológicos de la actividad antropogénica en lo que se refiere específicamente a áreas naturales y especies silvestres. Además, el público puede evaluar fácilmente qué estrategias de conservación fueron efectivas para mitigar los impactos antropogénicos. Una mayor comprensión del público y las partes interesadas sobre el paisaje cambiante y el proceso de conservación puede generar más apoyo e implementación de esfuerzos de conservación efectivos (Haines *et al.*, 2008).

### **1.1.2. Investigaciones en huella humana**

Existen más de 12 artículos científicos a nivel mundial que cuantifican la huella humana espacialmente y un sinnúmero que tratan sobre los efectos e impactos de las actividades humanas con el propósito de determinar la influencia humana. A continuación, se relaciona una matriz con la intención de destacar, resumir y comparar los principales asuntos en torno a la huella humana, los cuales se concretizan en diversidad de enfoques, escalas, variables y conclusiones, en algunos casos similares, en otros disímiles, y que permiten tener un contexto general de los aspectos esenciales de la huella humana. (Ver tabla 1).

Tabla 1. Cuadro resumen de generalidades básicas de investigaciones en Huella Humana en el mundo. (Fuente: propia)

	TITULO	AUTOR	AÑO	LUGAR	RES. ESPAC	OBJETIVOS	PARA QUE SE USA EL INDICE DE HUELLA ESPACIAL HUMANA	CONCLUSIONES CLAVES
1	CAMBIO DE LA ESCALA HUMANA: UNA HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACION DE LA CONSERVACION A ESCALA ECOREGIONAL	WOOLMER ET AL	2008	APALACHES DEL NORTE	90m	1. comparar la huella humana global 1km resolucin y ecoregional 90m resolucin y verificar patrones espaciales de la influencia humana.	1. Evidenciar la importancia de la resolucin espacial en el analisis de la huella humana. 2. Huella humana util para la construccion de escenarios prospectivos.	1. Cambio de escala a una resolucin Mas fina conduce a mejoras que aumentan a medida que el área es mas pequeña. 2. En ecoregion el 46% HH<20 y 34% HH>40; En global % HH<20 y 21% HH>40. lo que demuestra beneficio de mapeo a escala regional para planificacion del uso de la tierra. 3. Resultados proporcionan marco de datos para modelar escenarios de HH futura plausibles a nivel regional. 4. la medicion y mapeo de huella humana a escala global adolece de problemas de precision y resolucin.
2	HUELLA ESPACIAL HUMANA Y LO ULTIMO SILVESTRE	SANDERSON ET AL	2002	GLOBAL	1KM	1. Cuantificar la influencia humana relativa en cada bioma de la superficie terrestre. 2. Cuantificar huella humana a mayor escala para evidenciar los patrones de carreteras, asentamientos, usos de la tierra y densidad de poblacion para un área en particular: la geografía de la influencia humana.	Medida directa de la infraestructura humana y de la poblacion que tiene impacto directo sobre la vida y tierras silvestres.  Hay muchas formas de utilizar la huella humana para definir áreas de interés para la conservación. Identificar las áreas más salvajes de cada bioma. Encontrar las áreas que enfrentan la mayor amenaza. Identificar áreas en diferentes puntos a lo largo de la continuo de influencia	El 83% de la superficie terrestre y el 98% del área donde es posible cultivar arroz, trigo o maíz (FAO 2000) está directamente influenciado por los seres humanos (HH> 0). El máximo teórico (72) se alcanza en una sola área, Brownsville, Texas, EE. UU., pero el 10% superior de las áreas con mayor puntuación parece una lista de las ciudades más grandes del mundo: Nueva York, Ciudad de México, Calcuta, Beijing, Durban, São Paulo, Londres, etc. El mínimo la puntuación (0) se encuentra en grandes extensiones de tierra en los bosques boreales de Canadá y Rusia, en las regiones desérticas de África y Australia Central, en la tundra ártica y en la cuenca del Amazonas. Sin embargo, la mayor parte del mundo (alrededor del 60%) se encuentra el continuo entre estos dos extremos, en áreas de influencia humana moderada pero variable. 1. NO INCLUYE EFECTO DE LA CONTAMINACION, CAMBIO CLIMATICO Y EXPOSICION A RAYOS UV. 2. No se estimaron areas amplias de pastoreo y areas aridas. 3. No incluye la antartica y pequeñas islas oceanicas. 4. Uso de datos netamente terrestres, nada en los oceanos.
3	ANALISIS ESPACIO TEMPORAL DE LA HUELLA HUMANA EN EL SUR DEL ECUADOR: PRESION HUMANA EN ECOSISTEMAS Y EFECTIVIDAD DE AREAS PROTEGIDAS	TAPIA ARMIJOS	2017	ECUADOR	100m	1. Determinacion del indice de influencia humana (HHI), con 4 variables. 2. Analisis espacial y temporal de la huella humana en tres años 1982-1990-2008.	1. Verificar el estado de las areas protegidas y efectividad de las estrategias de gestion para conservacion de las areas protegidas. 2. Corroborar la pertinencia de investigacion de huella humana a resolucin espacial mas detallada.  3. Es una herramienta espacial útil que mejora nuestra comprensión de la dinámica espacial en el	La velocidad del cambio global, sin duda, plantea un desafío a la conservación de ecosistemas naturales, especialmente en áreas con alta biodiversidad. En el mundo, la mayoría de los puntos críticos de biodiversidad toleran altos niveles de presión humana (Venter et al., 2016 ) Muchas de estas áreas estan ubicadas en países con economías en desarrollo basadas en recursos extracción, altas tasas de necesidades insatisfechas, sistemas legales deficientes y también con recursos económicos limitados para programas de conservación y seguimiento.  Esta herramienta genera información valiosa de información espacial básica (por ejemplo, población infraestructura vial y eléctrica) que

						territorio y generar información de línea de base para la detección de áreas donde los esfuerzos de conservación y manejo de recursos naturales debe enfocarse	cualquier país pueda tener disponible y, por tanto, factible de reproducir en otras áreas	
4	COMPRESION DE LA VARIACION ESPACIO TEMPORAL DE LA HUELLA HUMANA EN LA PROVINCIA DE JIAMSING, CHINA, SUS IMPULSORES ANTROPOGENICOS Y NATURALES Y POSIBLES IMPLICACIONES	FEIXUE ET AL	2020	PROVINCIA DE JIANGSU, CHINA	1KM	1. Comprender los patrones espaciales y temporales de las presiones humanas, para entender las interacciones entre hombre y sistemas biofisico. 2. Calcular la huella espacio temporal y sus fuerzas impulsoras en areas urbanizada con actividades humanas intensivas. 3. Comprender los impulsores antropogenicos y naturales de la huella humana	1. Evaluar el impacto humano en el espacio y en el tiempo. 2. Evaluar impacto norte vs sur.	1. los impulsores naturales y antropicos explican mejor el cambio de HH. 2. Todos los factores impulsores son necesarios para explicar la variacion espacio temporal de la HH. 3. las variables climaticas juegan un papel importante en la explicacion de la HH en el tiempo. 4. existen efectos interactivos entre actividad humana y el clima. 5. los impulsores mas importantes para explicar la HH son: la pendiente, distancia al gua, pp año, temp año, nivel de industrializacion, optimizacion estructura industrial. 6. el incremento de la huella humana se debe: luz nocturna, suelo construido. 7. se comprobo el efecto Mathew: cuanto mayor sea la huella humana inicial, mayor es la tasa de aumento de la huella humana.
5	INCORPORACION DE LA TEMPORALIDAD Y VULNERABILIDAD BIOFISICA PARA CUANTIFICAR LA HUELLA ESPACIAL HUMANA EN ECOSISTEMAS	ETTER ET AL	2011	COLOMBIA	1Km	1. Proponer una huella humana cuantitativa espacial, especifica del ecosistema, agrupadas en tres dimensiones: 1. intensidad de uso del suelo, tiempo de intervencion y vulnerabilidad biofisica.	La información de la Huella Espacial de este estudio fue utilizada como insumo para poder evaluar el aspecto B1aii, que incluye la "medida de calidad ambiental apropiada para la biota característica de un ecosistema, en el marco de la aplicacion de la metodologia LRE.	1. Problemas de escala y resolucion espacial. 2. Tener en cuenta en la huella humana, su influencia sobre el cambio climatico ( vapor de agua, velocidad viento etc), 3. Refinar la escala de HH para incorporar impactos de orden local que se ajuste a la realidad.

6	EVALUACION ESPACIO TEMPORAL DE LA HUELLA HUMANA EN COLOMBIA: 4 DECADAS DE IMPACTO ANTROPICO EN ECOSISTEMAS ALTAMENTE BIODIVERSOS	CORREA AYRAM ET AL	2020	COLOMBIA	300m	1. Identificar los puntos criticos de cambio del indice de huella espacial humana, y evaluar su intensidad en regiones y ecosistemas. 2. Evaluar las tendencias de las presiones humanas en cada ecosistema. 3. Comprender los patrones espacio temporales del impacto humano en el sistema natural.	Identificar ecosistemas y regiones en alto riesgo de colapso ecosistemico. Identificar áreas claves para restauracion y conservación. Identificar tendencias de cambio a escala nacional pero a resolucion mas detallada. Identificar ecosistemas de mayor persistencia. Caracterizar el impacto humano por regiones y ecosistemas. Priorizar acciones en lugares clave.	Los resultados de este analisis espacio temporal para Colombia, proporciona el primer examen histórico de dónde y cómo se distribuyen los diferentes niveles de impacto humano. Este indice se puede aplicar a otras escalas, paisajes opaises, contribuyendo sustancialmente a futuras evaluaciones de impactos para una mejor toma de decisiones en el plan de conservación de la biodiversidad. Este Índice de Huella Humana ajustado (LHFI) permite evaluaciones sobre impactos humanos realizados sin tener en cuenta la vulnerabilidad biofísica como sugirieron previamente Etter et al.(2011). Sin esta dimensión, nuestro enfoque distingue áreas que muestran un alto impacto humano debido al reciente proceso de degradación de las áreas con la histórica presión humana. Este atributo es fundamental para identificar áreas donde la presión humana es tan frecuente que los ecosistemas podrían ir más allá del punto de inflexión para la recuperación (Pimm et al., 2006; Ceballos et al., 2015), o áreas donde la recuperación natural y la restauración inducida es más probable que los procesos tengan éxito ( Jones et al., 2018 )
7	LA HUELLA HUMANA EN EL OESTE: UN ANALISIS A GRAN ESCALA DE IMPACTOS ANTROPOGENICOS	LEU et al	2008	OESTE DE EEUU	1	1. Modelar la huella espacial humana en el oeste de EEUU. 2. Caracterizar actividades antropicas de efectos fisico y de efecto ecologico, siendo este la zona de influencia mas alla de su presencia fisica. 3. atraces de 7 modelos de entrada: 3 modelos cuantifica la influencia humana por depredadores sinantropicos (perros y gastos) que son riesgo para la fauna y 4 modelos que cuantifican la influencia humana en el habitat (sp exoticas, incendios, etc)	1. Herramienta para estratificar el paisaje para estudios de investigacion de flora y fauna, en respuesta a la intensidad y gradiente de disturbio humano 2. Planificar acciones de uso de la tierra y Desarrollar escenarios de restairacion, 3. Identificar areas de alto valor de conservaxion en paisajes locales con contexto regional.	Huella humana util para estratificar el paisaje para estudios de investigacion de flora y fauna, en respuesta a la intensidad y gradiente de disturbio humano



8	<p>HUELLA HUMANA Y "DESAPARICION" CLIMATICA EN ECOREGIONES VULNERABLES DE AREAS PROTEGIDAS</p>	<p>JI-ZHONGWAN ET AL</p>	<p>2018</p>	<p>Global</p>	<p>1km</p>	<p>1. Cuantificar la huella humana y la "desaparicion climatica" de areas protegidas (AP) de UICN. 2. Estudiar las AP globales en diferentes categorias de gestion.</p>	<p>1. Evaluar la efectividad de estrategias y tecnicas de gestion. 2. Demostrar la necesidad de analisis integrales del sistema natural. 3. Corroborar las relaciones de interdependencia entre variables biofisicas. 4. La HH buen indicador para la gestion de areas protegidas.</p>	<p>La HH y cambio climatico son los principales impulsores de la perdida de biodiversidad mundial. 2. Establecer AP es lo mas eficaz, pero la HH en AP disminuyen su eficacia. 3. HH es buen indicador de ecoregiones con AP vulnerables. 4. Dene disminuir el impacto humano en areas adyacentes a AP. 5. Aunque las AP contribuyen a la conservacion global en ecoregiones vulnerables, los efectos negativos de cambio climatico todavia impactan. 6. La HH y cambio climatico deben integrarse en las estrategias de adaptacion para la conservacion de AP.</p>
9	<p>IMPACTO ANTROPOGENICO EN LA CONECTIVIDAD DEL HABITAT: UN INDICE DE HUELLA HUMANA MULTIDIMENSIONAL EVALUADO EN UN PAISAJE DE ALTA BIODIVERSIDAD DE MEXICO</p>	<p>CORREA AYRAM ET AL</p>	<p>2017</p>	<p>SISTEMA VOLCANICO TRANSMEXICO, MICHOACAN, CENTRO OCCIDENTAL DE MEXICO.</p>	<p>100M</p>	<p>1. ANALIZAR LOS EFECTOS DE LA TRANSFORMACION DEL PAISAJE EN LA CONECTIVIDAD DEL HABITAT REMANENTE DE 40 SP DE MAMIFEROS</p>	<p>1. se usa el shfi como superficie de resistencia a la dispersion. 2. para identificacion de areas con alto valor para la conectividad. 3. identifica areas para restauracion. 4. la metodologia adoptada contribuye a la planificacion de la conservacion y monitoreo de recursos naturales.</p>	<p>1. La interacción entre la intensidad del uso de la tierra, el tiempo de intervención antrópica, la vulnerabilidad biofísica y el grado de aislamiento y pérdida de hábitat de los mamíferos terrestres han provocado la pérdida del 80% de la conectividad. 2. la investigación identificó áreas con altos valores de "naturalidad", que promueven la conectividad a lo largo del sistema.</p>
10	<p>DIECISÉIS AÑOS DE CAMBIO EN EL MUNDO TERRESTRE HUELLA HUMANA E IMPLICACIONES PARA LA BIODIVERSIDAD CONSERVACIÓN</p>	<p>VENTER ET AL</p>	<p>2016</p>	<p>GLOBAL (1993 Y 2009)</p>	<p>1KM</p>	<p>Actualizar el mapa de huella humana original para proporcionar una visión contemporánea de las presiones humanas. Realizar una serie de análisis de patrones espaciales y temporales de la huella.</p>	<p>Comprender los patrones espaciales y temporales en humanos. Las presiones sobre el medio ambiente proporciona una base para mitigar el daño ambiental en entornos sensibles o áreas ecológicas valiosas. Los mapas terrestres de presiones humanas acumulativas han demostrado ser un fuerte predictor de colapso. Necesitamos entender mejor las tendencias espaciales y temporales de las presiones humanas y sus consecuencias, para que podamos actuar en consecuencia.</p>	<p>El 75% de la superficie terrestre del planeta está experimentando presiones humanas. Las presiones representan algunas de las acciones más importantes tomadas por humanos con el potencial de dañar los sistemas naturales locales. Existen fuertes relaciones entre la severidad, extensión y expansión de la huella humana y la idoneidad de la tierra para agricultura. Las altas presiones a las que se enfrenta gran parte del planeta destaca la urgente necesidad de mejorar las intervenciones de conservación. Los resultados sugieren que las oportunidades para la conservación pueden ser más restrictivas, solo hay el 3% de estas áreas actualmente libres de presiones. Este resultado indica que mantener la biodiversidad requerirá una restauración extensa para eliminar y mitigar las presiones humanas. La restauración puede ser particularmente beneficiosa cuando las presiones han surgido recientemente. Nuestros análisis también destacan la importancia de la cuenca del Amazonas como un sistema muy engañoso y todavía en gran parte intacto, pero uno ahora susceptible a presiones aceleradas después de los recientes cambios en la política. En general, la huella humana está generalizada y ha aumentado rápidamente, especialmente en ecorregiones tropicales y otros lugares ricos en biodiversidad. Las naciones ricas y las que tienen fuertes controles en la corrupción mostraron algunos signos de mejora, pero esto se ve ensombrecido por el hecho de que el 71% de las ecorregiones mundiales vieron aumentos marcados (&gt; 20%) en sus huellas humanas.</p>

### 1.1.3. Metodologías para el mapeo de huella humana

Mapear la huella humana crece de una tradición reciente de la cartografía de la naturaleza (Sanderson *et al.*, 2002), que se centra en definir la influencia humana a través de variables geográficas, como la población, asentamientos, carreteras y otros puntos de acceso, e incluye factores como el tamaño y la lejanía de un área (Sanderson *et al.*, 2002). Estos datos geográficos disponibles de influencia humana son llamados indicadores geográficos de influencia humana o impulsores antropocéntricos de huella humana.

Varios autores, han utilizado metodologías similares para mapear la huella humana, con variaciones y ajustes a los objetivos, a la escala espacial de trabajo, de acuerdo principalmente al enfoque teórico-conceptual (Ver tabla 2).

Para mapear la huella humana, Sanderson *et al.*, (2002) usaron cuatro tipos de datos como sustitutos de la influencia humana: (1) densidad de población, (2) suelo transformado, (3) accesibilidad e (4) infraestructura de energía eléctrica, los cuales tienen impacto más inmediato en la vida silvestre y las tierras silvestres y para los cuales los datos geográficos estaban más **fácilmente disponibles**. El conjunto de datos, que representan estos cuatro tipos, fueron seleccionados por su **cobertura, consistencia, disponibilidad y relevancia**, aunque proporcionan solo una descripción incompleta de la influencia humana en la naturaleza.

El conjunto de datos fue expresado en cuadrículas con resolución de 1 kilómetro cuadrado (km<sup>2</sup>) y codificado en puntajes estandarizados en una escala de 0 a 10 (0 para baja influencia humana, 10 para alta). Los puntajes reflejan la contribución estimada de influencia humana (Sanderson *et al.*, 2002).

Para Colombia, Etter *et al.*, (2011), proponen medir la influencia humana en Colombia por medio de un índice total de huella humana, categorizado en tres (3) dimensiones, así:

1. Dimensión de la intensidad del uso de la tierra, que incluye:
  - a. Densidad de la población rural (Hab/km)
  - b. Distancia a vías (km)
  - c. Distancia a asentamientos
  - d. Índice de fragmentación

- e. Índice de Biomasa relativa
- f. Cobertura de uso del suelo
- 2. Dimensión temporal
  - a. Tiempo en años de intervención
  - b. Dimensión de vulnerabilidad biofísica, que incluye:
    - a. Pendiente
    - b. Índice de fertilidad del suelo
    - c. Índice de disponibilidad de humedad
    - d. Riqueza de especies endémicas o rango pequeño (número de especies)

Cada dimensión es un subíndice constituido por variables de igual peso. Estas variables se construyeron a resolución de 1km y reescaladas entre 0-5, indicando el mayor valor a la mayor contribución en la huella humana. Todos los valores de los subíndices fueron sumados para producir mapas parciales. Finalmente, los cuatro mapas se normalizan en una escala entre 0-100, para producir un mapa general de huella humana acumulada.

De acuerdo con Etter *et al.*, (2011), al combinar las tres dimensiones espaciales mencionadas, se garantiza una caracterización más integral de los impactos humanos ya que incorpora contextos históricos y ecológicos. Esta huella humana ampliada facilita la detección de áreas prioritarias específicas para la planificación de la conservación.

Por otro lado, la versión de Correa Ayram *et al.*, (2017), y basándose en la metodología de Etter *et al.*, (2011), aborda la influencia humana, para el centro occidental de México, desde 4 dimensiones en 4 subíndices. Las bases de datos de entrada y los modelos para el análisis de conectividad se estandarizaron a una resolución de 100 m utilizando la proyección cónica de áreas iguales de Albers. Los subíndices utilizados fueron los siguientes:

(1) *Fint*: la intensidad de uso de suelo que involucra: tipo de uso del suelo, densidad de población rural, distancia a asentamientos, distancia a vías, índice de fragmentación, índice de biomasa relativa;

(2) *Ftime*: Tiempo transcurrido desde la intervención (años),

(3) *FVul*: vulnerabilidad biofísica y la nueva propuesta

(4) *FFrag*: pérdida de hábitat por fragmentación, que involucra: la distancia a hábitats remanentes, porcentaje de hábitat transformado en 1km<sup>2</sup>, y índice de extensividad de la transformación, que hace referencia a la distancia media entre cada pixel y el centroide de cada parche de hábitat transformado. Para el tratamiento de las variables se siguió la metodología de Etter *et al.*, (2011).

Finalmente, la última aplicación de esta metodología en Colombia, fue realizada por Correa Ayram *et al.*, (2020) con la construcción de un mapa de huella espacial humana a escala nacional, con resolución de 300m, producto del análisis espacio temporal de 4 décadas de impacto antrópico. Esta investigación trabajó bajo dos dimensiones: 1. tiempo de intervención (desde 1970-2015) y 2. Intensidad de uso del suelo, incorporando las variables propuestas por Etter *et al.*, (2011) sin incluir la dimensión de la vulnerabilidad biofísica.

La investigación se enfocó en identificar los cambios críticos de cambio de huella humana evaluando su intensidad en regiones y ecosistemas, con el fin de identificar tendencias de presiones humanas para cada ecosistema. Para esto, se tuvieron en cuenta los resultados de la aplicación de la metodología de la lista roja de ecosistemas para Colombia (LRE), metodología que permite evaluar el estado de los ecosistemas que se encuentran en riesgo, y que puede ser aplicada a nivel global, regional, nacional o local (Etter, Andrade, et al., 2017).

Tabla 2. Comparación de indicadores geográficos de influencia humana en diferentes investigaciones de Huella humana (HF).

INDICADORES / VARIABLES GEOGRAFICOS DE INFLUENCIA HUMANA																								
TITULO	AUTOR	AÑO	LUGAR	RES. ESPAC	INTENSIDAD USO DEL SUELO													TIEMPO		VULNERABILIDAD BIOTICA				
					Dens pob	Dist asentam	Extens Entomonstr	Uso del suelo	Infraest Energ (Luces noctur)	Dist vias	Distanc Vias Ferreas	Indic Biomasa relativ	Hidroelect Repres	Mina	Vias naveg	Ind frag	Depredad sin antrop (gatos y perros)	Inoen	Lineas elect canales de riego	Campament verted pozos extrac energ	Invasion especie exotic	Tiempo (años)	Pend (%)	Indice humedad/aridez disponib
CAMBIO DE LA ESCALA HUMANA: UNA HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACION DE LA CONSERVACION A ESCALA ECOREGIONAL	WOOLMER ET AL	2008	Apalachas del Norte	90m	x			x	x	x	x			x	x									
HUELLA ESPACIAL HUMANA Y LO ULTIMO SILVESTRE	SANDERSON ET AL	2002	Global	1Km	x			x	x	x	x				x									
ANALISIS ESPACIO TEMPORAL DE LA HUELLA HUMANA EN EL SUR DEL ECUADOR: PRESION HUMANA EN ECOSISTEMAS Y EFECTIVIDAD DE AREAS PROTEGIDAS	TAPIA ARMUOS ET AL	2017	Sur Ecuador	100m	x			x	x	x														
COMPRESION DE LA VARIACION ESPACIO TEMPORAL DE LA HUELLA HUMANA EN LA PROVINCIA DE JIANGSU, CHINA, SUS IMPULSORES ANTROPOGENICOS Y NATURALES Y POSIBLES IMPLICACIONES	FEIXIE ET AL	2020	Provincia de Jiangsu, China	1Km	x			x	x	x										x				
INCORPORACION DE LA TEMPORALIDAD Y VULNERABILIDAD BIOTICA PARA CUANTIFICAR LA HUELLA ESPACIAL HUMANA EN ECOSISTEMAS	ETIER ET AL	2011	Colombia	1Km	x	x		x	x	x		x			x					x	x	x	x	
EVALUACION ESPACIO TEMPORAL DE LA HUELLA HUMANA EN COLOMBIA: 4 DECADAS DE IMPACTO ANTROPOICO EN ECOSISTEMAS ALTAMENTE BIODIVERSOS	CORREA ET AL	2020	Colombia	300m	x	x		x		x					x					x				
LA HUELLA HUMANA EN EL OESTE: UN ANALISIS A GRAN ESCALA DE IMPACTOS ANTROPOGENICOS	LEU ET AL	2008	Oeste EEUU	1Km	x	x		x	x	x	x					x	x	x	x	x				
HUELLA HUMANA Y "DESAPARICION" CLIMATICA EN ECOREGIONES VULNERABLES DE AREAS PROTEGIDAS	JI ZHONGWAN ET AL	2018	Global	1km	x			x	x	x	x					x								
IMPACTO ANTROPOGENICO EN LA CONECTIVIDAD DEL HABITAT: UN INDICE DE HUELLA HUMANA MULTIDIMENSIONAL EVALUADO EN UN PASAJE DE ALTA BIODIVERSIDAD DE MEXICO	CORREA ET AL	2017	Mexico	100m	x	x		x		x					x					x	x	x	x	
DESEOISES AÑOS DE CAMBIO EN EL MUNDO TERRESTRE: HUELLA HUMANA E IMPLICACIONES PARA LA BIODIVERSIDAD Y CONSERVACION	VENTER ET AL	2016	Global	1Km	x			x	x	x	x					x								

### 1.1.4 Indicadores y variables geográficas de influencia humana

A continuación, se describen en detalle los indicadores geográficos de influencia humana con las valoraciones de contribución de influencia humana otorgadas por distintos autores y las cuales permiten materializar el mapa de huella humana.

- Densidad de la población humana

El número de personas en un área determinada se cita con frecuencia como la causa principal de las disminuciones en especies y ecosistemas (Cincotta y Engelman 2000); cuanto mayor es el número de personas, más recursos que se requerirán de la tierra, mediado por su tasa de consumo (Malthus 1798, Wackernagel y Rees 1996) citado por (Sanderson *et al.*, 2002).

Sanderson *et al.*, (2002) utilizó un enfoque continuo, para densidades entre 0 y 10 personas por km<sup>2</sup> y aumentó linealmente de 0 a 10 en la puntuación. Se eligió 10 personas por km<sup>2</sup> como estimado (Sanderson *et al.*, 2002).

Etter *et al.*, (2011), en un rango de valores de contribución a la huella de 0-5, distribuyeron valores desde 0 hasta > de 35 personas/km<sup>2</sup> con el puntaje máximo 5.

Correa Ayram *et al.*, (2017), otorgaron en un rango de valores de 0 a >5, valores ascendentes en 1 unidad. Y Correa Ayram *et al.*, (2020) igualmente para valores de contribución entre 0-5, se ajustaron a Etter *et al.*, (2011) de <2 a >35 personas/km<sup>2</sup>.

Por su lado, Tapia-Armijos *et al.*, (2017), asignó a cada pixel la proporción de densidad de población correspondiente a cada municipio, usando el método de la densidad de Kernel con un ancho de banda de 9km y 17 km en municipios urbanos y rurales, respectivamente.

- Suelo transformado

La transformación de la tierra es llamada la mayor amenaza para diversidad biológica, la cual ha provocado pérdidas y fragmentación del hábitat en diferentes tipos de ecosistemas (Vitousek 1997). Además, la fragmentación a menudo facilita consecuencias negativas adicionales para las especies y los ecosistemas más allá de la simple pérdida de hábitat, en acuerdo con otros procesos y con el tiempo (Crooks y Soulé 1999, Laurance y Cochrane

2001). Los seres humanos transforman la tierra para construir asentamientos, cultivar alimentos y producir otros bienes económicos (por ejemplo, Geist & Lambin 2002). Sin embargo, diferentes usos de la tierra difieren en la forma en que modifican los procesos del ecosistema y afectan la calidad del hábitat de diferentes especies (Goudie 1986, Forman 1995 en (Wu & Hobbs, 2002).

Sanderson *et al* (2002), asignaron la puntuación máxima (10) a los entornos edificados; puntuaciones más bajas (6, 7 u 8, según el nivel de insumo) en la cobertura de tierras agrícolas; y puntuaciones más bajas todavía (4) a cubierta de uso mixto. Y un valor de 0 a todos los demás tipos de cobertura terrestre: bosques, pastizales y ecosistemas mediterráneos.

Etter *et al.*, (2011) otorgaron valores de contribución 0 a vegetación natural, 1 a vegetación secundaria y barbechos, 2 a plantaciones forestales y suelos agrícolas, 3 a cultivos perennes y pasturas, 4 a agricultura intensiva y 4 para usos del suelo urbano y minería.

Similares agrupaciones vegetales otorgaron Correa Ayram *et al.*, (2017), clasificando de acuerdo a la naturalidad de la vegetación presente y bajo el mismo rango de puntuación de 0-5, siendo el suelo urbano y áreas son vegetación aparente la puntuación de mayor contribución a la huella humana. Por su lado Correa Ayram *et al.*, (2020) sigue la misma clasificación, adicionando a la cobertura cuerpos de agua artificiales un puntaje (5), es decir de mayor contribución a la huella humana.

- Acceso humano

La transformación del suelo también incluye los efectos directos de los asentamientos y las carreteras sobre los ecosistemas y sus especies. La presencia de carreteras está altamente correlacionada con cambios en la composición de las especies, incluyendo el aumento de especies invasoras, disminución de las poblaciones de especies nativas a través de la mortalidad directa e indirecta y la modificación de los procesos hidrológicos y geomórficos que dan forma a los sistemas acuáticos y ribereños (Sanderson *et al.*, 2002).

Lalo (1987) estimó que 1 millón de vertebrados al día mueren en las carreteras de los Estados Unidos. Forman y Deblinger (2000) estimaron que los efectos de las carreteras estadounidenses se extienden sobre una banda de aproximadamente 600 metros de ancho.

Las carreteras, los principales ríos y las costas, también proporcionan oportunidades de caza y extracción de otros recursos, generación de contaminación y eliminación de desechos y alteración de los sistemas naturales, así como beneficios sociales y económicos (Gucinski *et al.* 2001). Sanderson *et al.* (2002), asignaron una puntuación de (8) para el efecto directo de carreteras y ferrocarriles en un radio de búfer de 2 km. Si bien se reconoce que la influencia de la carretera depende del tipo de carretera y la cantidad de tráfico que pasa por ella, no incluyeron estos factores.

Etter *et al.*, (2011) asignaron valores de contribución a la huella humana bajas, a distancia de vías carreteables mayores de 20Km y valores de contribución altos entre 0 y 3km. Correa Ayram *et al.*, (2017) ajustó la distancia a vías mayores de 8km, valores de contribución baja y valores de contribución altos a distancias a vías entre 0-2km.

Sanderson *et al.* (2002), a todas las áreas dentro de 2 a 15 km de una carretera, río importante o costa les asignó una modesta influencia humana (4) que refleja el uso intermitente. Para medir el área afectada por el acceso, estimaron la distancia que una persona podría caminar en un día en una zona difícil de atravesar. Por ejemplo, bosques tropicales húmedos) 15 km (Wilkie y col. 2000). Sin embargo, se reconoce que este enfoque simplifica demasiado la compleja relación entre los seres humanos y las carreteras, una relación que varía según el ecosistema, tipo y contexto cultural (Sanderson *et al.*, 2002).

En adición, varios autores han utilizado los conjuntos de datos de asentamientos y áreas edificadas, los cuales incluyen una gran variedad como campamentos, edificios y monumentos, entre otros y generalmente se encuentran representados por puntos con zonas de amortiguamiento específicas.

Sanderson *et al.*, (2002), asignaron a cada punto una puntuación de 8. A las áreas edificadas, que normalmente representan las ciudades más grandes como polígonos, se les asignó una puntuación de 10.

Etter *et al.*, (2011), otorgaron valores bajos de contribución a la huella, asentamientos ubicados a >de 25 km y valores altos de contribución, entre 0 y 3km. Correa Ayram *et al.*, (2017) otorgaron valores bajos de contribución a la huella humana, a asentamientos ubicados a >18km, y valores altos para asentamientos ubicados entre 0 y 4km.



Tapia-Armijos *et al.*, (2017), crearon para cada punto de asentamiento humano una zona buffer de acuerdo al tipo de asentamiento y el área de influencia que podría tener sobre el territorio. Crearon una zona buffer de 1km para ciudades principales, 0.5km alrededor de ciudades urbanas y 0.25km para ciudades rurales. Y asignaron valor máximo (10) a asentamiento humanos y a la red de vías carreteables.

- Infraestructura energética

Muchos de los cambios dramáticos, producto de la influencia humana, se deben al cambio de uso de la tierra y al acceso, los cuales, durante el siglo XX, han sido literalmente alimentados por energía fósil. Antes de la revolución industrial, la capacidad humana de modificar el medio ambiente estaba limitado por humanos y animales en fuerza muscular, lo que McNeill (2000) llamó el "régimen de energía somática". Hoy en día, un ser humano con una maquina puede aplicar el poder de 300 caballos para modificar el medio ambiente (Sanderson *et al.*, 2002).

La energía eléctrica proporciona una excelente estimación del desarrollo tecnológico de un área local (Elvidge *et al.* 1997a). En los Estados Unidos, donde la electricidad está disponible en casi todas partes, las luces visibles en la noche, proporciona una representación de la distribución de la población y se ha correlacionado con los asentamientos humanos (Sutton *et al.* 1997, Elvidge *et al.* 1997b; (Sanderson *et al.*, 2002).

Sanderson *et al.*, (2002), asignaron una puntuación de 10 a áreas que tienen luces visibles más del 89% de las noches, 8 a áreas con luces visibles del 40% al 88% de las noches, 4 a áreas con luces visibles menos del 40% de las noches, y 0 en áreas donde no se veían luces.

Tapia-Armijos *et al.*, (2017) utilizaron imágenes de satélite nocturnas, las cuales proporcionan valores de brillo promedio visible, luces estables y series anuales de coberturas libres de nubes. Asignaron la puntuación definida por Sanderson *et al.*, (2002).

- Tiempo de intervención

Hace referencia al tiempo en que un paisaje ha sido sujeto a un disturbio humano. El tiempo de intervención determina cuanto tiempo continuamente ha sido impactado un ecosistema y se mide en años.

De acuerdo con Correa Ayram *et al.*, (2020), la valoración de la contribución de huella humana de esta variable se encuentra en un rango de 0 a >300, otorgando valores de huella humana bajo de 0 y 1, entre 0 y 15 años y valores de 4 y 5, entre 150 y >300 años, respectivamente, de la actividad humana sobre el sistema natural.

Correa Ayram *et al.*, (2017), otorgan valores bajos de contribución de huella humana para actividades humanas con duración entre 0 y 40 años y valores altos entre 500 y >1500 años.

Etter *et al.*, (2011) asignan a la variable de tiempo de intervención (años) un rango que va de 0 a >300 años, donde los valores bajos de contribución a la huella humana están dados por actividades humanas con duración de entre <30 años y valores medios >30 hasta 150 años.

- Vulnerabilidad biofísica

El componente de vulnerabilidad es fundamental en el análisis de la interrelación de los ecosistemas y la sociedad, sin embargo, no hay un acuerdo generalizado de su definición. De acuerdo con Bradley y Smith (2004), la vulnerabilidad se refiere a la posibilidad de que las condiciones futuras empeoren. Según Turner y colaboradores (2003), definen la vulnerabilidad como la susceptibilidad al daño, debido a la sensibilidad o exposición de un sistema, personas o lugares a impactos, tensiones o perturbaciones. También se refiere al estado en relación con un umbral de daño y la capacidad del sistema para adaptarse a las condiciones cambiantes (Toro *et al.*, 2012).

Para la presente investigación se abordará bajo el concepto de vulnerabilidad de Turner *et al.* (2003) y Etter *et al.*, (2011), entendiendo que los ecosistemas responden de manera diferente a los disturbios humanos, según sus características biofísicas como el clima, la topografía y el tipo de suelo.

Etter *et al.*, (2011) proponen una medida de la vulnerabilidad biofísica mediante la identificación de factores de vulnerabilidad, los cuales están relacionados con procesos de erosión, interrupción hidrológica y extinción biológica. En ese orden de ideas proponen los siguientes indicadores de vulnerabilidad: pendiente (Salvati y Zitti, 2008), fertilidad del suelo (Jie *et al.*, 2002), déficit o exceso de humedad y el número de especies endémicas o con rango de distribución geográfico estricto (menos de 50.000km<sup>2</sup>).

El análisis de la vulnerabilidad biofísica, se realiza bajo la premisa de que áreas áridas o muy lluviosas, escarpadas, suelos pobres y pequeños grupos de especies (que son más vulnerables a la extinción o a la fragmentación), son más susceptibles a la degradación del suelo y el agua; recursos naturales que soportan la productividad de un ecosistema (Etter *et al.*, 2011)

Bajo este enfoque, el rango de valores otorgados de contribución a la huella humana para los indicadores de vulnerabilidad relacionados, se les otorga un valor de contribución de huella humana entre 0 y 5.

La fertilidad tiene rangos entre: muy alta a muy baja, otorgando valores bajos a la primera y altos a la segunda. La pendiente, en porcentaje (%), asigna valores bajos entre <1 y <5 y altos para pendientes entre 25 y >50%. El índice de disponibilidad de humedad, asigna valores bajos entre 35 y 40 y valores altos entre <6 y >58.

Y en cuanto al número de especies de rango restringido, para el caso del estudio de Etter *et al.*, (2011), estos contaban con información de mamíferos y anfibios y les fueron asignados valores bajos de contribución de huella humana a las áreas con presencia de 0 a 2 especies y valores altos de contribución a >15 especies.

Por su lado, Correa Ayram *et al.*, (2017) que también incluyen la dimensión de la vulnerabilidad biofísica a la ecuación en su investigación, asignan valores de contribución baja de huella humana a la riqueza de especies endémicas entre 0 y 2 y valores altos de contribución entre 8 y 16 especies.

- Sumando puntuaciones de los indicadores geográficos de influencia humana Sanderson y colaboradores (2002), sumaron los puntajes de la influencia humana para cada uno de los nueve conjuntos de datos para crear el índice de influencia humana (HII) en la superficie de la tierra.

Tanto Etter *et al.*, (2011), como Correa Ayram *et al.*, (2017) y Correa Ayram *et al.*, (2020), sumaron los puntajes de influencia humana, normalizados en una escala de 0-100, resultando en áreas con los valores más altos, en aquellas con mayor influencia humana y por tanto en mayor estado de amenaza el sistema natural. Y las áreas con valores más bajos de huella humana, aquellas áreas más naturales.

Los valores que se tuvieron en cuenta en el presente estudio, fueron las usadas por Correa Ayram *et al.*, (2020) así: NATURAL: 0-15, BAJO: 15-40, MEDIO: 40-60 y ALTO: >60.

### 1.1.5 Para qué sirve la Huella Humana

Una vez analizadas la variedad de investigaciones en huella humana en el mundo, construidas bajo resoluciones espaciales diferentes, utilizado indicadores o variables de influencia humana diversas, fue posible percibir que, aunque compartían objetivos similares, también tenían propósitos y alcances distintos; por lo que fue necesario preguntarse para que más podrían servir los análisis, datos y resultados de la huella humana, con el propósito que destacar su enorme utilidad.

Las investigaciones en huella humana generalmente tienen el propósito de medir el impacto acumulado de las presiones humanas, ya sea por su presencia, por sus acciones o por ambas, a diferentes escalas, e incorporando indicadores que pueden ser físicos, económicos y/o sociales. Sin embargo, dicho propósito con variedad de escenarios no solo ha permitido utilizar esta herramienta para respaldar procesos zonificación y priorizar áreas para preservación, conservación y restauración, sino para evaluar los esfuerzos de los mismos, entre otros.

A continuación, se ejemplifican algunas aplicaciones que han hecho al uso de la huella humana:

I. Para evaluar las medidas de éxito de la conservación.

El uso humano de la tierra (principalmente la degradación / pérdida del hábitat y la introducción de especies exóticas) ha sido identificado como una de las mayores amenazas para la biodiversidad (Wilcove *et al.* 1998). Dicho uso de la tierra tiene el potencial de influir negativamente en las comunidades, ya sea de plantas / vida silvestre y en los ecosistemas al alterar el medio ambiente químico y físico (p. Ej., Fragmentación) (Thompson y Jones 1999; Trombulak y Frissell 2000) causando mortalidad directa (p. ej., colisiones de vehículos) (Thompson y Jones 1999 ; Trombulak y Frissell 2000) y alteración del comportamiento animal (p. ej., reducción de la dispersión) (Rich *et al.* 1994 ; Trombulak & Frissell 2000) (Haines *et al.*, 2008).

Sin embargo, las actividades humanas también tienen el potencial de impactar positivamente los objetivos de conservación a través de estrategias de conservación. Estas

estrategias pueden incluir la restauración / gestión del hábitat (Morrison 2002; Bunting *et al.* 2003; Armitage *et al.* 2007), el control de especies exóticas que impactan o compiten con la flora y fauna nativas (Harding *et al.* 2001; Nordstrom & Korpimaki 2004). , quemas prescritas como una herramienta de gestión para la restauración de diversos hábitats de pastizales y forestales (Allen *et al.*, 2006 ; Monroe y Converse 2006), el establecimiento de acuerdos de conservación (Gray & Teels 2006) y estrategias utilizadas en el urbanismo verde (Beatley 2000) (Haines *et al.*, 2008).

El monitoreo espacial de los datos de la huella humana tiene el potencial de avanzar en la evaluación de los esfuerzos de conservación que implementan estrategias como acuerdos de conservación, estrategias de urbanismo verde, etc.

Al monitorear los cambios en los datos de la huella humana a lo largo del tiempo, se puede tener el potencial de evaluar si los esfuerzos de conservación que implementan tales estrategias, están realmente mitigando o reduciendo la huella humana en un paisaje o ecosistema definido a una escala espacial y temporal específica (Haines *et al.*, 2008). Por lo tanto, al observar correctamente los datos de la huella humana, se podría evaluar si los esfuerzos de conservación están mitigando o reduciendo el crecimiento de la huella humana en áreas con objetivos de conservación, al monitorear el cambio en estos datos de huella humana a lo largo del tiempo (Haines *et al.*, 2008).

## II. Para discriminar áreas de cambio

También conocida como "detección de cambios" (Jensen 2005), se han utilizado numerosos métodos, como el uso de fotografías aéreas para detectar cambios en la densidad y extensión de las carreteras (Hawbaker *et al.* 2006) o imágenes Landsat para estimar el cambio de la cobertura terrestre a gran escala (Loveland *et al.* 2002). La aplicabilidad y eficacia de estos métodos dependen de los objetivos del proyecto, la escala espacial y temporal, el tipo de datos (p.e., conjuntos de datos geográficos, datos de teledetección) y las características ambientales (Coppin *et al.* 2004; Lu *et al.* 2004). Estos factores están definidos por la propia naturaleza de la amenaza antropogénica (Haines *et al.*, 2008).

El mapeo de los cambios espacio-temporales en la huella humana revela lugares donde las presiones antropogénicas han aumentado, disminuido o se han mantenido estables,

así como puntos críticos donde los impactos son sobresalientes (Geldmann *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2018; Tapia-Armijos *et al.*, 2017; Venter *et al.*, 2016).

Recientemente, Venter *et al.* (2016) analiza los cambios en el impacto humano global entre 1993 y 2009 y Correa Ayram *et al.* (2020), realizaron un análisis multitemporal de LHFI (1970-2015) para Colombia, identificaron el *hotspot* de cambio de huella humana y exploraron las relaciones de LHFI con categorías de riesgo para cada ecosistema. A diferencia de otros estudios de huella humana (Li *et al.*, 2018, Tapia-Armijos *et al.*, 2017, Venter *et al.*, 2016, Geldmann *et al.*, 2014), estimaron los impactos humanos en cuatro períodos que amplían la resolución temporal de cualquier HFI disponible (Correa Ayram *et al.*, 2020).

Los tipos de datos de huella humana que se pueden monitorear espacialmente pueden incluir cambios en: (1) patrones de uso de la tierra, como cambios en superficies impermeables, (2) tierras agrícolas, (3) densidades de carreteras, energía pozos de extracción, vertederos, pozos de agua, y (4) otros impactos antropogénicos potencialmente negativos ( Leu *et al.* 2008; Haines *et al.*, 2008; Correa Ayram *et al.*, 2020)(Correa Ayram *et al.*, 2020)(Correa Ayram *et al.*, 2020)

Para evaluar la conectividad del hábitat de especies focales específicas

Bajo la premisa de que la evaluación de los efectos acumulativos de la huella humana en la conectividad del paisaje es fundamental para implementar políticas para la gestión y conservación adecuadas de los paisajes, algunos estudios de conservación de la biodiversidad, han utilizado el índice de huella espacial humana, para evaluar la conectividad del paisaje. Estos índices se basan en la presunción de que la intensidad de la huella humana se encuentra positivamente correlacionada con paisajes resistentes a la dispersión (Baldwin *et al.*, 2010; Alagador *et al.*, 2012; Hand *et al.*, 2014); con la desventaja de que se asume un efecto de huella humana igual para todas las especies focales.

Este aspecto podría ser resuelto con la construcción de un índice de huella humana con resolución espacial fina (Leu *et al.*, 2008; Woolmer *et al.*, 2008; Theobald, 2010) o con la incorporación de variables adicionales que describan en mayor detalle los efectos sobre los procesos ecológicos (Leu *et al.*, 2008; Etter *et al.*, 2011), de forma que constituya una mejor entrada a los modelos de conectividad (Correa Ayram *et al.*, 2017).

### III. Para planificación de áreas claves para conservación y restauración

Varios estudios recientes muestran el uso práctico del índice de huella humana (HFI) para informar la planificación de la conservación (Correa Ayram *et al.*, 2018, 2017; de Thoisy *et al.*, 2010; Di Marco *et al.*, 2013; Dobrovolski *et al.*, 2013; Trombulak *et al.*, 2010).

La aplicación más reciente de este enfoque para Colombia fue propuesta por Etter *et al.* (2011) cuya versión de índice de huella humana, incluye la dimensión de la intensidad del uso de la tierra, junto con el tiempo de intervención humana en los ecosistemas y su vulnerabilidad biofísica (fertilidad del suelo, pendiente, disponibilidad de humedad y número de especies de corto alcance). Al combinar estas tres dimensiones espaciales, los autores proporcionaron una caracterización más integral de los impactos humanos al incorporar contextos históricos y ecológicos; este HFI ampliado facilita la detección de áreas prioritarias específicas para el ecosistema para la planificación de la conservación. De hecho, ya se ha utilizado para este propósito en países de alta biodiversidad, como Colombia (Ocampo-Peñuela y Pimm, 2014), China (Qiu *et al.*, 2015) y México (Correa Ayram *et al.*, 2018, 2017).

Finalmente, la huella humana, aunque no es un catálogo completo de los desafíos de conservación, proporciona una **base importante para comprender los esfuerzos de conservación a escala global**. La huella humana nos permite organizar los esfuerzos de conservación a lo largo de un eje de influencia humana, así como los tipos de acciones de conservación que son posibles y los tipos de objetos de conservación disponibles, los cuales dependerán a menudo de la intensidad de la influencia humana.

La huella humana global tal como existe hoy es demasiado inexacta para informarnos mucho a la escala de la acción de conservación basada en el sitio, pero proporciona una forma de ver nuestra relación con el planeta, que conecta las decisiones locales con sus impactos mundiales, y es precisamente allí en donde radica la importancia de la construcción de mapas de huella humana a escala local.

En conclusión, la huella humana puede ser útil para: (1) conocer los cambios y grados de impacto de las actividades humanas, (2) vislumbrar estrategias para mitigar los efectos de los impactos humanos de acuerdo a su severidad, (3) identificar áreas claves para conservación, (4) identificar áreas que presentan mayor amenaza, (5) identificar las áreas

más silvestres, (6) apoyar la categorización del estado de amenaza de los ecosistemas, (7) generación de escenarios prospectivos, (8) analizar el efecto de impacto humano acumulado en la conectividad, (9) como superficie de resistencia a la dispersión, (10) como herramienta analítica de monitoreo, (11) para evaluar la efectividad de los esfuerzos de conservación, (12) evaluar la relación huella humana y biodiversidad, (13) para planificación regional y local, (14) evaluar la efectividad de la zonificación, (15) para identificar ecosistemas en riesgo, (16) para identificar y monitorear áreas intactas, (17) para evaluar la diversidad de presiones humanas, (18) para afinar medidas y estimaciones de riesgo de extinción de especies, (19) identificar áreas protegidas en riesgo y sitios de patrimonio mundial en peligro, (20) apoyar decisiones de política global, (21) informar decisiones de planificación, (22) para conocer cómo avanzar en acciones para la conservación de la biodiversidad, (23) construir bases para mitigar el daño ambiental en entornos sensibles o áreas valiosas, entre otras funciones. Incluso, uno de los usos más interesantes de la huella humana puede ser identificar lugares donde prosperan especies sensibles a pesar de los altos niveles de influencia humana y determinar qué comportamientos humanos permiten la convivencia (Sanderson *et al.*, 2002).

En adición, esta herramienta puede actualizarse continuamente cuanto incrementen los datos, además permite evaluaciones casi en tiempo real a escalas relevantes para la toma de decisiones y acciones territoriales.

### **1.1.6 Cómo interpretar la Huella Humana**

La huella humana no mide el impacto *per se*; más bien, sugiere áreas de influencia donde los humanos tienen más o menos responsabilidad por los resultados biológicos.

Las herramientas de mapeo modernas, requieren enormes esfuerzos y gastos para desarrollar los conjuntos de datos de entrada. Como resultado, los conjuntos de datos tienden a quedarse atrás de los patrones que buscan representar: poblaciones en crecimiento, construcción de nuevas carreteras y limpieza de nuevas tierras para otros usos.

Del mismo modo, los métodos utilizados para desarrollar los conjuntos de datos tienen deficiencias que resultan en representaciones imperfectas que subestiman, por ejemplo, la cantidad de tierras de pastoreo. Hay insuficiente detalle sobre los tipos de asentamientos o la ubicación de las carreteras, que también tienden a nublar nuestra visión del alcance y



la gravedad de la influencia humana. También hay errores en estos conjuntos de datos pues faltan trozos de carreteras, no todos los ríos son representados o son más, o menos, accesibles de lo que parecen, las densidades de población varían inusualmente entre países, las áreas agrícolas son inexactas, y así sucesivamente.

En áreas con influencia humana alta, la conservación será limitada en términos de los tipos y cantidad de objetos de conservación disponibles (Sanderson *et al.*, 2002). La práctica de conservación generalmente se enfocará en restaurar ecosistemas, reconectar fragmentos de hábitat, y reintroducir especies extirpadas en paisajes influenciados acumulativamente por carreteras, usos humanos de la tierra y alta densidad de población humana.

Donde la influencia humana es baja (por ejemplo, las últimas áreas silvestres), puede ser posible una gama más amplia de objetivos y acciones de conservación. Estos objetivos y acciones podrían incluir la creación y gestión de áreas de limitación uso humano (es decir, áreas protegidas) y trabajar con poblaciones relativamente más pequeñas de población local y sus instituciones para moderar los resultados de la influencia humana, manteniendo los objetivos de conservación existentes.

Los niveles intermedios de influencia humana se prestan para estrategias mixtas de preservación, conservación y restauración, que se planifican de manera más eficiente a escala paisajística o regional (Noss, 1983)(Sanderson *et al.*, 2002).

La naturaleza acumulativa de la huella humana significa que, en áreas con niveles intermedios de influencia, a menudo puede predominar un factor de influencia (por ejemplo, carreteras o uso de la tierra) y por lo tanto las medidas de conservación apuntar hacia ese factor. Es posible imaginar estrategias de conservación trazadas para diferentes partes del continuo de la influencia humana, basándose en la hipótesis de que si la influencia humana aumenta como lo ha hecho durante los últimos 100 años, las estrategias de conservación cambiarán cada vez más desde la preservación hasta la restauración, con los concomitantes aumentos en costo, tiempo y dificultad (Sanderson *et al.*, 2002).

Es importante destacar que nuestra capacidad para interpretar patrones de influencia humana que se basan en características geográficas es limitada por las complejidades de las interacciones humanas con la naturaleza y nuestra limitada comprensión de ellas. Debido a estos problemas, se debe tener cuidado al sacar conclusiones de la huella humana para áreas locales, no hay que perder de vista el patrón global y su significado.

Una vía, a corto plazo, para perfeccionar nuestra comprensión de la huella humana, es estudiar la influencia humana a nivel regional, nacional y local. Restringiendo el área de interés. Los científicos pueden utilizar métodos más precisos y conjuntos de datos más detallados; modificar las funciones de codificación para respetar las regionales, diferencias culturales y biológicas; y definir criterios de la normalización de manera apropiada para los objetivos locales de conservación y gestión (Sanderson et al., 2002).

## 2. Marco teórico y conceptual

### 2.1 Geografía ambiental

“La geografía es una disciplina distintivamente sintética, que une las mayores brechas, entre las ciencias naturales y el estudio de la humanidad” a través de su preocupación por “la interacción del hombre y su entorno” (HJ MacKinder, 1887). La geografía contiene bases teóricas y conceptuales para aportar al paradigma ambiental, una vez que centra su estudio continuamente en la relación sociedad – naturaleza en su dimensión espacio temporal<sup>1</sup>.

La búsqueda de una adecuada interrelación entre la sociedad y su ambiente tiene como objetivo lograr una forma de desarrollo de la sociedad sustentable en lo ambiental, social y económico y sostenible en el tiempo (Reboratti, n.d.).

Si bien es cierto que la geografía, desde sus orígenes como campo científico, ha estado estrechamente vinculada con la noción ambiental, en la actualidad, en un contexto de cambios globales acelerados con repercusiones en las escalas nacionales, regionales y locales, resulta más que pertinente un ámbito emergente que se avoque a las problemáticas o temas clave que de ello derivan (Demeritt, 2009; Castree *et al.*, 2009; Bocco y Urquijo, 2013).

Entendiendo que la relación entre sociedad y ambiente, es una interrelación compleja y dinámica, que opera a escalas espaciales y temporales distintas, con muchos puntos de fricción, con efectos recíprocos, enmarcados en una causalidad circular y cuyo conocimiento exige el análisis de múltiples elementos y dimensiones (Reboratti, n.d.), la

---

<sup>1</sup> Mateo, J. El pensamiento geográfico ante el paradigma ambiental

geografía ambiental, sostiene tener el firme propósito de ser un campo de la geografía aplicada en búsqueda de soluciones, adaptaciones o mitigaciones a problemáticas fundadas desde una dimensión socioambiental (Bocco & Urquijo, 2013).

La geografía ambiental, supera las tradicionales separaciones entre la geografía física y la humana; integra los flujos metabólicos y ciclos de los procesos ecosistémicos con las desigualdades sociales e intereses de poder, ejercido por los diferentes actores que ocupan el lugar (Romero & Opazo, 2011) y se fundamenta desde una perspectiva más holística e integradora.

Así pues, la geografía ambiental se convierte entonces en una disciplina científica efectiva para acercarse a la problemática medio ambiental, que una postura, pues la solución de cualquier problemática de esta índole, no puede ser solo física o solo humana (Reboratti, n.d.). La meta de investigación geográfico ambiental debe ser la producción de conocimiento y el compromiso con la negociación de la política ambiental, tal como lo postula la sociología y la ciencia política (Demeritt, 2009).

No obstante, según Castree (2004) la investigación geográfica se mantiene fragmentada, tanto teórica como empíricamente; aunque con notables excepciones como los estudios de paisaje (Urquijo & Bocco, 2011). Por su lado, Eden (2001) señala que el derrotero es el enfoque cultural; postulado que también sostiene Zimmerer y Basset (2003) y Zimmerer (2004), aunque desde las ecologías cultural y política (Bocco & Urquijo, 2013).

En la actualidad, los geógrafos contemporáneos, se cuestionan sobre: 1. Quién o qué sociedades ocupan espacios o territorios, 2. El impacto que las sociedades ejercen sobre su medio; 3. El sitio o lugar donde ocurren las actividades; y 4. La dimensión temporal. Siendo el segundo, el enfoque de interés para esta investigación.

Uno de los conflictos que se presentaban entre la geografía física y la geografía humana, consistía en determinar escalas territoriales y temporales casi incompatibles. Un ejemplo claro de ello, es la utilización de la idea de cuenca como unidad de análisis, concepto que, aunque tiene un sentido claro para las vertientes naturales, de fácil y útil delimitación, no lo es tanto para la sociedad. La cuenca no es un concepto que maneja la población como fuente de identidad territorial, mientras que las divisiones territoriales políticas si lo hacen (Reboratti, n.d.).

Otro punto de discusión, es la relación que existe entre las diferentes actividades de la sociedad y la degradación del ambiente. Hasta hace relativamente poco tiempo era visto como un sistema de causalidad unidireccional (Reboratti, n.d.). Sin embargo, ha habido un notable cambio y la relación se piensa ahora como más compleja y casi nada se da por seguro como causa o como efecto.

Si bien se piensa a la sociedad como un sistema interviniendo, con sus diversas actividades, en los procesos ambientales, también es tomada en cuenta la propia dinámica de estos procesos y la necesidad de un conocimiento detallado de los mismos. Por lo tanto, los impactos recíprocos entre lo que podríamos llamar el sistema natural y el social no se toman acriticamente.

Por lo mismo, la geografía ambiental se ha convertido en un enfoque novedoso, pertinente y necesario desde la ciencia geográfica, con posturas críticas que contribuyen a entender la interdisciplinariedad de lo ambiental, estudiando el espacio geográfico no como la suma de sus elementos, sino también con la interrelación entre ellos, con el fin de comprender la interdisciplinariedad de lo ambiental (Bocco & Urquijo, 2013).

La geografía ambiental es un enfoque entre los límites de la geografía física y la humana, con énfasis particular en las cuestiones ambientales. Discute los fundamentos teóricos y conceptuales de las posturas dualistas y remarca sus intereses y fronteras conceptuales de cara a otras disciplinas, bajo posición bisagra (Urquijo & Bocco, 2011), abriendo posibilidades de interacción con otros campos enfocados en las problemáticas ambientales (Bocco & Urquijo, 2013).

Los esfuerzos contemporáneos de la geografía ambiental para unir una disciplina dividida a través del análisis ambiental integrado y suprimir las ideas sobre la indivisibilidad de la geografía humana y física de generaciones pasadas; son respaldados por los defensores de la **ciencia de la sostenibilidad**, pues el medio ambiente puede proporcionar, sino un metalenguaje, un punto de encuentro común " que trasciende las preocupaciones de sus disciplinas fundamentales y se centra en comprender las complejas dinámicas que surgen de las interacciones entre humanos y sistemas ambientales " (Clark, 2007).

Así bien, la ciencia de la sostenibilidad se ha convertido en un paraguas intelectual para abordar los problemas y examina las relaciones entre servicios ambientales y resultados humanos, es plenamente consciente de que tratar dos subsistemas que interactúan

constituyen una construcción social, y por lo tanto mantiene sustancial interés en temas de investigación en **vulnerabilidad y resiliencia** (Turner, 2010). La sostenibilidad aborda las amenazas al aprovisionamiento de la sociedad y al mantenimiento de los sistemas de soporte vital, por lo que se requieren conocer estas amenazas y sus implicaciones, incluyendo la capacidad (o capacidad de adaptación) del sistema, sobre todo el subsistema humano, para resistir y adaptarse a ellos.

Las ciencias ambientales, por su parte, son disciplinas híbridas encaminadas a la formulación de respuestas aplicadas a las problemáticas ambientales contemporáneas, como la economía ecológica, la historia ambiental, la ecología política, entre otras. Su objeto es analizar el medio físico y el papel que desempeñan los humanos en él, desde diferentes perspectivas; aspectos a los que la geografía ha aportado mucho a través de la espacialización o de territorialización de los enfoques (Bocco & Urquijo, 2013).

Finalmente, aunque la geografía física y humana, mantengan una línea divisoria muy delgada, de fondo trabajan propósitos comunes; cada disciplina es capaz de abordar el objeto de estudio o el problema desde dimensiones distintas, pero con visión integradora, de forma que sean complementarias y su relación se base en la sinergia y la reciprocidad.

En conclusión, las ciencias ambientales como la geografía son más campos interdisciplinarios que disciplinas científicas convencionales. Si bien ambas comparten al ambiente como objeto de estudio, el papel de la geografía es la perspectiva territorial. Temas emergentes como escalas, integralidad, rol de las ciencias sociales y perspectiva territorial local, hacen parte del que-hacer de la geografía.

Según Bocco y colaboradores (2013), la geografía ambiental, como tal, no ha alcanzado la madurez disciplinaria; pese a ello existe una fuerte presencia de lo ambiental en la geografía y una fuerte vinculación creciente entre la geografía y el campo emergente de las ciencias ambientales. El aporte de la perspectiva de las ciencias sociales como la antropología, sociología e historia pueden ser muy útiles para la discusión conceptual y llevarla a la acción práctica. Así como las cuestiones socioeconómicas y culturales y físico-ecológicas.

Así bien, la geografía ambiental deberá considerar con mayor insistencia los hechos y los discursos por los cuales se imponen las acciones e interpretaciones de políticas públicas, mediante ejercicios de poder que acentúan las vulnerabilidades e injusticias ambientales.

### **2.1.1 Geografía, ambiente y paisaje**

La geografía ha estado vinculada estrechamente con la noción de ambiente; en especial en la actualidad en que la geografía se encuentra reformulando sus objetivos y contenidos de investigación de cara a las problemáticas espaciales contemporáneas, y sus consecuencias a escala local, regional y nacional (Bocco & Urquijo, 2013).

En el actual contexto, es imperante revisar el pensamiento geográfico con una actitud crítica que permita revalorar conceptos que hoy son pertinentes para otros campos científicos como ambiente y paisaje.

La noción de ambiente, como concepto hace referencia a la naturaleza transformada por la actividad humana, entendiéndose que no solo es lo que nos rodea, sino también producto de aquello que es rodeado. La noción de ambiente tiene una connotación de aprovechamiento indirecto y a menudo imperceptible cuya transformación responde a negociaciones entre actores sociales en distintos niveles de poder. Es entonces el ambiente un principio social (Bocco & Urquijo, 2013).

Por su lado, el concepto de paisaje, por la manera en que se ha empleado, supone la existencia de diferentes definiciones, que obedecen a diversos enfoques, objetivos e intereses de la investigación y el campo de acción (Bastian 2001; Antrop 2005 en Urquijo and Bocco 2011). Lo que, si es claro, es que el concepto de paisaje, como categoría geográfica, ofrece una posición unificadora ante la dicotomía sociedad-naturaleza. El paisaje se diferencia del geosistema, en tanto que este explica el funcionamiento biofísico a través de un sistema de flujos de energía interconectados sobre el espacio (Sichava 1972; García & Muñoz 2002).

El paisaje se diferencia de territorio, ya que este hace referencia a la unidad espacial socialmente moldeada y vinculada a escalas de poder (Raffestin 19801; Delaney 2005). Las interpretaciones sobre un mismo paisaje no siempre son coincidentes, por lo que hay que considerar siempre el contexto espacio temporal, así como las diferencias culturales de los sujetos sociales que allí intervienen; tanto por procesos de percepción como por apropiación del medio.

Después de una revisión detallada realizada por Urquijo & Bocco (2011), los biólogos, ecólogos y geógrafos físicos (mexicanos), utilizaron el concepto de paisaje, sin ofrecer

mucha atención a la cuestión social, cultural, reduciendo la intervención humana a factores “antrópicos” que complementaban una investigación netamente biofísica. Por otro lado, varios científicos sociales optaron por los enfoques regionales, donde los factores físicos del espacio, no eran más que una descripción de la zona de estudio, o un modo cómodo de iniciar un artículo o libro que trataba aspectos netamente socioculturales (Urquijo & Bocco, 2011).

Dados los caminos bifurcados del concepto de paisaje, Urquijo & Bocco (2011) hacen una revisión en tres partes: 1. Trabajos con perspectiva biofísica; 2. Trabajos con enfoque sociocultural; y 3. Trabajos que logran un nivel de integración o simetría, desde un análisis mixto. Los resultados mostraron que como se mencionó anteriormente, los estudios sobre el paisaje siguen el patrón mencionado de la corta comunicación entre ciencias biofísicas y las ciencias sociales, a pesar de los esfuerzos de integralidad por ambas ciencias (Urquijo & Bocco, 2011).

Es esencial reconocer que la integralidad no consiste en buscar el equilibrio entre las partes, sino más bien la contribución de enfoques y procedimientos en la medida que se requiera, de una investigación que claramente tendrá un énfasis hacia alguno de los campos disciplinarios.

En conclusión, para abordar las problemáticas ambientales mediante enfoques integrales, se debe empezar por un proceso de generar consensos de conceptos; construir una alfabetización interdisciplinaria, donde no se imponen teorías o métodos de grupos académicos. La interdisciplinariedad es un ejercicio imperante sin vuelta atrás.

## **2.1.2 La ecología del paisaje**

El término paisaje fue introducido en 1939 por el biogeógrafo alemán Carl Troll (1939), aunque el origen de la ecología del paisaje puede remontarse hasta 1913, cuando el científico soviético Berg (1915) presentó una revisión sobre los objetivos y tareas de la geografía y sugirió que el estudio de los paisajes fuera el foco sobre el cual la geografía debía coalescer (Armenteras & Vargas, 2015).

En las décadas de los años 60s y 70s, muchos otros cambios en la disciplina de la ecología la llevaron a constituirse como una disciplina integral que relacionaba procesos físicos y biológicos fuera de la biología. Se empezó a reconocer la importancia del papel del patrón



espacial y de la heterogeneidad, particularmente a partir de los 90s en una gran variedad de temas (Armenteras & Vargas, 2015). La ecología del paisaje en sus inicios no sólo adoptó elementos de la aproximación espacial del geógrafo, sino que esencialmente también lo combinó con el acercamiento funcional de la ecología (Forman y Godron, 1986).

El concepto de paisaje, en el contexto más actual de la ecología del paisaje, ha sido definido como una porción de territorio heterogéneo compuesto por un grupo de ecosistemas que interactúan y se repiten de forma similar en el espacio en toda su extensión (Forman y Godron, 1986). En 1987 se propuso la definición del paisaje como las entidades físicas, ecológicas y geográficas que integran patrones y procesos tanto naturales como antrópicos (Naveh, 1988).

Según Burel y Baudry (2001) el paisaje ha sido definido como un nivel de organización de los sistemas ecológicos superior al ecosistema que se caracteriza esencialmente por su heterogeneidad y por su dinámica, controlada en gran parte por las actividades humanas (Armenteras & Vargas, 2015).

Por su lado, Turner *et al.* (2001) lo definieron como un área que es espacialmente heterogénea en por lo menos un factor de interés, donde la heterogeneidad es entendida como la complejidad y o variabilidad de una propiedad de un sistema en el espacio y en el tiempo (Li y Reynolds, 1995).

La ecología del paisaje analiza y enfatiza la interacción entre el patrón espacial y el proceso ecológico, es decir las causas y consecuencias de la heterogeneidad espacial a través de diferentes escalas (Turner *et al.*, 2001). Como hemos visto existen variaciones sobre el concepto de paisaje, no obstante, e independientemente de su definición final, cuando se observa un paisaje, se distingue una composición y una configuración (o estructura) espacial de los elementos que se encuentran presentes, a esto se le denomina patrón (Armenteras & Vargas, 2015).

Todos los paisajes tienen una composición y configuración (patrón) y una función (proceso) que hipotéticamente está influenciada por la primera y viceversa (Armenteras & Vargas, 2015). En conclusión, el paisaje es la materialización espacial de las relaciones existentes entre el hombre (en términos culturales, de poder, económicos, etc) y el ambiente (en términos físicos y biológicos), las cuales operan y se evidencian a escalas temporales y espaciales.

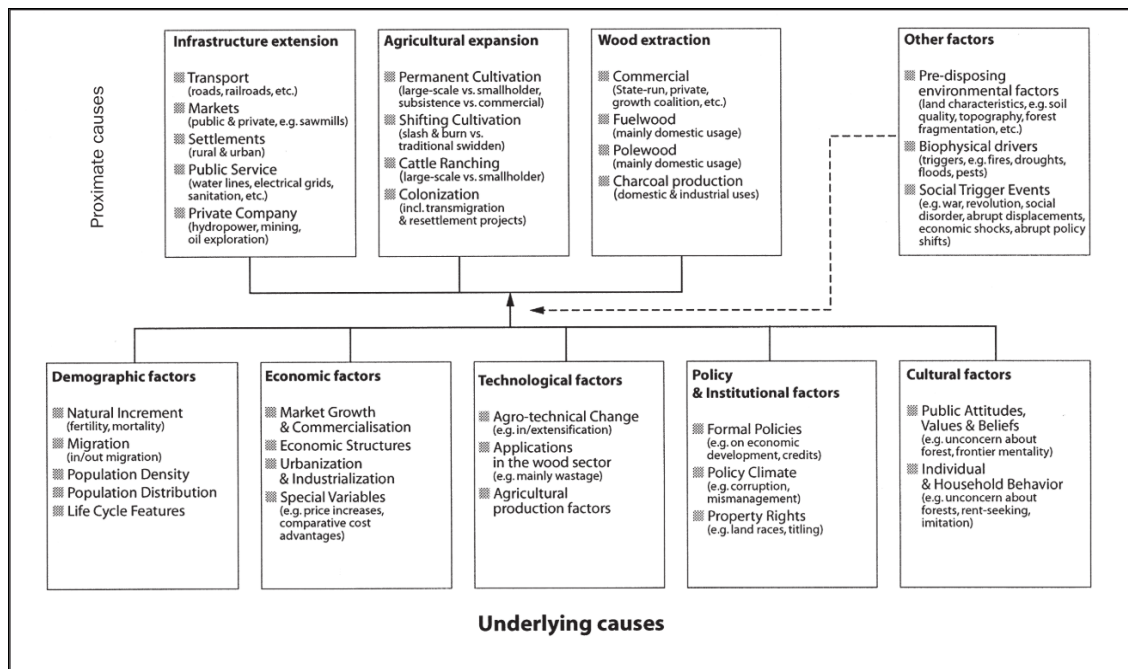
• **Factores causantes y patrones resultantes de procesos a escala del paisaje**

Los paisajes son resultado de factores formadores de carácter natural y de las actividades antrópicas que ocurren en él. Entre estos últimos, por ejemplo, la deforestación es un proceso a nivel de paisaje que en los bosques tropicales es impulsado por múltiples factores causales, sin que exista una universalidad en su complejidad y patrón resultante (Geist *et al.*, 2002; Rudel, 2006; Kindermann *et al.*, 2008).

Existe un marco conceptual de causas indirectas o directas que sirve como punto de partida para la comprensión de estos procesos en el territorio (Ilustración 1). En términos generales, las presiones demográficas (como una fuerza o impulsor indirecto o subyacente de deforestación) y las actividades agropecuarias (como causa o impulsor directo), se mencionan a menudo como los principales factores detrás de la deforestación tropical (Geist y Lambin, 2002) y la transformación del paisaje en general.

Esta transformación del paisaje, se explica mejor en la ilustración 1, el cual relaciona la interacción de múltiples factores, donde se destacan a los factores económicos como las fuerzas subyacentes más prominentes, seguido de inversiones en infraestructuras y redes de carreteras.

Ilustración 1. Causas directas e indirectas de la deforestación tropical.



Fuente: (Geist & Lambin, 2002)

En América Latina usualmente se mencionan los factores demográficos asociados al crecimiento de la población y recientemente al crecimiento urbano, como principales motores de la actualidad (Defries *et al.*, 2010). Finalmente, aspectos como la geología, topografía, factores climáticos como las sequías, calidad del suelo, entre otros, son considerados predisponentes factores ambientales que condicionan fuertemente la deforestación (Chomitz y Thomas, 2000; Geist y Lambin, 2001). El resultado de los factores mencionados, es una huella a menudo muy característica en el paisaje.

## 2.2 Vulnerabilidad y resiliencia

La investigación sobre el cambio ambiental global ha mejorado significativamente nuestra comprensión de la estructura y función de la biosfera y la huella humana en ambos. El surgimiento de la “ciencia de la sustentabilidad” avanza hacia una comprensión de la condición humana-ambiental con el doble objetivo de satisfacer las necesidades de la sociedad mientras se sustentan los sistemas de soporte vital del planeta (Turner *et al.*, 2003).

La inmensa mayoría de las relaciones hombre-ambiente implican importantes esfuerzos para expandir los límites y reducir los “caprichos” de la naturaleza en un intento de mejorar el aprovisionamiento y regular los servicios y, por tanto, el bienestar material de las personas (p.ej. irrigar cultivos y aplicar fertilizantes sintéticos para aumentar la producción de alimentos, quemar pastos de la sabana para obtener nuevos forraje para el ganado, o incautación de agua para abastecer a las ciudades, electricidad, proporcionar instalaciones recreativas y controlar las inundaciones).

Tales esfuerzos se centran invariablemente en unos pocos servicios ambientales y resultados humanos (p. ej., control del agua, protección contra inundaciones o producción-seguridad), aunque las consecuencias de las actividades involucradas en el aumento del bienestar material, está históricamente asociado con la reducción ambiental y/o sustitución de pérdidas en servicios (MEA, 2003); son pocos los servicios que se relacionan equitativamente con los resultados humanos (Turner, 2010).

Los sistemas acoplados humano-ambiente (CHES), reconocen la sinergia o interdependencia existente entre los mismos, en la determinación de condición, función y respuesta de cualquiera de los subsistemas en su conjunto (Turner, 2010).

La ciencia de la sostenibilidad examina las relaciones entre servicios ambientales y resultados humanos, en parte para descubrir aquellas cualidades que hacen que el CHES sea menos vulnerable o más resistente a la multitud de fuerzas (es decir, perturbaciones, factores estresantes, perturbaciones) actuando sobre ellos.

De acuerdo con Turner (2010), la vulnerabilidad se refiere al grado en el que es probable que un sistema acoplado humano-ambiente (CHES) o una parte de él experimente daño debido a la exposición a un peligro. En adición, afirma que el enfoque de las perturbaciones y los factores de estrés es insuficiente y limitado para la comprensión de los impactos y las respuestas del sistema afectado o sus componentes.

En contraste con la vulnerabilidad, la resiliencia surgió de las ciencias ecológicas para abordar la persistencia y el cambio en los ecosistemas (Carpenter et al., 2001). El concepto se ha utilizado para caracterizar la capacidad de un sistema para recuperarse a un estado de referencia después de una perturbación y la capacidad de un sistema para mantener ciertas estructuras y funciones a pesar de la perturbación, entendiendo que los ecosistemas exhiben dinámicas de no equilibrio o equilibrio múltiple (Turner, 2010).

Como resultado, la resiliencia del sistema a menudo se evalúa en términos de la cantidad de cambio que puede sufrir un sistema dado (por ejemplo, cuánta perturbación o estrés puede manejar) y aún permanecer dentro del conjunto de estados naturales o deseables (es decir, permanecer dentro de la misma "configuración" de estados, en lugar de mantener un solo estado) (Turner, 2010).

La resiliencia aplicada a CHES tiene al menos tres significados que incluyen: (i) respuesta a disturbios; (ii) capacidad de autoorganización; y (iii) capacidad para aprender y adaptarse. La primera es la más directa aplicable: "*La cantidad de perturbación que un sistema puede absorber y todavía permanecen dentro del mismo estado o dominio de atracción*" (Folke et al., 2002 en Turner, 2010).

En su nivel más fundamental, vulnerabilidad y resiliencia aplicados a CHES constituyen encuadres diferentes pero complementarios. El primero hace más referencia a identificar las partes más débiles (las más afectadas negativamente) de los sistemas acoplados a las perturbaciones, y el segundo, se refiere a las características sistémicas que hacen que los sistemas sean más robustos a los disturbios.

El tema de la sostenibilidad amplía y reorienta el enfoque del análisis de vulnerabilidad de varias maneras. Principalmente, dirige la atención a los sistemas acoplados humano-ambiente, cuya vulnerabilidad y sostenibilidad se basan en la sinergia entre los subsistemas humano y biofísico, ya que se ven afectados por procesos que operan en diferentes escalas espacio-temporales (así como funcionales).

Turner y colaboradores (2003), identificaron los siguientes elementos para incluirlos en cualquier análisis de vulnerabilidad, en particular aquellos destinados a promover la sostenibilidad:

- Múltiples perturbaciones que interactúan y factores estresantes / tensiones y la secuencia de los mismos;
- Exposición más allá de la presencia de una perturbación y un factor de estrés, incluida la forma en que el sistema acoplado experimenta peligros;
- Sensibilidad del sistema acoplado a la exposición;
- Las capacidades del sistema para hacer frente o responder (resiliencia), incluidas las consecuencias y los riesgos concomitantes de una recuperación lenta (o deficiente);
- La reestructuración del sistema después de las respuestas tomadas (es decir, ajustes o adaptaciones); y
- Escalas anidadas y dinámica escalar de peligros, sistemas acoplados y sus respuestas.

Además de estos elementos generales, sugieren que los enfoques y los énfasis dentro del análisis de vulnerabilidad son más útiles para la toma de decisiones cuando:

- Complementan el enfoque tradicional de perturbación/factor estresante a consecuencia, considerando los resultados que se deben evitar y trabajando hacia

atrás, hacia la perturbación o el factor estresante, elevando así la necesidad de la participación de las partes interesadas;

- Perfilan la vulnerabilidad diferencial, porque los subsistemas y componentes del sistema acoplado rara vez son igualmente vulnerables, sin importar cómo esté delimitado el sistema;
- Son conscientes de los elementos estocásticos y no lineales que operan en y dentro del sistema acoplado, dando lugar a resultados inesperados o sorprendidos;
- Prestar atención al papel de las instituciones que operan como factores estresantes o como una estructura que afecta la sensibilidad y la resiliencia del sistema;
- Identificar las estructuras causales sospechosas que afectan la vulnerabilidad y probar los vínculos de causa y efecto a través de los cuales operan;
- Desarrollar métricas y medidas apropiadas para evaluaciones, modelos y pruebas; y
- Desarrollar estructuras institucionales para vincular los análisis de vulnerabilidad a la toma de decisiones, enfocándose en la prominencia, credibilidad y legitimidad de la información producida.

El análisis de vulnerabilidad puede realizarse a cualquier escala espacial o temporal, adecuada para el problema en cuestión. Sin embargo, la variación es fuerte en la vulnerabilidad, según la ubicación, incluso a las amenazas creadas por procesos y fenómenos a escala global, que eleva el papel del análisis “basado en el lugar” (Turner *et al.*, 2003)

El término “basado en el lugar” implica un “conjunto” distintivo espacialmente continuo de condiciones humanas y biofísicas o sistemas acoplados humano-ambientales. El análisis de la vulnerabilidad a escalas locales o localizadas, presta cada vez más atención debido a las preocupaciones a este nivel, las cuales, a su vez, se vinculan a otros lugares y escalas de análisis (Turner *et al.*, 2003)

Los enfoques basados en el lugar no excluyen la capacidad de desarrollar caracterizaciones generales de la vulnerabilidad de los sistemas acoplados. Por el contrario, el uso de enfoques basados en el lugar pone de manifiesto la necesidad de encontrar métodos para operacionalizar el análisis de vulnerabilidad que sean útiles para la especificidad del lugar y para construir conceptos generales a partir de ellos. En adición, una fortaleza particular del análisis basado en el lugar es su potencial para una mayor participación pública y evaluación colaborativa (Turner *et al.*, 2003).

En conclusión, la vulnerabilidad y la resiliencia son conceptos fundamentales, que se alinean con la ciencia de la sostenibilidad, para comprender mejor la complejidad de la dinámica sociedad-ambiente, y aportar un papel esencial en la configuración de resultados para cada uno de los subsistemas a distintas escalas espaciales y temporales, con fuerte potencialidad en el enfoque basado en la localidad.

## 2.3 Gestión ambiental Territorial

Desde las nociones de gestión y ambiente se devela la de gestión ambiental. En principio, por gestión se puede entender aquel proceso que comprende funciones y actividades organizativas, las cuales deben llevarse a cabo con el fin de lograr los objetivos y metas deseadas. Este proceso de gestión está integrado, a la vez, por las funciones de diagnosticar, planificar, ejecutar, controlar y evaluar (Leon Gutierrez, 2005).

Por lo tanto, se entiende por gestión ambiental territorial al “proceso que está orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido éste como aquel que le permite al ser humano el desenvolvimiento de sus potencialidades y de su patrimonio biofísico, cultural y económico, garantizando su permanencia en el tiempo y el espacio” (Cevallos *et al.* 2016; Acosta García, Cosano Delgado 2009; Negrín, Martínez, 2011; Ramírez, Sao Rodríguez, Rodríguez 2012; Santillán Egas 2012; Jiménez, Vargas Camacho 2013; Giutta, Rosa 2013; Cañizares 2014)<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> La gestión ambiental territorial. Una aproximación a la eficiencia Energética. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/332664539>

La gestión ambiental nace en la década de los setenta como una reorientación del pensamiento ambiental y como instrumento para la atención de los problemas ambientales, buscando que el Estado asumiera nuevas funciones en torno a ella (Leon Gutierrez, 2005).

Habitualmente se diferencian dos posiciones extremas acerca de la gestión ambiental: la de los conservacionistas y la de los ambientalistas radicales. Los primeros se dedican al estudio de la naturaleza y cada especie en su hábitat, al cual consideran el objeto de protección y defensa, y reclaman de parte del Estado, acciones represivas o fiscales para proteger la naturaleza. Los segundos consideran como objeto de estudio, defensa y protección no sólo el subsistema natural, sino también lo económico, cultural y político, es decir, el subsistema social.

Ernest Guhl (2014), entiende la gestión ambiental como “el manejo participativo de las situaciones ambientales de una región por los diversos actores, mediante el uso y la aplicación de instrumentos jurídicos, de planeación, tecnológicos, económicos, financieros y administrativos, para lograr el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el mejoramiento de la calidad de vida de la población dentro de un marco de sostenibilidad”<sup>3</sup>(Guhl & Pablo, 2014)

Así bien, la Gestión Ambiental no abarca únicamente los aportes que proporciona el conocimiento científico, sino también la valoración que tiene la sociedad del medio ambiente. La percepción de la sociedad es variable y compleja, lo que dificulta el manejo y la sistematización de sus valores; por esto se hace necesario involucrar a la comunidad en la Gestión Ambiental mediante mecanismos participativos, que permitan obtener información y validar socialmente los proyectos.

Como herramienta para la gestión, el ordenamiento territorial es “transversal”, pues integra espacialmente todas las actuaciones públicas y privadas con incidencia en el territorio; es soporte de las políticas públicas y privadas que definen, orientan, implementan, controlan y evalúan la planeación física (Leon Gutierrez, 2005)

---

<sup>3</sup> Ernest Guhl, citado por: Ministerio de Medio Ambiente, Republica de Colombia. Op. Cit, p. 92-93



La gestión ambiental territorial se materializa y dinamiza, a través del ordenamiento ambiental del territorio. El ordenamiento ambiental territorial tiene por fin regular y orientar el proceso de diseño y planificación del uso del territorio y de los recursos naturales, para garantizar un adecuado equilibrio entre la oferta ambiental y la demanda requerida para el desarrollo sustentable.

A través de los desarrollos normativos y técnicos, la ordenación ambiental del territorio se ha implementado como una herramienta técnica de planeación, que se fundamenta en el análisis y evaluación de los problemas, conflictos y desequilibrios ambientales a corto, mediano y largo plazo. Esto bajo la lectura del territorio, como un sistema integral en el cual los **recursos hídricos** constituyen el eje fundamental de la planificación y de la articulación entre los diferentes subsistemas que confluyen en el territorio (Leon Gutierrez, 2005).

De otro lado, el ordenamiento territorial de acuerdo a lo establecido en la Ley 1454 de 2011, se define como:

*“... un instrumento de planificación y de gestión de las entidades territoriales y un proceso de construcción colectiva de país, que se da de manera progresiva, gradual y flexible, con responsabilidad fiscal, tendiente a lograr una adecuada organización político administrativa del Estado en el territorio, para facilitar el desarrollo institucional, el fortalecimiento de la identidad cultural y el desarrollo territorial, entendido este como desarrollo económicamente competitivo, socialmente justo, ambientalmente y fiscalmente sostenible, regionalmente armónico, culturalmente pertinente, atendiendo a la diversidad cultural y físico-geográfica de Colombia”. LOT (2011; Artículo 2).*

La articulación entre el ordenamiento territorial y el ordenamiento ambiental se ha promovido en el país con mayor énfasis en los últimos años, a través, entre otros, de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico y de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, todo en el marco de una visión de desarrollo fundamentada en la conciliación entre el crecimiento económico, la equidad social y la sostenibilidad ambiental.

En adición, La Ley 99 de 1993, estableció entre otras competencias, que las autoridades ambientales regionales, sean la máxima autoridad ambiental y administradora de los recursos naturales renovables dentro de su jurisdicción y que estas deben velar por la

dimensión ambiental en las decisiones de planificación y de ordenamiento territorial (numerales 2° y 5°, Artículo 31°, Ley 99 de 1993).

### **2.3.1 Cuenca hidrográfica como unidad de análisis**

Por cuenca se entiende como el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (artículo 3 del Decreto 1640 de 2012).

La cuenca constituye una unidad adecuada para la planificación ambiental del territorio, dado que sus límites fisiográficos se mantienen en un tiempo considerablemente mayor a otras unidades de análisis, además involucra factores y elementos tanto espaciales como sociales, que permiten una comprensión integral de la realidad del territorio.

Al interior de las cuencas, se producen estrechas relaciones de interdependencia entre los sistemas físicos, bióticos y socioeconómicos, que interactúan de forma dinámica y permanente en el espacio y el tiempo, formando un sistema integrado e interconectado (Dourojeanni *et al.*, 2002), que se comporta como un conjunto real, complejo y abierto.

Por tanto, la forma adecuada para acercarse a la comprensión espacial de las interrelaciones sociedad- naturaleza, el análisis a nivel de cuenca de la presente investigación, es esencial, pertinente, suficiente y asertivo.

### **2.3.2 Planes de ordenamiento de cuencas hidrográficas**

Los planes de Ordenación y Manejo de la Cuencas Hidrográficas se definen como un instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca entendido como la ejecución de obras y tratamientos, en la perspectiva de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico (Decreto 1640 de 2012).

El ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible, a través de la resolución 1907 del 27 de diciembre del 2013, expide la guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, con el que establece los criterios,

procedimientos y metodologías para orientar a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, en la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

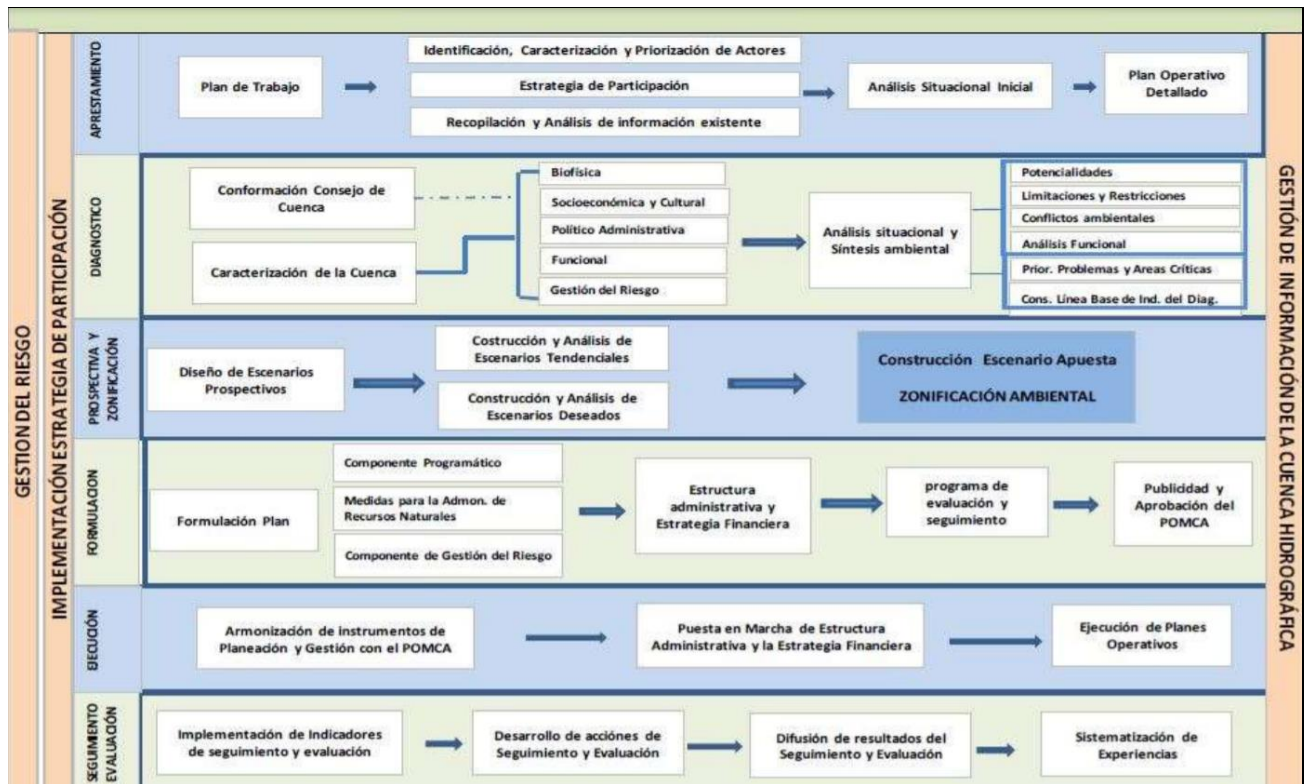
La guía incorpora los lineamientos y directrices de la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico (PNGIRH) (2010) en relación con la estructura de planificación de cuencas hidrográficas y a lo establecido en el Decreto 1640 de agosto de 2012.

El Decreto 1640 de 2012, coherente con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico -PNGIRH, plantea la estructura para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos en cuatro niveles: (1) Áreas hidrográficas o macrocuencas. (2) Zonas hidrográficas, (3) Subzonas hidrográficas o su nivel subsiguiente. De acuerdo a las disposiciones del MADS (2014), la cuenca del río Túa, zona de estudio, se encuentra dentro de la categoría 3, es decir, es una subzona hidrográfica.

### **2.3.3 Fases y procesos del POMCA**

La formulación e implementación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas requieren del desarrollo de seis (6) fases: aprestamiento, diagnóstico, prospectiva y zonificación ambiental, formulación, ejecución y seguimiento y, evaluación. La ilustración 3, señala las fases, procesos y procedimientos adecuados para la correcta elaboración y puesta en marcha de un POMCA (MADS, 2014).

Ilustración 2. Fases, procesos y procedimientos del POMCA



Fuente: Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Pág. 27. (MADS, 2014)

La fase de interés para el presente estudio, es la fase de prospectiva y zonificación ambiental. En esta fase se establecen las categorías de ordenación y zonas de uso y manejo: se diseñarán los escenarios futuros del uso coordinado y sostenible del suelo, de las aguas, de la flora y de la fauna presente de la cuenca, y se definirá en un horizonte no menor a diez años el modelo de ordenación de la cuenca.

El proceso de zonificación, es el resultado del diseño de tres (3) escenarios prospectivos:

1. Escenarios tendenciales, 2. Escenarios deseados y (3) escenario apuesta/zonificación.

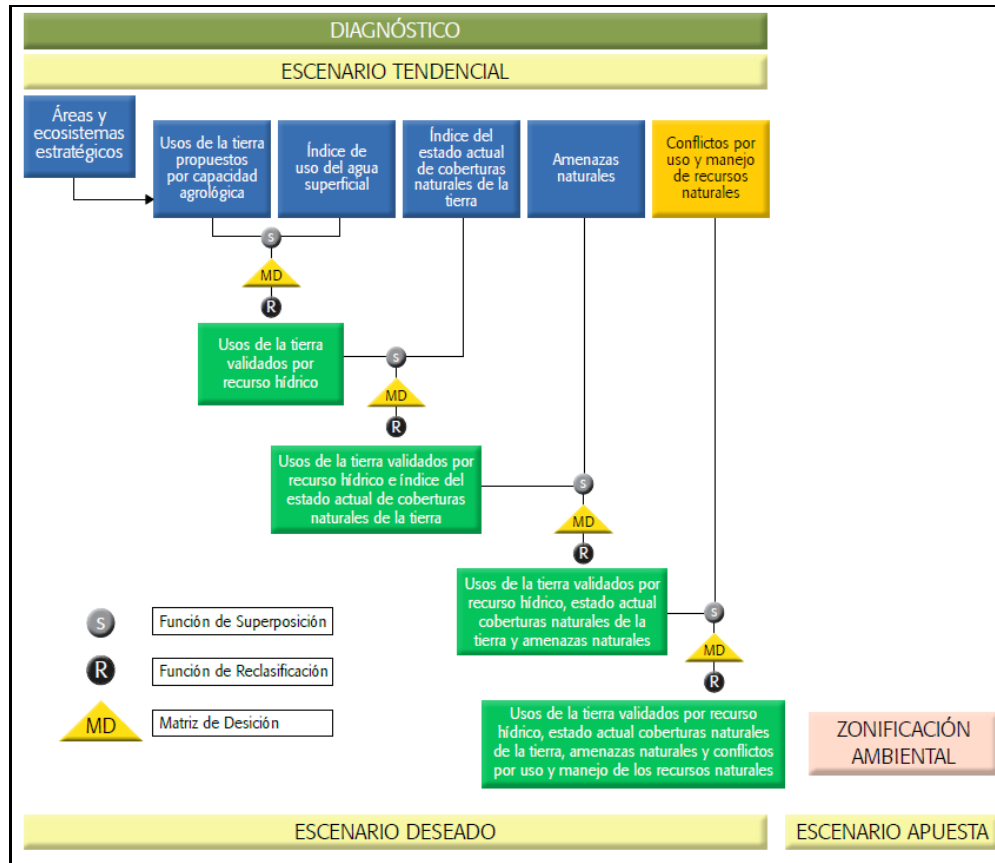
### ▪ Proceso de zonificación ambiental

En el proceso de zonificación ambiental se tienen en cuenta los siguientes aspectos, a los cuales se les dará prioridad. Ver ilustración 4:

- Las áreas y ecosistemas estratégicos identificados y caracterizados en el diagnóstico, constituyen uno de los principales referentes de entrada en la zonificación ambiental, cuyo tratamiento dentro de la zonificación debe estar orientado hacia la conservación y protección de los procesos ecológicos y evolutivos naturales para mantener la diversidad biológica, garantizar la oferta de bienes y servicios ambientales esenciales para el bienestar humano y garantizar la permanencia del medio natural al interior de la cuenca.
- Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.
- Para la integración de la gestión del riesgo en la zonificación se debe considerar el análisis de las amenazas como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo.

La zonificación ambiental se construye con los resultados del diagnóstico; los escenarios tendenciales y deseados (ver ilustración 4); serán el referente para la toma de decisiones, por cuanto representan visiones hipotéticas del futuro. Estos diferentes escenarios ayudan a comprender cómo las decisiones y las acciones que se toman hoy influyen en el manejo socio ambiental de la cuenca (MADS, 2014).

Ilustración 3. Modelo cartográfico de la zonificación ambiental.



Fuente: Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MADS, 2014) Pág.54.

### Categorías de ordenación y zonas de uso y manejo ambiental

Son dos las categorías de ordenación definidas para la zonificación ambiental de cuencas hidrográficas: (1) conservación y protección ambiental y (2) uso múltiple; establecen áreas para el manejo que contribuyan a la sostenibilidad de los recursos suelos, agua y biodiversidad para el desarrollo de las diferentes actividades dentro de la cuenca (MADS, 2014).

1. Conservación y protección ambiental: Esta categoría incluye las áreas que deben ser objeto de especial protección ambiental de acuerdo con la legislación vigente y las que hacen parte de la estructura ecológica principal (Decreto 3600 de 2007, capítulo II, artículo 4). Ver tabla 3 categorías de ordenación. Ver el detalle de cada categoría en el anexo C.

Tabla 3. Causas directas e indirectas de la deforestación tropical.

Categorías de ordenación	Zonas de uso y manejo	Subzonas de uso y manejo	Descriptor de áreas a considerar
Conservación y protección ambiental	Áreas protegidas	Áreas del SINAP	Sistema de Parques Nacionales: parque nacional natural, área natural única, santuario de flora y fauna, vía parque.
			Reservas forestales protectoras nacionales
			Distritos de manejo integrado nacional
			Reservas forestales protectoras regionales
			Parque natural regional
			Distrito regional de manejo integrado
			Distrito de conservación de suelos
			Áreas de recreación
	Áreas de Protección	Áreas complementarias para la conservación	De carácter internacional: sitios Ramsar, reservas de biósfera, AICAS y patrimonio de la humanidad.
			De carácter nacional: reservas forestales de Ley 2da de 1959, otras áreas declaradas por las corporaciones, departamentos, áreas metropolitanas, distritos y municipios.
Suelos de protección que hacen parte de los planes y esquemas de ordenamiento territorial (POT) debidamente adoptados.			
Ecosistemas estratégicos: páramos, humedales, nacimientos de aguas, zonas de recarga de acuíferos, bosques secos, manglares, entre otros.			
Áreas de Protección	Áreas de importancia ambiental	Otras subzonas de importancia ambiental identificadas de interés para la protección de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la cuenca.	
		Áreas con reglamentación especial	
		Áreas de patrimonio histórico, cultural y arqueológico, territorios étnicos.	
Conservación y protección ambiental	Áreas de Restauración	Áreas de restauración ecológica	
		Áreas de rehabilitación	

**Fuente:** Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MADS, 2014)

2. Categoría de uso múltiple: En esta categoría se realizará la producción sostenible; son producto de la identificación de la capacidad de uso de la tierra y al resultado de la aplicación de los indicadores físico, biótico, socioeconómico y las leyes, decretos y normativa vigente establecida en el país. Ver tabla 4 categorías de ordenación.

Tabla 4. Categorías de ordenación de uso múltiple y subzonas de uso y manejo en las cuencas hidrográficas.

Categorías de ordenación	Zonas de uso y manejo	Subzonas de uso y manejo	Descriptor de áreas a considerar
Uso múltiple	Áreas de Restauración	Áreas de recuperación para el uso múltiple	Áreas transformadas que presentan deterioro ambiental y que pueden ser recuperadas para continuar con el tipo de uso múltiple definido de acuerdo a su aptitud.
	Áreas para la Producción Agrícola, Ganadera y de Uso Sostenible de Recursos Naturales	Áreas agrícolas	Son áreas que pueden tener cualquiera de los siguientes usos, definidos por las categorías de capacidad 1 a 3: Cultivos transitorios intensivos Cultivos transitorios semiintensivos Cultivos permanentes intensivos Cultivos permanentes semi intensivos
		Áreas agrosilvopastoriles	Son áreas que pueden tener los demás usos propuestos contenidos en la tabla "Factores de clasificación capacidad de uso" del anexo A identificados en el diagnóstico (clases 4 a 7). Se pueden desarrollar actividades agrícolas, pecuarias y forestales de manera independiente o combinada.
	Áreas Urbanas	Áreas urbanas municipales y distritales	Áreas a que se refiere el artículo 31 de la Ley 388 de 1997.

**Fuente:** Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (MADS, 2014). Pág. 61.

### 2.3.4 Resultados de interés del POMCA del río Túa

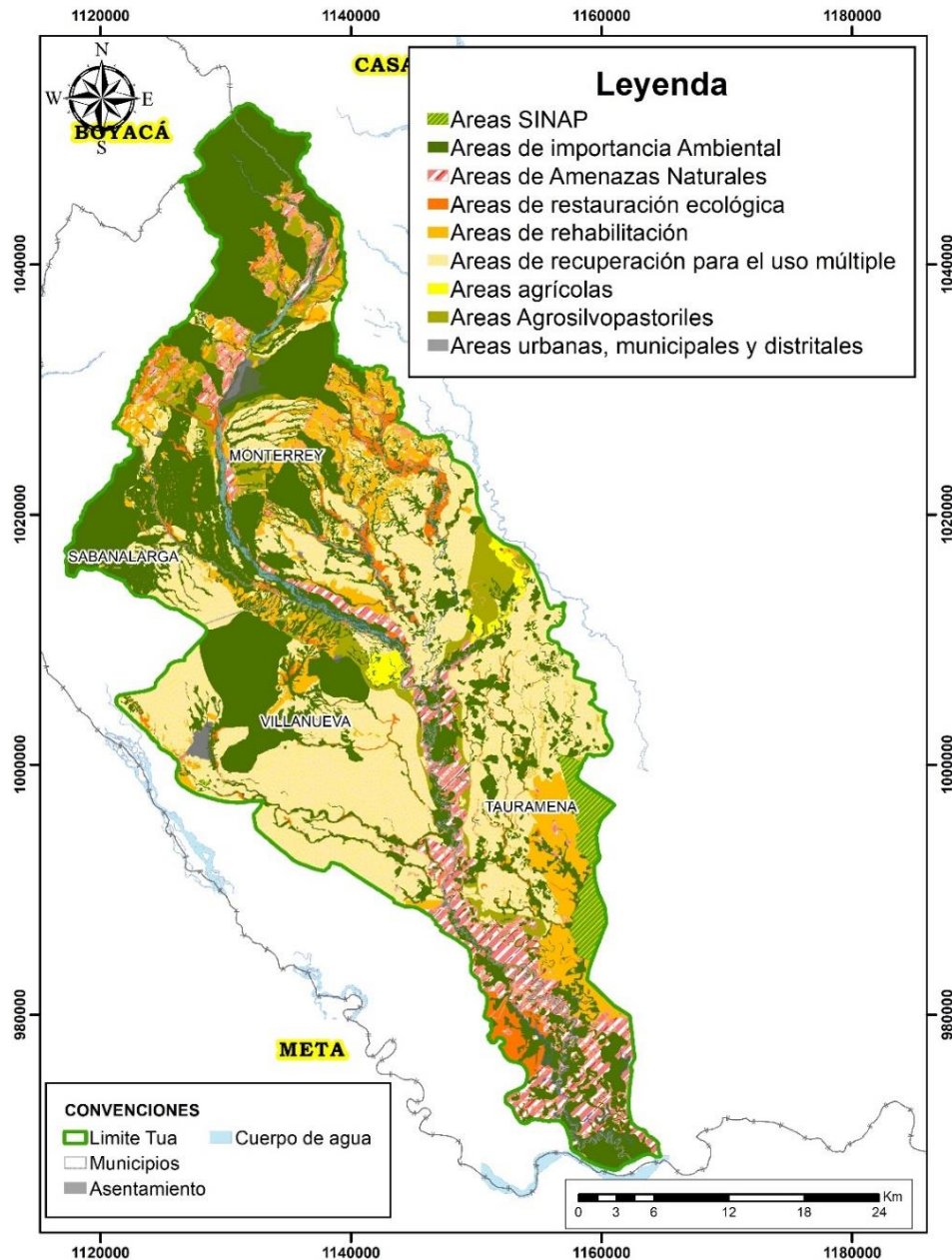
El Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Túa, se constituye en norma de superior jerarquía y determinante ambiental para la elaboración y adopción de los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios pertenecientes a la Cuenca Hidrográfica del río Túa, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997 y en concordancia con el artículo 2.2.3.1.5.6 del Decreto Reglamentario Único No. 1076 de 2015, con relación a: 1. La zonificación ambiental, 2. El componente programático, 3. El componente de gestión del riesgo.

Así bien, bajo el contrato de consultoría No 120.12.6.18.471, se realizó la actualización del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Río Túa, el cual fue adoptado bajo resolución N°300.36.20-407 del 12 de abril del 2020. El POMCA del río Túa tiene jurisdicción en los municipios de Monterrey, Villanueva, Tauramena y Sabanalarga, de estos solo los dos primeros tienen los centros urbanos dentro del límite del área de estudio. Como resultado de la aplicación del proceso metodológico sugerido por *“la guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas*



hidrográficas”, el consorcio POMCA rio Túa 18, desarrolló el escenario apuesta/zonificación de la cuenca del rio Túa. (Ver ilustración 4)

Ilustración 4. Zonificación de la cuenca del rio Túa,



Fuente: consorcio POMCA rio Túa 18

Las categorías de ordenación definidas en la zonificación ambiental, establecen áreas de manejo que contribuyan a la sostenibilidad de los recursos suelo, agua y biodiversidad para el desarrollo de las diferentes actividades dentro de la cuenca. Así bien, a

continuación, se relacionan las tablas 5 y 6, que indican la distribución de las categorías de ordenación de conservación y uso múltiple, respectivamente y su participación en área y en proporción total de la cuenca.

Tabla 5. Categorías de ordenación de conservación de la cuenca del río Túa.

Categoría de Ordenación	Zona de uso y Manejo	Subzona de Uso y Manejo	Área (ha)	% de Área	Símbolo
Conservación y Protección Ambiental	Áreas Protegidas	Áreas SINAP	10,68	0,006%	
			2796,98	1,677%	
			7,70	0,005%	
			2815,36	1,688%	
		Subtotal Áreas Protegidas	2815,36	1,688%	
	Áreas de Protección	Áreas de importancia Ambiental	11850,22	7,104%	
			22,73	0,014%	
			12,79	0,008%	
			228,60	0,137%	
			41,50	0,025%	
			36962,13	22,159%	
			6,46	0,004%	
			14,05	0,008%	
			5,10	0,003%	
			2099,53	1,259%	
			364,35	0,218%	
			136,70	0,082%	
			75,32	0,045%	
			10,33	0,006%	
		12370,88	7,416%		
		64200,68	38,489%		
		Áreas de Amenazas Naturales	5005,09	3,001%	
			93,52	0,056%	
			2,65	0,002%	
			8403,07	5,038%	
			3,05	0,002%	
			277,74	0,167%	
			4,55	0,003%	
			80,03	0,048%	
			2,14	0,001%	
			9,01	0,005%	
			926,35	0,555%	
	14807,21		8,877%		
	Subtotal Áreas Protección		79007,89	47,366%	
	Áreas de Restauración	Áreas de restauración ecológica	1022,70	0,613%	
			2,09	0,001%	
			19,59	0,012%	
			3,46	0,002%	
			4563,15	2,736%	
			2,34	0,001%	
266,68			0,160%		
34,87			0,021%		
26,54			0,016%		
2,45			0,001%		
463,97			0,278%		
6408,62			3,842%		
Áreas de rehabilitación			13724,43	8,228%	
			211,27	0,127%	

		93,46	0,056%	
		7,76	0,005%	
		1140,46	0,684%	
		15177,38	9,099%	
	Subtotal Áreas Restauración	21586,00	12,941%	

Tabla 6. Categorías de ordenación de uso múltiple de la cuenca del río Túa.

Categoría de Ordenación	Zona de uso y Manejo	Subzona de Uso y Manejo	Área (ha)	% de Área	Símbolo	
Uso Múltiple	Áreas de Restauración	Áreas de recuperación para el uso múltiple	23046,79	13,817%		
			29,44	0,018%		
			304,46	0,183%		
			30,93	0,019%		
			27118,54	16,258%		
			1,69	0,001%		
			30,88	0,019%		
			325,19	0,195%		
			824,87	0,495%		
			232,55	0,139%		
			89,70	0,054%		
			1358,08	0,814%		
			53393,43	32,010%		
		Subtotal Áreas Restauración	53393,43	32,010%		
		Áreas agrícolas		343,20	0,206%	
				9,51	0,006%	
				160,95	0,096%	
				734,65	0,440%	
				4,58	0,003%	
				198,33	0,119%	
				1451,85	0,870%	
		Áreas Agrosilvopastoriles		1611,41	0,966%	
				1,82	0,001%	
				3,00	0,002%	
				4,06	0,002%	
				4537,29	2,720%	
				5,20	0,003%	
				139,89	0,084%	
				16,06	0,010%	
				82,23	0,049%	
				1003,21	0,601%	
		7404,47	4,439%			
		Subtotal Áreas de Áreas para la Producción agrícola,		8856,33	5,309%	
	Áreas Urbanas	Áreas urbanas, municipales y distritales	1143,50	0,686%		
			1143,50	0,686%		
Total Área de la Cuenca			166802,5174	100,0%		

Fuente: Consorcio POMCA río Túa 18.

### 3. Marco metodológico

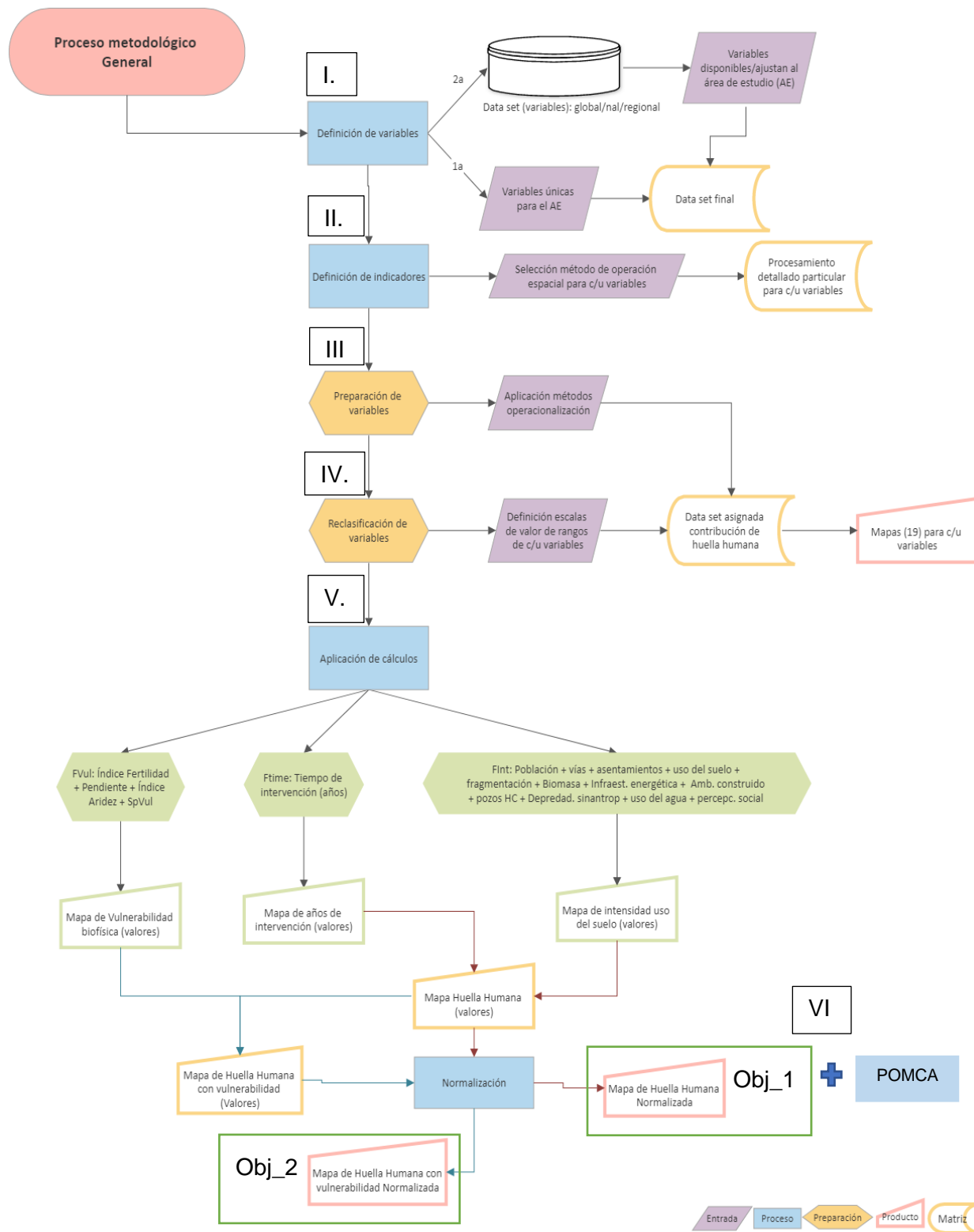
Esta investigación se realiza en la cuenca del río Túa, al sur del departamento de Casanare – Orinoquia Colombiana, como estudio de caso.

El área de estudio cuenta con un área de 166.800has aproximadamente, tiene un gradiente altitudinal desde 2500 a 165 m.s.n.m, temperaturas medias de 25°C, comportamiento climático unimodal, lo que le otorga especial heterogeneidad ecosistémica y de biodiversidad a territorio. En adición, hace parte de los **hotspot** de cambio de huella espacial humana de carácter nacional, debido a los fuertes procesos de expansión de ganadería de baja productividad y una agroindustria intensificada; cerca de la mitad de la cuenca (44.2%) se encuentra cubierta por pasturas para ganadería y tan solo cerca del 20% mantiene coberturas naturales. En adición, alberga ecosistemas en categorías de alto riesgo: crítico y en riesgo (CR y EN) de acuerdo con la más reciente lista roja de ecosistemas (LRE).

El presente estudio, tiene el propósito de evaluar la huella espacial humana en paisajes local, para lo que fue pertinente: 1. Proponer un enfoque metodológico para determinar la huella espacial local, 2. Evaluar la pertinencia de incorporar el índice de vulnerabilidad biofísica a la ecuación de huella humana y 3. Analizar la correspondencia entre la huella humana local con el POMCA.

Para el desarrollo de los dos primeros objetivos se siguió el siguiente proceso metodológico general (Ver ilustración 5).

Ilustración 5. Procedimiento metodológico General.



Fuente: Elaboración Propia

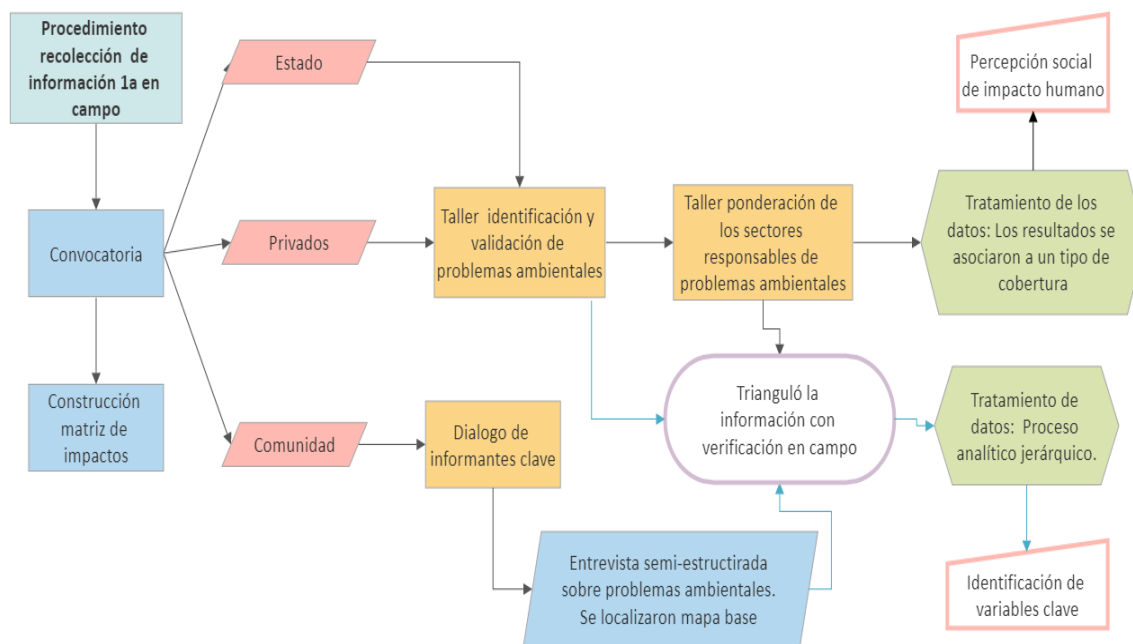
## 1. Definición de variables de influencia humana o factores de presión

Con base en recolección de información secundaria, se extrajeron todas las variables geográficas usadas en diferentes artículos científicos, de los principales autores y referentes de huella humana global, nacional y regional, con el que se construyó un data set (conjunto de datos) universal.

Posteriormente, se depuró la información identificando aquellas variables geográficas que aplicaban, se ajustaban y que estaban disponibles para el área de estudio (AE).

Seguido a ello y con el propósito de identificar variables basadas en las características del territorio, que operan a escala local y priorizadas por la comunidad, se realizaron talleres, entrevistas y visitas de campo. Para el levantamiento de esta información primaria se seleccionó al municipio de Monterrey como muestra representativa de la cuenca (cubre cerca del 40% de la superficie de la cuenca y a su vez, la cuenca cubre el 89% del territorio municipal), además por disponibilidad de información detallada, acceso y confianza con sus comunidades. El proceso llevado a cabo y los productos generados, se relacionan en la ilustración 6 y se describen en los siguientes numerales.

Ilustración 6. Esquema de procesos y productos de fase recolección de información primaria



Fuente: Elaboración Propia

1. Convocatoria a actores claves del municipio: (1) Estado: alcalde municipal, funcionarios de secretaria de gobierno y desarrollo económico y medio ambiente (SDEMA), concejo municipal, concejo territorial de planeación, (2) privados: consultores del proyecto: *Formulación de la de política pública ambiental y de cambio climático*, (3) comunidad local: ASOJUNTAS, comunidad civil concedora y representante de la región.
2. Con base en la revisión bibliográfica y conocimiento experto, se realizó un formato con una matriz con los principales problemas ambientales del municipio. (Ver Anexo A)
3. Para los grupos de interés como: concejo municipal, concejo territorial de planeación y funcionarios de secretaria de gobierno y desarrollo económico y medio ambiente (SDEMA), se realizó un taller de identificación y validación de los principales problemas ambientales, infraestructura asociada y localización de los mismos, dentro del municipio utilizando el formato 1, previamente mencionado. Estos resultados apoyarían la selección de las variables de influencia humana.
4. En adición, se realizó un segundo taller de ponderación de los principales sectores responsables de los impactos identificados, el cual se desarrolló con base al formato 2 (Ver Anexo B). Los resultados se asociaron a un tipo de cobertura para darles espacialidad.
5. Para los grupos de interés: ASOJUNTAS y comunidad en general, se utiliza la metodología de dialogo de informantes clave, a través de una entrevista semiestructurada sobre las principales problemáticas ambientales del municipio, pasados y actuales, los cuales quedaron localizados en un mapa base. Estos resultados apoyarían la selección de las variables de influencia humana

Finalmente, con el fin de corroborar la información de localización de los problemas ambientales identificados y algunas coberturas identificadas en el mapa de coberturas y uso del suelo del POMCA, se realizaron visitas de georreferenciación y verificación de campo.

Los resultados de los talleres y entrevistas semiestructuradas, permitieron identificar actividades y sectores que perciben la comunidad de influencia antrópica y que tienen

implicaciones espaciales locales para la cuenca. En adición, estos resultados condujeron a corroborar y respaldar las variables previamente priorizadas como de influencia por otros autores.

Como resultado de este proceso, se construyó un data set final, donde se seleccionaron 19 variables de influencia antrópica para la cuenca del río Túa, las cuales se agruparon en tres dimensiones: temporal, vulnerabilidad biofísica e intensidad de uso del suelo. Ver tabla 7.

## **2. Definición de indicadores**

Este proceso consistió en identificar y seleccionar los métodos de operación espacial más adecuados y coherentes, para cada una de las variables seleccionadas, de forma que logran expresar de la manera más cercana posible, el comportamiento de las mismas, con la información geográfica y no geográfica disponible. Producto de ello se definieron los indicadores de medición de cada variable (Ver tabla 7) y el procesamiento detallado para la espacialización de cada variable.

## **3. Preparación de variables y Reclasificación de variables**

En este proceso se aplican los métodos de operación espacial, siguiendo el procesamiento previamente construido. Ver ilustración 8. El mismo se materializa en la primera versión de los mapas para cada variable en sus unidades de origen.

Una vez operacionalizadas las variables, fue necesaria reclasificarlas, de forma que fuera posible analizar, unificar y operacionalizar espacialmente las mismas. La reclasificación se realizó en un rango de 0 a 5. Para lo mismo, fue necesario construir una matriz de escala de valor de la contribución de huella humana de cada una de las variables (Ver tabla 8 y 9).

Todas las variables se agruparon en tres dimensiones: (1) Intensidad de uso del suelo, (2) tiempo de intervención y (3) Vulnerabilidad biofísica como se evidencia en la tabla 7.



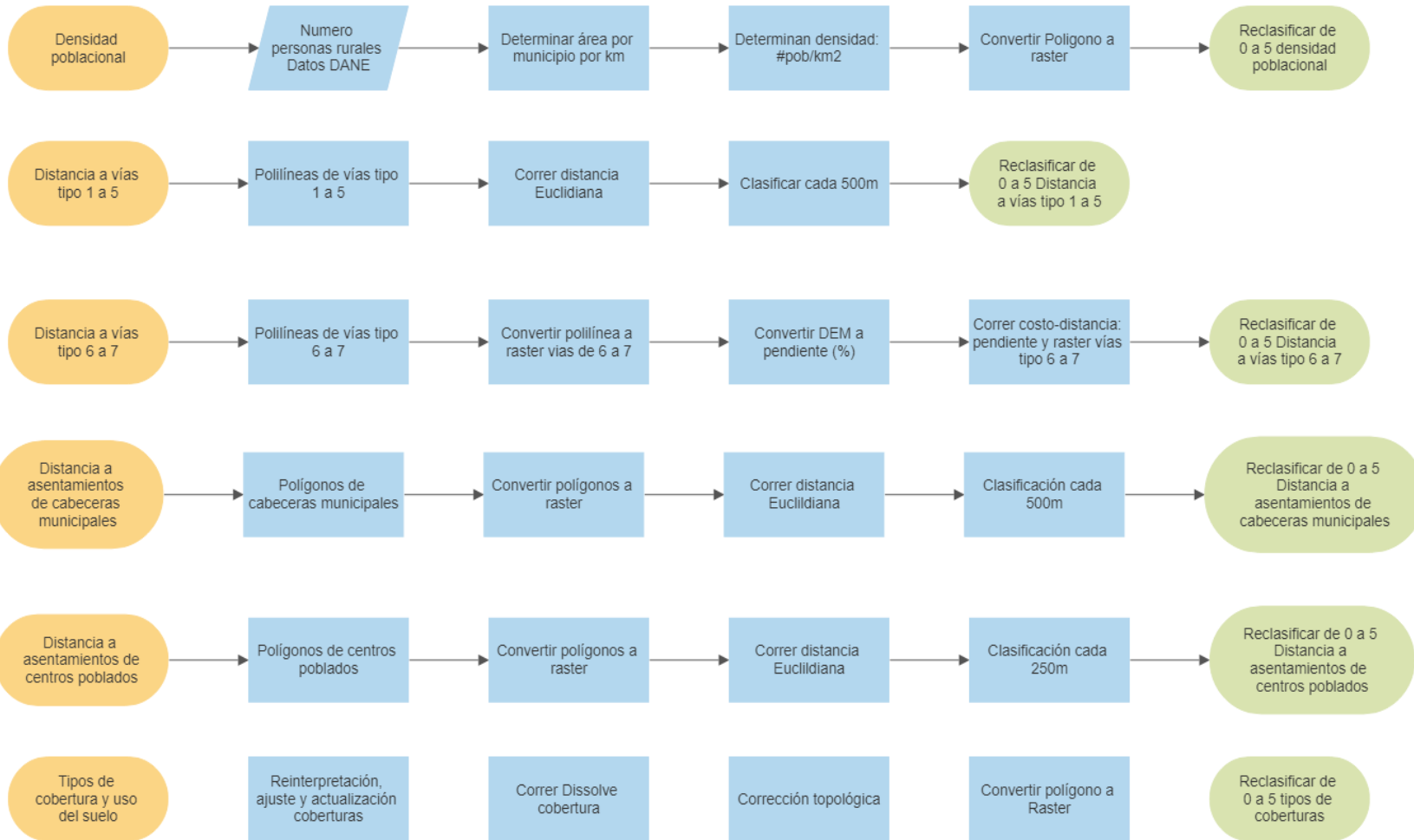


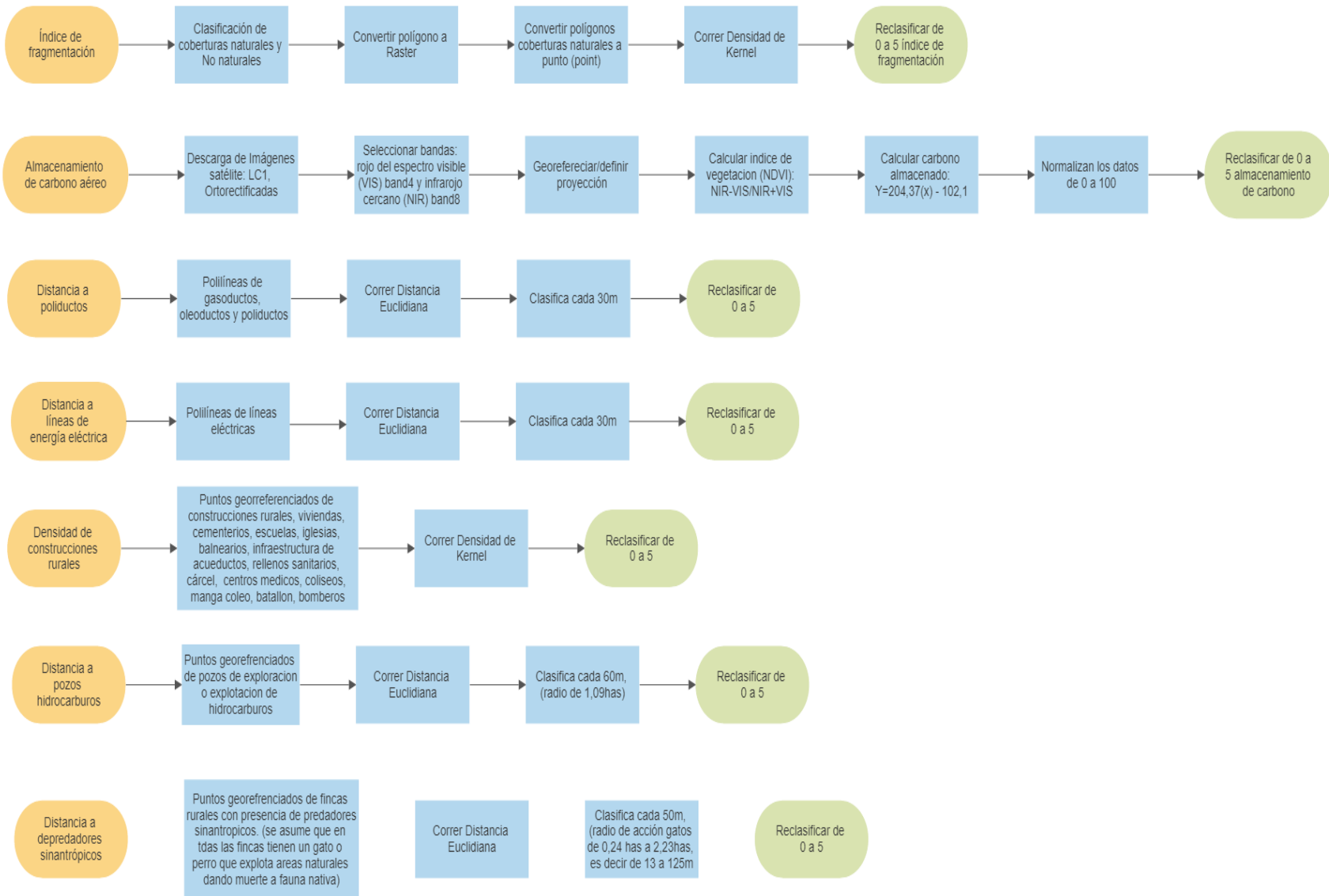
Tabla 7. Variables e indicadores de influencia humana.

DIMENSION	No	VARIABLE/FACTORES PRESION	INDICADOR	Descripción	Fuente Datos	Resolución espacial	Referencias Bibliográficas
INTENSIDAD USO DEL SUELO	1	POBLACION	DENSIDAD POBLACION RURAL	Población rural por km2	DANE, 2021	8m	Etter <i>et al</i> (2011), Correa <i>et al</i> (2017)
	2	VIAS	DISTANCIA A VIAS TIPO 1 A 5	Distancia euclidiana por km2 de red vial al origen más cercano	CORPORINOQUIA, 2020	8m	Forman <i>et al</i> (2002), Etter <i>et al</i> (2011), Correa <i>et al</i> (2017)
	3		DISTANCIA A VIAS TIPO 6 A 7	Distancia costo de acceso humano por pendiente	CORPORINOQUIA, 2020	8m	Tapia-Armijos <i>et al</i> (2017)
	4	ASENTAMIENTOS	DISTANCIA A ASENTAMIENTOS DE CABECERAS MUNICIPALES	Distancia euclidiana del asentamiento más cercano al origen en km	CORPORINOQUIA, 2020	8m	Etter <i>et al</i> (2011), Tapia-Armijos <i>et al</i> (2017)
	5		DISTANCIA A ASENTAMIENTOS CENTROS POBLADOS RURALES		CORPORINOQUIA, 2020	8m	Tapia-Armijos <i>et al</i> (2017),
	6	USO DEL SUELO	TIPOS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO	Reclasificación por tipos de cobertura y uso, de acuerdo a su naturalidad	CORPORINOQUIA, 2020	8m	Etter <i>et al</i> (2011), Tapia-Armijos <i>et al</i> (2017), Correa <i>et al</i> (2017)
	7	FRAGMENTACION	INDICE FRAGMENTACION	Porcentaje de vegetación natural por pixel	CORPORINOQUIA, 2020	8m	Etter <i>et al</i> (2011)
	8	BIOMASA	ALMACENAMIENTO DE CARBONO AEREO	Almacenamiento de carbono (biomasa aérea) con base en NDVI (índice de vegetación diferencia normalizada)	USGS glovis, 2020	10m	Pandapotan Situmorang, Sugianto, & Darusman (2016); Rouse <i>et al.</i> (1973)
	9	INFRAESTRUCTURA ENERGETICA	DISTANCIA A POLIDUCTOS	Distancia euclidiana del ducto más cercano al origen en km	CORPORINOQUIA, 2020; EOT Monterrey, 2009	8m	Leu <i>et al</i> (2008); Art. 9 y 96. Código petróleos (Dec.1056/53)
			DISTANCIA A LINEAS DE ENERGIA ELECTRICA	Distancia euclidiana de la línea de transmisión eléctrica más cercana al origen en km		8m	Leu <i>et al</i> (2008), RETIE. Res. 18.0466/2007
	10	AMBIENTE CONSTRUIDO	DENSIDAD DE CONSTRUCCIONES RURALES HABITACIONALES, SALUD, RELIGIOSA, SEGURIDAD, DE INTERES, OTROS.	Magnitud por unidad de área de la concentración de puntos, usando la función de Kernel, para ajustar suavemente la superficie de cada punto	EOT Monterrey, 2009, CORPORINOQUIA, 2020	8m	Venter <i>et al</i> (2016)
11	POZOS EXTRACCION HIDROCARBUROS	DISTANCIA A POZOS EXTRACCION HIDROCARBUROS	Distancia euclidiana del pozo más cercano al origen en km	CORPORINOQUIA, 2020; EOT Monterrey, 2009	8m	Leu <i>et al</i> (2008)	

	12	DEPREDADES SINANTROPICOS	DISTANCIA A DEPREDADES SINANTROPICOS	Distancia euclidiana de la finca con depredadores sinantrópicos más cercano al origen en km	SAGYMA, 2021; CORPORINOQUIA, 2020	8m	Leu <i>et al</i> (2008)
	13	USO DE AGUA	INDICE USO DEL AGUA (IUA)	Cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo de tiempo t (anual) por área en relación con la oferta hídrica superficial disponible	CORPORINOQUIA, 2020	10m	(IDEAM, 2010)
	14	PERCEPCION SOCIAL	PERCEPCION SOCIAL DE IMPACTO	Clasificación de coberturas de acuerdo a percepción de impacto	CORPORINOQUIA, 2020	8m	Comunidad Regiomontuna, 2021
TIEMPO	15	TIEMPO	AÑOS DE INTERVENCION ANTROPICA	Años de transformación de los paisajes por actividad humana desde 2003 a 2019.	CORPORINOQUIA, 2021; USGS glovis, 2020	8m	Etter <i>et al</i> (2011)
VULNERABILIDAD BIOFISICA	1	FERTILIDAD	INDICE DE FERTILIDAD DEL SUELO	Reclasificación de tipos de suelo, en valores de productividad estándar de acuerdo a la clasificación de Schaetzl <i>et al</i> (2012)	IGAC, 2017, CORPORINOQUIA, 2020.	30m	Etter <i>et al</i> (2011), Shaetzlet <i>al</i> (2012)
	2	PENDIENTE	RANGO DE PENDIENTE (%)	Reclasificación de los datos del DEM en rangos de pendiente en (%)	DEM (10m) CORPORINOQUIA, 2020	10m	Etter <i>et al</i> (2011)
	3	DISPONIBILIDAD HUMEDAD	INDICE DE ARIDEZ (IA)	Característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial	CORPORINOQUIA, 2020	10m	IDEAM (2010)
	4	ESPECIES EN AMENAZA	MODELO DE DISTRIBUCION ESPECIES AMENAZADAS	Modelo de distribución potencial de especies dentro de alguna categoría de amenaza según UICN.	CORPORINOQUIA, 2020	8m	Etter <i>et al</i> (2011)

### Ilustración 7. Procesamiento de variables de influencia humana (IIH)





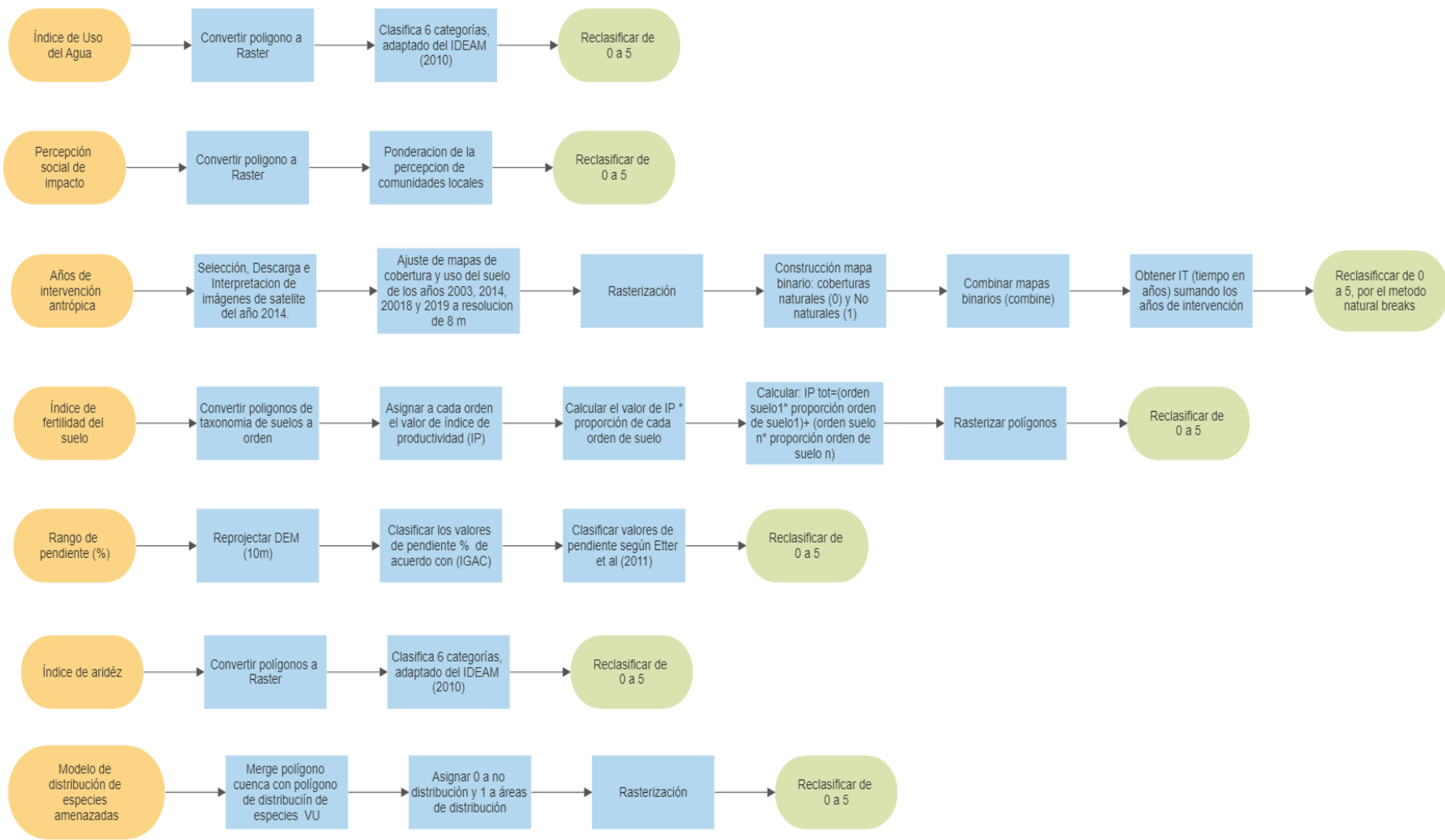


Tabla 8. Contribución a la huella humana y rangos de escala de valor para cada variable de la dimensión intensidad uso del suelo.

DIMENSION INTENSIDAD USO DEL SUELO														
CONTRIBUCION AL INDICE DE HUELLA HUMANA	DENSIDAD POBLACION RURAL (hab/km2)	DISTANCIA A VIAS TIPO 1 A 5 (m)	DISTANCIA COSTO (ACCESO A PIE) EN VIAS TIPO 6 A 7 (m)	DISTANCIA A ASENTAMIENTO DE CABECERAS MUNICIPALES	DISTANCIA A ASENTAMIENTO CENTROS POBLADOS RURALES	COBERTURA Y USO DEL SUELO	INDICE FRAGMENTACION	INDICE DE BIOMASA/ALMACENAMIENTO DE CARBONO AEREO	DISTANCIA A INFRAESTRUCTURA ENERGETICA	DENSIDAD DE AMBIENTE CONSTRUIDO	DISTANCIA A POZOS EXTRACCION HIDROCARBUR	DISTANCIA DE INFLUENCIA DE DEPREDADORES SINANTROPICOS	INDICE USO DEL AGUA (UA)	PERCEPCION SOCIAL DE IMPACTO
0	0-2	>2500	>23027	>2500	1500 - 1750	Bosques naturales, sabanas naturales, vegetacion acuatica, arbustales naturales, matorrales natirales, cuerpos de agua, paramos	100	100	>150	0 - 0,6	>300	>250	0,06 - 1	Afloramientos rocosos, arbustal denso, bosque de galeria y ripario, bosque denso alto y denso de tierra firme, inundable, bosque fragmentado, canales, herbazales denso, cuerpos de agua, vegetacion acuatica, vegetacion secundaria alta y baja, zonas arenosas, zonas pantanosas
1	2-7.	2000 - 2500	4226 - 23027	2000 - 2500	1250 - 1500	Vegetacion secundaria, arbustales transformados, bosque abierto o transformado	90	80-90	120-150	0,6 - 1,2	240 - 300	200 - 250	1 - 10.	Mosaico de cultivos, aguacate, otros cultivos transitorios, platano y banano, sabila, yuca
2	7-15.	1500 - 2000	1115 - 4226	1500 - 2000	1000 - 1250	Plantaciones forestales, arbustos y bosques transformados de bosques riparios, bosques densos o bosques fragmentados	60-90	60-80	90-120	1,2 - 1,9	180 - 240	150 - 200	10-20.	obras hidraulica, cictrico, piña, platacion de coniferas y latifoliadas
3	15-30	1000 - 1500	600 - 1115	1000 - 1500	500 - 750	Agricultura de planicie, cultivos de riego, cultivos perennes, cultivos transitorios, pasturas transformadas, pastos enmalezados, mosaico de pastos con areas naturales	30-60	40-60	60-90	1,9 - 2,7	120 - 180	100 - 150	20 - 40	Mosaico de pastos y cultivos, pastos arbolados, pastos enmalezados, pastos limpios, pastos y arboles plantados, red vial y terrenos asociados, tejido urbano continuo y discontinuo
4	30-35	500 - 1000	515 - 600	500 - 1000	250 - 500	Pasturas introducidas, pastos cultivados, agricultura intensiva, mosaico de cultivos, paramo transformado, pastos limpios, pastos arbolados, mosaico de pastos y cultivos	10-30.	20-40	30-60	2,7 - 3,8	60 - 120	50 - 100	40 - 50	Cuerpos artificiales (piscicolas), explotacion de hidrocarburos, zonas industriales,
5	>35	0 - 500	0 - 515	0 - 500	0 - 250	Areas urbanas, suelo desnudo, areas mineras, cuerpos de agua artificiales	<10	<20	0-30	3,8 - 10	0 - 60	0 - 50	>50	Arroz, cultivos confinados, explotacion de materiales de construccion, palma de aceite, tierras desnudas y deagradas, zonas quemadas
AUTOR	Correa et al 2020	Adaptado de Venter et al 2016 y Forman et al 2002	Adaptado de Venter et al 2016	Adaptado de Tapia- armijos et al 2017	Adaptado de Tapia- armijos et al 2017	Correa et al 2020, Correa et al 2017, Etter et al 2011	Etter et al 2011	Correa et al 2017	RATIE y Decreto 1056/1953	Adaptado de Venter et al 2016	Adaptado de Leu et al 2008	Adaptado de Kays & DeWan, 2004 y Leu et al 2008	IDEAM 2014	Comunidad Regiomontuna, 2021

Tabla 9. Contribución a la huella humana y rangos de escala de valor para cada variable de la dimensión tiempo y vulnerabilidad biofísica.

CONTRIBUC AL INDICE DE HUELLA HUMANA	DIMENSION TEMPORAL	DIMENSION VULNERABILIDAD BIOFISICA			
	TIEMPO DE INTERVENCION (AÑOS)	INDICE DE FERTILIDAD DEL SUELO	PENDIENTE (%)	INDICE DE ARIDEZ (IA)	DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE IDONEIDAD DE SP DENTRO DE ALGUNA CATEGORÍA DE AMENAZA POR UICN
0	0-2	Muy alto	0 - 1	0,15 - 0,19	0
1	2-4.	Alto	1 - 5.	0,20 - 0,29	0-2
2	4-6.	Moderado	5 - 10.	0,29 - 0,39	2-4.
3	6-8.	Moderado	10 - 25.	0,39 - 0,49	4-8.
4	8-11.	Bajo	25 - 50	0,49 - 0,59	8-12.
5	11-16.	Muy bajo	>50	<0,15 y >0,6	12-16.
AUTOR	Adaptado de Etter <i>et al</i> 2011	Correa <i>et al</i> 2017 y Etter <i>et al.</i> , 2010	Correa <i>et al</i> 2017 y Etter <i>et al.</i> , 2011	Adaptado de Etter <i>et al.</i> , 2011	Adaptado de Etter <i>et al.</i> , 2012





A continuación, se describe en detalle los procesos y tratamientos realizados para cada una de las variables, que configuran la ecuación de huella humana para paisajes locales.

### **Dimensión espacial: Intensidad de uso del suelo**

La intensidad de uso de suelo hace referencia al nivel de modificación de los hábitats debido a la extracción de recursos, usos y manejo predominantes del suelo (Etter et al., 2011)(Etter et al., 2011).

1. *Uso del suelo:* Se usa como insumo principal el mapa de coberturas y uso actual de la tierra 2019, del POMCA del Rio TUA (CORPORINOQUIA, 2020), siguiendo la metodología de *Corine Land Cover* para Colombia (Ministerio del Medio Ambiente, 2010) en nivel 3 a 6. Se ajustó y actualizo por medio de interpretación de imágenes de satélite y corroboración en campo. Quedo actualizado a febrero de 2021.

Las coberturas se reclasificaron de acuerdo a naturalidad de las coberturas siguiendo a Etter *et al* 2011, Correa Ayram *et al* 2017 y Tapia-Torrijos *et al* 2017. Se asignaron valores de contribución de influencia humana (IIH) entre 0 a 5, donde las coberturas más naturales se les asignara el valor más bajo representando menor influencia y las coberturas con mayor intervención, valores mayores representando mayor contribución a la huella. Ver tabla 8.

2. *Acceso humano:* Se usa el mapa de vías de la cuenca del rio Túa (CORPORINOQUIA, 2020), clasificando las vías de tipo 1 a 7. Se separaron las vías pavimentadas y no pavimentadas por donde transitan automóviles (1 a 5) y los caminos de herradura por donde transitan personas y animales de carga (6 y 7), de acuerdo la clasificación del IGAC. Ver tabla 10.

Se determinó la distancia a vías usando una medida euclidiana simple para mapear la distancia a todas las carreteras de tipo 1 a 5. Ver ilustración 8. Se asignaron puntuaciones de influencia humana de 0 a 5, de acuerdo con Correa Ayram *et al* (2017).

Posteriormente, y teniendo en cuenta que los mapas son productos de análisis a escala local, se realizó una reclasificación manual cada 500m, teniendo en cuenta

a Venter *et al* (2016) que asigna alta presión humana para 0.5km a ambos lados de las carreteras y Forman *et al* (2002) que argumenta se evidencia impacto de vías transitadas por automóviles, con flujo vehicular entre 8000 y 1500 carro/día, de más de 400m a lado y lado de la vía, en la etología de aves de pastizales.

La reclasificación se realizó en seis categorías, donde los rangos de valores más bajos representan mayor influencia humana, asignados en la categoría 5 y los valores más grandes, en la categoría 0 por baja influencia humana. Ver tabla 8.

Tabla 10. Características y especificaciones de las vías tipo 1 a 7 para Colombia

CATEGORIA	TIPO	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA	ESPECIFICACIONES	TRÁNSITO	MANTENIMIENTO
2 (dos) o más carriles	1	Revestimiento duro, Carretera pavimentada	Mayor a 5,5 mts de ancho	Transitable durante todo el año, con volumen de tráfico que no es mucho menor que su capacidad durante la época de sequía. Se cierra únicamente por condiciones meteorológicas desfavorables.	Requiere muy poco cuidado. Inspecciones y reparaciones periódicas
2 (dos) o más carriles	2	Revestimiento suelto o ligero, Carretera no pavimentada	Mayor a 5,5 mts de ancho	Se mantiene abierto al tránsito en épocas de lluvias, pero con mucho menos tráfico que durante tiempo seco. Si se transita mucho durante tiempo de lluvia, se arruinará por	Necesita mantenimiento periódico
1 (un) carril	3	Revestimiento duro, Carretera pavimentada	Entre 2,5 mts de ancho y menor de 5,5 mts	Transitable durante todo el año, con volumen de tráfico que no es mucho menor que su capacidad durante la época de sequía. Se cierra únicamente por condiciones meteorológicas desfavorables.	Requiere muy poco cuidado. Inspecciones y reparaciones periódicas
1 (un) carril	4	Revestimiento suelto o ligero, Carretera no pavimentada	Entre 2,5 mts de ancho y menor de 5,5 mts	Se mantiene abierto al tránsito en épocas de lluvias, pero con mucho menos tráfico que durante tiempo seco. Si se transita mucho durante tiempo de lluvia, se arruinará por	Necesita mantenimiento periódico
1 (un) carril	5	En construcción, revestimiento suelto o ninguno, terreno natural o estabilizado (arena-arcilla y gravilla). Transitables abandonados o sin	Entre 2,5 mts de ancho y menor de 5,5 mts	Transitable en tiempo seco por toda clase de vehículos.	Necesita mantenimiento frecuente
Vía natural	6	Sin revestimiento	Entre 2 mts de ancho y menor de 2,5 mts	Vía natural tracción.	transitable únicamente en vehículos
Camino Sendero	7	Pueden ser naturales o contruidos, se puede encontrar con revestimiento		Transitada por animales de carga o personas, no son suficientemente anchas para que pasen vehículos de cuatro ruedas.	

Fuente: IPGH. Especificaciones técnicas cartografía básica. Anexo 3. Clasificación de campo para elementos geográficos. IGAC

Debido a que la influencia humana de los caminos de herradura es menor que en las vías carretables y que dicho acceso antrópico puede estar afectado por el relieve, se elaboró una capa de superficie de costos basada en elevación digital modelos (DEM) para identificar el acceso humano. Se utilizó un DEM con resolución de 10m, que permitió construir el mapa de pendientes (%) las cuales se clasificaron en las 7 categorías de acuerdo a lo establecido por el IGAC, como capa de fricción; y junto con el ráster de las vías tipo 6 a 7, se corrió la distancia costo (Distance cost).

Posteriormente, los resultados se reclasificaron utilizando el método de intervalo geométrico en 6 categorías de 0 a 5, el cual crea intervalos geométricos al minimizar la suma de cuadrados del número de elementos de cada clase. Con esto se garantiza que cada rango de clase tenga aproximadamente el mismo número de valores en cada clase y que el cambio entre intervalos sea bastante coherente.

Este algoritmo se diseñó específicamente para acomodar datos continuos. Es un compromiso entre los métodos de intervalos equivalentes, cortes naturales (Jenks) y cuantiles. Crea un equilibrio entre los cambios resaltados en los valores centrales y en los valores extremos, produciendo así un resultado visualmente atractivo y cartográficamente comprensible.

Así bien, los valores bajos representan menor costo, por tanto, mayor acceso humano, y se le asignan valores de contribución más alta y viceversa, a los valores más altos. Ver tabla 8.

3. *Densidad de población:* Esta variable hace referencia a la cantidad de personas por km<sup>2</sup> para cada uno de los municipios que hacen parte de la cuenca del río Túa. Los datos de población, se obtuvieron de la información publicada en el DANE para febrero del 2021. Ver tabla 11.

Tabla 11. Densidad de población urbana y rural de los municipios de la cuenca del Túa.

MUNICIPIO	RURAL DISPERSO	CENTRO POBLADO	CABECERA MUNICIPAL	POBLAC TOTAL	DENSIDAD RURAL
MONTERREY	2.813	1.106	10.909	14.828	4

TAURAMENA	6.341	1.267	14.101	21.709	15
VILLANUEVA	5.491	1.388	24.848	31.727	12
SABANALARGA	958	486	1.602	3.046	10

Fuente: DANE, 2021.

Se determinó la densidad de población rural para cada municipio, teniendo en cuenta el área que ocupa el mismo en la cuenca. Se obtuvo así la cantidad de personas por km<sup>2</sup>.

Finalmente, se reclasificaron los resultados de 0 a 5, según Correa Ayram *et al* 2020, donde los valores de densidad bajos, se les asignan valores bajos de influencia humana, y los valores de mayor densidad, valores altos de contribución de huella humana. Ver tabla 8.

4. *Ambientes construidos*: Este variable hace referencia a toda construcción (tipo punto) habitacional, de salud, educativa, de seguridad, religiosa y sitios de interés, tipo punto, únicamente de la zona rural. De manera detallada se incluyeron: viviendas rurales, trapiches, bodegas, molinos, estaciones de servicio, cementerios, rellenos sanitarios, infraestructura de bocatomas de acueductos, colegios, escuelas, cárceles, coliseos deportivos, manga de coleo, estación de bomberos, DAS, balnearios, restaurantes, oficinas de electricidad, infraestructura arrocera, iglesias, estaciones de policía y aeropuerto.

Se utilizó el método de densidad de Kernel para cada punto, con un ancho de banda de 1km<sup>2</sup> ( $r=564.19m$ ), para obtener la cantidad de construcciones por km. Los resultados obtenidos se reclasificaron por el método de cuantiles, en 6 categorías de distancia, que van de 0 a 5, donde los valores de distancias pequeñas se valoran con 5 y los valores de mayores distancias con valores bajos de influencia 0. Ver tabla 8.

5. *Infraestructura energética*: Este mapa incorpora dos insumos tipo línea: (1) las líneas eléctricas y (2) las líneas de conducción de hidrocarburos presentes en la zona de estudio. A las líneas eléctricas se les aplicó el método de distancia Euclidiana, por km al origen más cercano.

De acuerdo con el reglamento técnico RETIE<sup>4</sup>, las líneas de transmisión eléctrica de 230 KV, deberán contar con una zona de protección de 30m en total, de 15m a cada lado contando a partir del centro de la torre o poste, para evitar riesgos. Por tanto, los resultados se clasificaron de manera manual en 6 categorías, cada 30m. A los valores de mayor distancia se le asignaron valores de puntuación más alta de influencia humana y viceversa. Ver tabla 8.

Las líneas principales, ramales y líneas de conexión de ductos que transportan petróleo y/o gas, muelles, estaciones de bombeo, embarcaderos, subestaciones e infraestructura asociada, deben tener como mínimo 30m total, 15m a cada lado, de servidumbre o derecho de vía para evitar que se presente algún tipo de riesgo, de conformidad con el art. 9 del código de petróleos (Decreto 1056/1953)<sup>5</sup>. Por tanto, no debe existir ningún tipo de construcción, vivienda o sistemas de producción que pueda generar algún tipo de amenaza.

Teniendo en cuenta lo anterior, se aplicó el método de distancia euclidiana, la cual fue reclasificada de manera manual en 6 categorías, cada 30m. A los valores de mayor distancia se le asignaron valores de puntuación más alta de influencia humana y viceversa. Ver tabla 8.

6. *Asentamientos de cabeceras municipales*: Esta variable hace referencia al área (polígono) ocupada, construida o no construida delimitada en el EOT respectivo, como límite urbano del municipio que hace parte de la cuenca del río Túa. En este caso de los municipios de Monterrey, Villanueva.

A esta variable se le aplica el método de distancia euclidiana de cabeceras municipales al punto de origen más cercano por km. Teniendo en cuenta que Tapia-Armijos *et al* (2017), asigna un radio de impacto de 0.5km (500m), este tipo de

---

<sup>4</sup> Reglamento técnico de instalaciones eléctricas – RETIE. UMPE. Unidad de Planeación Minero Energética.

<sup>5</sup> Anexo A1. Actividad minero energética y su incorporación en los POTS, PBOT y EOT. Guía para la incorporación de la dimensión minero energética en los Planes de ordenamiento territorial municipal. P.155.

asentamiento, se realiza una reclasificación manual en 6 categorías, cada 500m; otorgándole a los valores mayores (mayor distancia), puntuaciones bajas de influencia humana y a los valores de menor distancia, puntuaciones altas de contribución a la huella humana, de acuerdo con Etter *et al* (2011). Ver tabla 8.

7. *Asentamientos de centros poblados*: Esta variable hace referencia a todos los centros poblados, tipo polígono, que hacen parte de los municipios de la cuenca del río Túa y delimitados en el EOT respectivo. Estos son: villacarola, el porvenir, Palonegro, Buenavista.

A esta variable se le aplica el método de distancia euclidiana de centros poblados al punto de origen más cercano por km. Teniendo en cuenta que Tapia-Armijos *et al* (2017), asigna un radio de impacto de 0.25km (250m) a este tipo de asentamientos, y se realiza una reclasificación manual en 6 categorías, cada 250m.

Los valores de contribución a la huella humana se otorgaron de acuerdo con Etter *et al.*, (2011), donde los rangos menores se les asigna valores de 5, es decir de mayor contribución a la huella y los valores más grandes, es decir, distancias mayores, se les asignan valores de 0. Ver tabla 8.

8. *Pozos petroleros*: Esta variable incorpora los pozos petroleros, tipo punto, dentro de la cuenca. Se le aplico el método de distancia euclidiana al pozo petrolero más cercano por km.

Teniendo en cuenta que la influencia de un pozo petrolero (incluyendo las vías de acceso), tiene un impacto directo de 1.09has (Leu *et al.*, 2008) se determinó el radio de acción en 60m.

Se realizó una reclasificación manual cada 60m, donde los valores de distancia más cortos tendrán valores de 5 y los valores o distancias más grandes, tendrán valores de 0, siguiendo las categorías de Etter *et al.*, (2011). Ver tabla 8.

9. *Especies sinantrópicas*: Esta variable expresa el impacto potencial que pueden tener especies introducidas asociados al hombre (perros y gatos), los cuales conviven o comparten espacio en ecosistemas urbanos y/o áreas rurales; y que

matan a la fauna silvestre para fines alimenticios o etológicos (juego), principalmente de aves, mamíferos pequeños, reptiles e insectos silvestres (Kays & DeWan, 2004). De acuerdo con la UICN<sup>6</sup>, Los gatos en libertad en las islas han causado o contribuido a 33 (14%) de las extinciones modernas de aves, mamíferos y reptiles.

Para el análisis, se aplicó la distancia euclidiana de las casas de las fincas, tipo punto, únicamente de las áreas rurales, asumiendo que en todas las fincas tienen por lo menos un perro por seguridad, y/o un gato encargado de mantener al límite los roedores y serpientes, y que entran en conflicto con la fauna silvestre.

Como las fincas de las zonas rurales son tipo punto, se aplicó distancia euclidiana al punto más cercano. Los resultados se reclasificaron de manera manual, en 6 categorías, cada 50m, como valor conservador, ya que de acuerdo con (Kays & DeWan, 2004) el radio de acción de los gatos puede variar entre los 25 y 125m (0,24 y 2,23 has). Ver tabla 8.

- 10. Percepción social de impacto:** Esta variable fue construida producto de los resultados del trabajo de campo con la comunidad del municipio de monterrey, los cuales expresaron la percepción de los impactos ambientales de los principales sectores económicos que hacen uso del suelo en la zona de estudio. Su percepción fue cuantificada de acuerdo a la cantidad de impactos que generaba cada sector de acuerdo con sus experiencias y vivencias cotidianas en el espacio geográfico del municipio de Monterrey Casanare. Ver ilustración 6.

El mapa se construyó teniendo como base el mapa de coberturas y uso del suelo ajustado a 2021, al cual se le asignaron valores de 0 a 5 de acuerdo a los resultados de las tablas de percepción de impacto de la comunidad, donde se les asignaron

---

<sup>6</sup> Medina FM y col. Una revisión global de los impactos de los gatos invasores en los vertebrados insulares en peligro de extinción. *Global Change Biol.* **17**, 3503–3510 (2011).



valores altos a las coberturas que representaban el sector económico al que percibían generaban mayor impacto y viceversa. Ver tabla 8.

- 11. Índice de uso del agua:** Esta variable hace referencia a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo de tiempo t (anual) y en una unidad espacial (subzona hidrográfica) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espacio.

Es la relación porcentual de la demanda de agua en relación a la oferta hídrica disponible.  $IUA = (Dh / OH) * 100$ . Donde Dh: demanda hídrica sectorial que corresponda y OH: oferta hídrica superficial disponible (IDEAM, 2014). Los resultados fueron reclasificados de forma manual en 6 categorías, adaptado de los rangos definidos por el IDEAM para este índice. Ver tabla 8.

- 12. Índice de fragmentación.** Este índice calcula el porcentaje de fragmentación de las coberturas naturales por cada pixel. Donde los valores más altos expresan menor fragmentación y los valores más bajos, mayor fragmentación.

Este mapa utiliza como insumo base, el mapa de coberturas ajustado a 2021, donde se agrupan las coberturas naturales y las coberturas NO naturales. Las coberturas naturales se rasterizan, se asignan valores de 0 a áreas naturales y 1 a las transformada (mapas binarios). El resultado de los mapas binarios se convierte a tipo punto, para posteriormente aplicar el método de densidad.

Para obtener información continua que refleje la distribución de la fragmentación del hábitat en la cuenca, se calculó la proporción de vegetación natural por pixel (8m) utilizando el método de densidad de Kernel. Los resultados de densidad se normalizaron, para posteriormente reclasificar en 6 categorías de 0 a 5, de acuerdo con Etter *et al* 2011. Ver tabla 8.

Los valores de alta densidad de vegetación natural por píxel muestran una baja contribución a la huella humana. Por el contrario, los valores de baja densidad corresponden a áreas con alta fragmentación y por lo tanto una alta contribución a la huella humana.

- 13. Índice de carbono potencial almacenado:** Este mapa hace referencia a la cantidad potencial de carbono aéreo almacenado, que tienen las coberturas de la zona de estudio.

El carbono almacenado se aproximó mediante la siguiente ecuación, propuesta por Pandapotan Situmorang, Sugianto, & Darusman (2016) así:  $Y=204,37(x) - 102,1$ , donde  $x$  es el NDVI de cada pixel y “ $Y$ ” el carbono disponible en toneladas. El carbono se calculó a partir del DNVl porque tienen relación directa.

El NDVI expresa la densidad posible de hojas verdes (IAvH, EAFIT, 2018) es decir, la actividad fotosintética de las coberturas. Los resultados se encuentran en un rango de -1 hasta 1. Donde los valores cercanos a -1 expresan menor actividad fotosintética y los valores cercanos al 1, mayor actividad fotosintética.

El índice de vegetación (NDVI), se calculó bajo la fórmula:  $NDVI=(NIR-VIS)/(NIR+VIS)$ , donde NIR es banda infrarrojo cercano (banda 8 para Imágenes Sentinel 2) y VIS es la banda espectro visible rojo (banda 4 para imágenes Sentinel 2).

Los resultados de carbono potencial almacenado se normalizaron de 0 a 100 y posteriormente se realizó reclasificación de 0 a 5, de acuerdo con Correa Ayram *et al* 2017 Ver tabla 8.

#### **Dimensión temporal: Tiempo de intervención (TI)**

- 14. Tiempo de intervención:** Esta dimensión hace referencia al tiempo (años), en que los paisajes y ecosistemas han sido sujetos a actividades humanas (Etter *et al.*, 2011), ya que considera la intensidad de la intervención, la magnitud de los efectos y por ende a la capacidad de resiliencia de los sistemas naturales (Correa Ayram *et al.*, 2016).

Para el análisis temporal, se usan los mapas de cobertura y uso del suelo de los siguientes años: 2003, 2014, 2018 y 2019 ajustado. Para los fines pertinentes se trabajaron los periodos (2003-2014), (2014 – 2018), (2018-2019).

El Mapa del 2014 fue construido a través de la adquisición de imágenes de satélite e interpretación con resolución de 8m (pixel 8x8m). Como cada uno de los mapas de cobertura y uso del suelo se encuentra en formato vector, se modifica en la tabla de atributos, las coberturas transformadas y no transformadas, asignándole 1 y 0 respectivamente (mapas binarios). El mapa resultado se rasterizó.

Posteriormente, para mapear el tiempo de intervención (TI), seguimos el método presentado por Etter *et al.* (2011) basado en la asignación de años de intervención humana. Los mapas binarios se combinaron para identificar áreas que han estado sujetas a uso histórico. Posteriormente, se suman los años de intervención para obtener IT para cada área (combine). Por ejemplo, a todas las áreas transformadas para 2003 que no fueron transformadas en 2019, se les asignaron 15 años de TI. Las áreas que permanecen sin transformar desde 2003 tienen el TI mínimo de 0 y las áreas que fueron etiquetadas como transformadas en 2003 hasta 2019 tiene un Ti de 16años. Ver ilustración 8.

Ilustración 8. Tiempo de intervención (años) para 2003, 2014, 2018 y 2019

TI.tif								
	OID	Value	Count	TRN 2003	TRN 2014	TRN 2018	TRN 2019	TI
▶	0	1	2570534	0	0	0	0	0
	1	2	222022	0	0	1	0	1
	2	3	339387	1	1	0	0	11
	3	4	1333137	0	0	0	0	1
	4	5	429079	1	1	1	0	15
	5	6	1429568	0	0	1	1	2
	6	7	8907908	1	1	1	1	16
	7	8	476306	1	1	0	1	12
	8	9	92595	0	1	0	0	1
	9	10	70694	0	1	1	0	4
	10	11	719667	0	1	1	1	5
	11	12	71190	0	1	0	1	2
	12	13	5240	1	0	1	1	2
	13	14	649	1	0	0	1	2
	14	15	376	1	0	0	0	1
	15	16	193	1	0	1	0	2

La TI se clasificó en 6 (0 a 5) siguiendo el método de Natural Breaks, asumiendo que un TI más largo puede generar un mayor impacto humano en el paisaje al interactuar con la intensidad del uso del suelo. Ver tabla 9.

### Dimensión: Vulnerabilidad biofísica

Esta dimensión incorpora los siguientes mapas de las siguientes variables:

- 15. Índice de fertilidad del suelo:** Esta variable hace referencia a la productividad de los suelos de la zona de estudio, de acuerdo al orden del suelo que sustentan, de acuerdo con la clasificación de Schaetzl *et al* (2012).

El índice de productividad asume que aquellos menos productivos son más vulnerables a las actividades antrópicas, por tanto, tendrá mayor predisposición a la degradación, y viceversa. Con base en la capa de taxonomía de suelos, se identificó el orden perteneciente y se les asignó el valor de productividad de acuerdo con la tabla 12:

Tabla 12. Índice de productividad del suelo.

ORDEN DE SUELO	INDICE PRODUCTIVIDAD
Histosol	14
Molisol	13
Vertisol	12
Andisol	11
Alfisol	10
Inceptisol	9
Gelisol	8
Spodosol	7
Entisol	6
Aridisol	5
Ultisol	4
Oxisol	3

Fuente: Schaetzl *et al* (2012).

El cálculo del índice de productividad final (IP), se hizo mediante la siguiente ecuación:  $IP_{tot} = (\text{orden suelo1} * \text{proporción orden de suelo1}) + (\text{orden suelo n} * \text{proporción orden de suelo n})$ . Los resultados se rasterizaron y se reclasificaron de 0 a 5, siguiendo a Correa Ayram *et al* (2017). Ver tabla 9.

- 16. Pendientes:** Esta variable es una expresión del relieve de la zona de estudio y otorga valores de pendiente en porcentaje. El mapa se construyó con base en el DEM de 10m de resolución, sobre el cual se determinó el porcentaje y se clasificó

bajo las categorías del IGAC. Posteriormente se reclasificó en 6 categorías de 0 a 5. De acuerdo con Etter *et al.*, (2011). Ver tabla 9.

- 17. Índice de aridez:** Este índice pretende estimar la suficiencia o insuficiencia de precipitación para sostenimiento de los ecosistemas, por tanto, identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial. Por lo mismo tiene relación directa de manera inversa con la variable de disponibilidad de humedad propuesta por Etter *et al* (2011).

El índice de aridez (IA), integra el conjunto de indicadores definidos en el Estudio Nacional del Agua - ENA 2010 (IDEAM) y se calcula bajo la siguiente ecuación:

$IA = ETP - ETR/ETP$ ; donde ETP: evapotranspiración potencial (mm), y ETR: evapotranspiración Real (mm).

Los resultados se rasterizaron, clasificaron según las categorías del IDEAM (2010) y posteriormente se reclasificaron en 6 categorías de 0 a 5. Ver tabla 9.

- 18. Distribución potencial de especies:** La construcción de esta variable inició con el proceso de construir el mapa de riqueza de especies endémicas, raras o dentro de alguna categoría de amenaza para Colombia, se construyó con base en los resultados exclusivamente de las especies muestreadas en campo, realizados por el POMCA TUA (2020).

Con base en el listado de especies determinadas, se verificó: (1) estado de amenaza global y local por UICN, (2) endemismo para Colombia, (3) distribución restringida (especies raras).

Para los fines pertinentes se consultaron las siguientes bases de datos:

<https://www.iucnredlist.org/search?query=Attila%20spadiceus&searchType=species>

<https://acictios.org/listado-de-peces-de-agua-dulce-de-colombia/>

[https://ipt.biodiversidad.co/sib/resource?r=ictiofauna\\_colombiana\\_dulceacuicola](https://ipt.biodiversidad.co/sib/resource?r=ictiofauna_colombiana_dulceacuicola)

<https://zookeys.pensoft.net/articles.php?id=13897>

<https://ebird.org/species/scnpar1/CO>

Los resultados no arrojaron la información esperada, y no fue posible procesarla.

Para los fines pertinentes, la única forma posible de acercarse a los objetivos, fue a través de la distribución potencial de idoneidad de especies dentro de alguna categoría de amenaza con la que contaba el POMCA. Las especies analizadas fueron: (1) *Leopardus tigrinus* y (2) *Pristimantis savagei*.

Los polígonos de las zonas de presencia de las especies mencionadas se rasterizaron y asignaron valor de 0 a 1, de acuerdo a la presencia o ausencia. A los pixeles con presencia se les asignó valor 1 y viceversa. Se reclasifico categoría de 5 a los pixeles con presencia de alguna de las especies y 0 a la ausencia de ellas. Ver tabla 9.

Para el análisis de los datos de todas las variables de análisis, se trabajaron a resolución espacial de pixeles de 8x8m, solo para algunos casos las capas son de 10x10m, y para toda operacionalización y salidas graficas se usó el software ArcGIS 10.3.

#### IV. Aplicación de Cálculos

- **Huella espacial humana**

El cálculo del índice de huella espacial ajustada a paisajes locales (IHEHL) para el cumplimiento del objetivo 1, fue estimada usando dos (2) dimensiones: intensidad de uso del suelo y tiempo de intervención, de las tres (3) propuestas por Etter *et al.*, (2011), así:

$$LHFI = \frac{(F_{int} + F_{time}) \times 100}{\sum (F_{int} max + F_{time} max)}$$

Donde  $F_{int}$  es la intensidad de uso del suelo y  $F_{time}$  es el tiempo de intervención humana sobre los ecosistemas. Estas dos dimensiones fueron estimadas como sigue:

$$F_{int} = PD + DRC + DRP + DSU + DSR + LU + BE + EI + HP + SP + IUA + CSI + FI + SPD$$

$$F_{time} = TI$$

Donde:

1. Densidad población rural: PD
2. Distancia a vías 1-5: DRC
3. Distancia-costo vías 6 a 7: DRP
4. Distancia asentamientos pueblos urbanos: DSU
5. Distancia asentamientos pueblos rurales: DSR
6. Uso del suelo: LU
7. Ambientes construidos: BE
8. Infraestructura energética EI
9. Pozos hidrocarburos: HP
10. Percepción humana: SP
11. Índice de uso del agua: IUA
12. Índice almacenamiento carbono: CSI
13. Índice de fragmentación: FI
14. Distancia de depredadores sinantrópicos: SPD
15. Tiempo de intervención: TI

Todas las variables, fueron reescaladas entre 0 y 5 para reflejar su relativa contribución al impacto de la transformación humana. Ver tabla 8.

Los resultados son posteriormente normalizados a través de herramientas de geoprocésamiento en ArcGis 10.5, con la función *Rescale By Function*.

Los resultados normalizados se reclasificaron y categorizaron por el método manual, de acuerdo con la clasificación de acuerdo con Correa Ayram *et al* (2020) así:

Natural sin huella; 0-15; Huella baja: 15 – 40; Huella media: 40-60 y Huella alta: >60.

- **Huella espacial humana con vulnerabilidad biofísica**

Para calcular la huella espacial humana con vulnerabilidad biofísica, se hace indispensable calcular el índice de vulnerabilidad biofísica, bajo la premisa que los paisajes y ecosistemas responden de manera diferente a los disturbios humanos dependiendo de las características intrínsecas biofísicas de los mismos, los cuales tienen que ver con las condiciones climáticas, el relieve y los tipos de suelo (Hobbs and McIntyre, 2005; Turner

*et al.*, 2003). Respuesta que a su vez dependerá de la capacidad de resiliencia específica del sistema.

La presente investigación, en el objetivo 2, pretende evaluar cómo se comportan la huella humana de cuenca del río Túa a la diversidad y temporalidad de los impactos acumulados (previamente calculados en el objetivo 1), después de incorporar la vulnerabilidad biofísica de la misma. De esta forma se evidenciará la pertinencia e importancia de incorporar o no la dimensión de vulnerabilidad biofísica al índice de huella humana.

Es importante aclarar, que el concepto de vulnerabilidad que tiene en cuenta esta investigación, hace referencia a la degradación sobre el cual un sistema puede sufrir daño debido a la exposición del uso del suelo por actividad humana (Turner *et al.*, 2003). Hobbs & McIntyre usan el término sensibilidad a la disfunción ecológica, el cual está asociado al concepto de vulnerabilidad.

Una vez cuantificada la huella espacial humana incorporando la vulnerabilidad biofísica de la cuenca, será posible acercarse a dimensionar el daño ambiental sufrido en un sistema natural. El índice de vulnerabilidad se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$F_{vul} = SF + SP + IA + VU$$

Donde:

1. Fertilidad del suelo: SF
2. Pendiente en porcentaje (%): SP
3. Índice de aridez: IA
4. Distribución potencial de idoneidad de especies dentro de alguna categoría de amenaza por la UICN: VU

La ejecución de la ecuación se realizó en el software ARCGIS 10.3, corriendo la función de *Raster calculator* de *Map algebra*, donde se realiza la adición de los mapas de las variables previamente re-escaladas. Los resultados deberán mostrar valores máximos de 20 y mínimos de 0, en formato ráster.

Para el análisis exclusivamente del índice de vulnerabilidad (Ivul) se efectúa el tratamiento de normalización, el cual consiste en transformar los valores resultado, en porcentaje; es



decir reescalarlos de 0 a 100, bajo un método lineal. Se realiza a través de correr la función *Reescale by function*, de la opción *Reclass* de la pestaña herramientas de análisis espacial. Es importante resaltar que, el  $F_{vul}$ , se aplicara solamente en aquellas celdas donde el uso de la tierra y los impactos extendidos de la infraestructura habían ocurrido, según lo indicado por el Índice de Intensidad del Uso de la Tierra ( $F_{int}$ ) y el Índice de Tiempo de Intervención ( $F_{time}$ ).

Finalmente, la ecuación utilizada para determinar la huella espacial humana total en paisajes locales incorporando las tres (3) dimensiones, fue la siguiente:

$$F_{tot} = (F_{int} + F_{time} + F_{vuln}) * 100 / \sum (F_{int} \max + F_{time} \times \max + F_{vuln} \max)$$

Los valores más altos de la huella humana total fueron localizados donde los valores más altos de los tres mapas coinciden. La huella humana total provee detalles de los patrones variables de los impactos, con contrastes regionales contrastantes (Etter et al., 2011). Los resultados fueron normalizados de acuerdo con Correa Ayram *et al.*, 2020.

Estos resultados permitirán evidenciar principalmente: (1) las áreas de la cuenca del río Túa que tiene la mayor acumulación de impactos humanos y que además presentan mayor vulnerabilidad biofísica, lo que los convierte en las áreas más susceptibles, más degradadas y posiblemente en estado de daño. (2) áreas de la cuenca que presentan huella humana media o baja y una vez que se incorpora la vulnerabilidad biofísica, exhibe áreas con valores de huella alta.

Sobre la base de la comprensión que los sistemas naturales deben ser abordados desde una visión sistémica e integral, una vez que sobre el territorio operan agentes biofísicos y socio-económicos de manera simultánea y que a su vez tienen efectos sinérgicos; se hace necesario analizar si estos resultados sistémicos son coherentes con los instrumentos de planificación del territorio a escalas locales, donde se pueden tomar acciones directas de corto y mediano plazo para la resolución de conflictos, armonización de relaciones y salvaguardar los bienes y servicios ecosistémicos de los cuales depende el sistema social y económica local y regional.

## V. Correspondencia del POMCA

Para evaluar la correspondencia de los instrumentos de planificación, en este caso el POMCA de la cuenca del Río Túa con los resultados de huella espacial humana, se procedió a:

1. Revisar el documento técnico resultado de la fase de prospectiva y zonificación del POMCA del Río Túa 2020.
2. Revisar la cartografía de la zonificación ambiental de la cuenca del río Túa
3. Revisar la reglamentación y ordenación de la cuenca del río Túa
4. Comparar y analizar las categorías de ordenación y áreas de uso y manejo del POMCA con los resultados del mapa de huella humana con vulnerabilidad

La comparación de los resultados cartográficos mencionados, se realizó a través de las herramientas espaciales de ArcGIS 10.3, pestaña *local* en la función *Combine*. La cual tiene el objetivo de combinar los polígonos del mapa en formato vector con los pixeles del mapa en formato raster. Sobre el mapa resultado se recalcularon las áreas de cada fila a través de *raster calculator*.

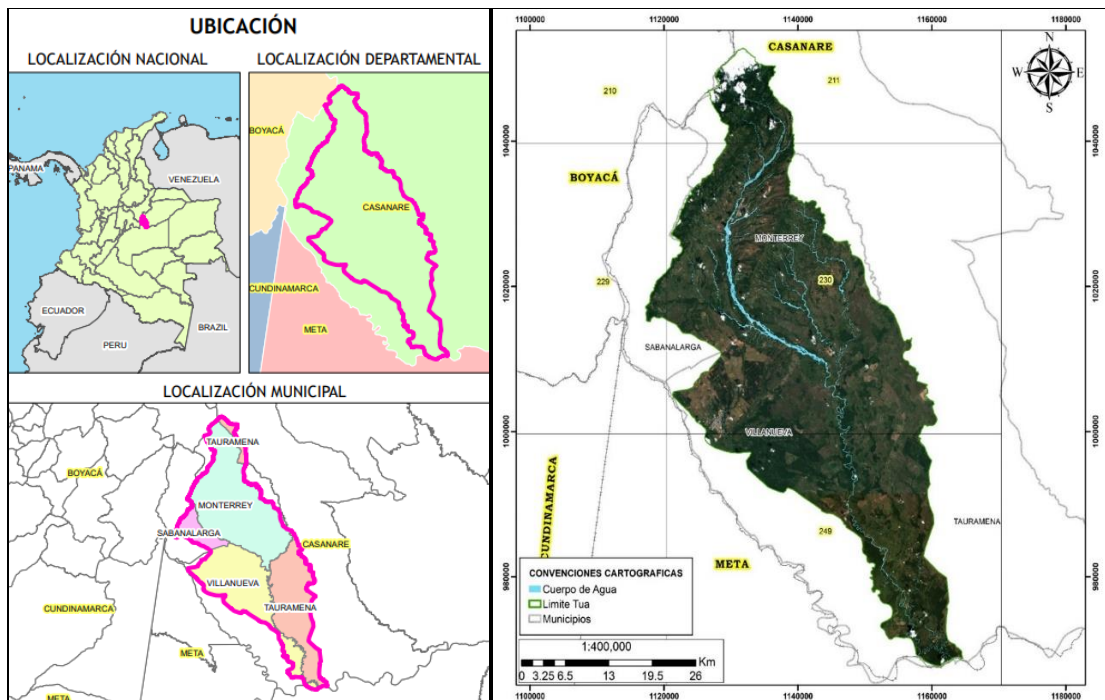
De manera adicional y para complementar los análisis, en el menú de *Geoprocessing*, selecciono la función *Intersect*. Esta función tiene el objetivo de sobreponer mapas en formato vector. Por lo mismo, para este caso los resultados en formato raster de la huella espacial humana normalizada y reescalada, se convirtió a tipo vector a través de las siguientes funciones: *Conversión Tools, From Raster, Raster to Polygon*.

La tabla de resultado, se exporto a Excel con el propósito de construir tablas dinámicas para el análisis detallado comparativo de cada una de las capas.

## 4. Marco contextual

La cuenca del río Túa, se encuentra ubicada al oriente colombiano y al sur del departamento de Casanare (Ver ilustración 7) en las coordenadas  $5^{\circ}03'30''$  latitud norte y  $72^{\circ}55'00''$  de longitud oeste en su nacimiento y  $4^{\circ}18'40.041$  latitud norte y  $72^{\circ}37'2.299''$  longitud oeste en su confluencia con el Río Meta. Nace en los límites con el departamento de Boyacá entre el cerro Pabellón y la Cuchilla Palmichal y desemboca en el Río Meta, cuenta con zonas de alta montaña con pendientes fuertes, zonas de piedemonte, cañones estrechos y valles de máxima amplitud con cauces dendríticos en la parte alta y meándricos en las zonas medias y bajas.

Ilustración 9. Localización de la zona de estudio.



Fuente: Consorcio POMCA Túa 18, página 1408

El río se desarrolla inicialmente con una dirección N45°E, a lo largo del límite Tauramena – Monterrey, posteriormente cambia su rumbo N40°W hasta las cercanías de la vereda Villa Carola en el municipio de Monterrey, desde acá hasta la Vereda Rosales, presenta una dirección N50°E, finalmente hasta su desembocadura en el río Meta a lo largo del límite municipal entre Monterrey y Tauramena, evidencia un rumbo N15°S.

La cuenca circula por los municipios de Monterrey, Villanueva, Sabanalarga y Tauramena; teniendo los dos primeros sus centros urbanos dentro del límite del área de estudio. El municipio con mayor participación es Monterrey, con una representatividad del 40,77% del área total, seguido de Villanueva y Tauramena con un 27,69% y 26% respectivamente, mientras que el municipio de Sabanalarga es el municipio con menor participación en área dentro de la cuenca, con solo el 5,53% del área total de la cuenca del río Túa (Ver tabla 12).

Ilustración 10. Municipios y participación en la cuenca del río Túa.

Departamento	Municipio	Área total del municipio (ha)	Área incluida en cuenca (ha)	% área cuenca en municipio	% área municipio en cuenca
CASANARE	Monterrey	77917,2475	68011,1457	40,77%	87,29%
	Sabanalarga	40094,2049	9227,8083	5,54%	25,02%
	Tauramena	238167,2879	43374,0803	26,00%	18,21%
	Villanueva	81623,6419	46189,4829	27,69%	56,59%

Fuente: Consorcio POMCA Túa 18, Pág.129

Dentro de la cuenca del río Túa, se encuentran un total de once (11) asentamientos, de los cuales dos (2) son cabeceras municipales, que corresponden a los asentamientos de Monterrey, y Villanueva siete de ellos se encuentran dentro del municipio de Monterrey, La tabla 13, muestra en detalle los asentamientos que se encuentran dentro de la zona de estudio.

Ilustración 11. Asentamientos dentro de la cuenca del río Túa

Departamento	Municipio	Asentamiento	Tipo de asentamiento	Área
Casanare	Monterrey	Monterrey	Cabecera municipal	615,8001
		Brisas De Llano	Cabecera inspección de policía	13,8522
		El Porvenir	Cabecera inspección de policía	7,3906
		La Estrella	Centro poblado	19,6356
		La Horqueta	Centro poblado	10,4255
		Palonegro	Cabecera inspección de policía	4,6590
		Villa Carola	Cabecera inspección de policía	16,0146

Departamento	Municipio	Asentamiento	Tipo de asentamiento	Área
	Sabanalarga	Aguaclara	Cabecera inspección de policía	36,9988
	Villanueva	Villanueva	Cabecera municipal	372,0287
		San Agustín	Cabecera inspección de policía	29,4211
		Caribayona	Centro poblado	17,2765

Fuente: Consorcio POMCA Túa 18, Pág.131

La elevación topográfica de la cuenca del río Túa varía desde 2483 m.s.n.m entre el cerro Pabellón y la Cuchilla Palmichal hasta los 165 m.s.n.m en su desembocadura en el Río Meta. Cuenta con zonas de alta montaña con pendientes fuertes, zonas de piedemonte, cañones estrechos y valles de máxima amplitud con cauces dendríticos en la parte alta y meándricos en las zonas medias y bajas.

La cuenca del Río Túa debido a su ubicación geográfica, se ve afectada por la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) la cual determina las propiedades físicas de la atmósfera que definen el tiempo y el clima. La humedad relativa del área de estudio presenta un promedio de 75% de humedad en el aire, que se encuentra dentro del rango caracterizado a nivel nacional que para este sector del Orinoco está entre 75% y 85% de humedad relativa. Así mismo, se han registrado valores mínimos inferiores a 65% de humedad relativa y superiores al 80% de humedad.

La cuenca tiene una precipitación promedio de 2901,39 mm/año, con valores mínimos de 2600 y máximos de 3046.67 mm/año. A nivel mensual tiene un comportamiento unimodal para el periodo de 1985 a 2017, con un régimen de lluvias que inicia en el mes de abril y se extiende hasta noviembre, con valores máximos para el mes de mayo. Los valores con menor cantidad de lluvia mensual acumulada son enero, febrero y diciembre.

La temperatura media para la cuenca del río Túa, registrada por la red de estaciones meteorológicas muestra que el promedio de esta variable es aproximadamente 25,18 °C, presentándose temperaturas medias máximas de 28 °C y medias mínimas de 20 °C.

La cuenca cubre un total de 166802,5172 Has, tiene un recorrido aproximado de 160,9 Km y está conformada por 28 unidades hidrográficas de nivel I, (Consorcio POMCA río Túa 18) como se relacionan a continuación en la tabla 13:

Tabla 13. Unidades hidrográficas de nivel I de la cuenca del río Túa.

Nivel Subsiguiente NSS	Unidad Hidrográfica Nivel I (UHN-I)	Orden	Longitud de Drenaje (Km)	Área UHN-I (Km <sup>2</sup> )	Densidad de Drenaje (Km/km <sup>2</sup> )	Patrón de Drenaje	Índice Sinuosidad	Patrón de Alineamiento
Río Túa y otros directos al Meta-MI (3518-01)	Río Túa Parte Baja	7	166,03	161,896 2	1,026	Patrón enrejado reticular	1,368	Trenzado
	Caño Piñalito	4	257,95	141,025 3	1,829	Patrón enrejado reticular	1,387	Trenzado
	Caño El Huesero (Caño La Pradera)	5	258,34	128,553 2	2,010	Patrón enrejado reticular con características dendríticas al nacimiento	1,276	Trenzado
	Río Tacuyá	3	76,16	42,0431	1,812	Patrón subparalelo	1,676	Meándrico o Serpenteado
	Río Los Hoyos	6	1071,75	268,073 7	3,998	Patrón dendrítico	1,497	Trenzado
	Caño Grande	4	123,99	31,9742	3,878	Patrón subdendrítico	1,160	Rectilíneo
	Caño Garrabalero	4	27,86	8,6614	3,216	Patrón paralelo	1,273	Trenzado
	Quebrada La Suertana	4	32,57	8,083	4,029	Patrón subdendrítico	1,241	Trenzado
	Río Túa Parte Alta	5	226,71	64,2507	3,529	Patrón subdendrítico tendiendo a Paralelo	1,112	Rectilíneo
	Quebrada Casical	4	50,86	22,7533	2,235	Patrón subdendrítico	1,411	Trenzado
	Quebrada La Pescana	4	106,83	31,9973	3,339	Patrón subdendrítico	1,201	Trenzado
	Quebrada Tigrana y Quebrada La Calabacera	4	98,97	25,397	3,897	Patrón subdendrítico	1,274	Trenzado
	Quebrada Volcanera	4	35,01	7,8102	4,483	Patrón subparalelo	1,158	Rectilíneo
	Caño el muerto	3	25,18	7,8063	3,226	Patrón subparalelo	1,246	Trenzado
	Caño Tigre	5	51,95	13,7069	3,790	Patrón subdendrítico	1,218	Trenzado
	Quebrada La Honda	5	61,07	16,6776	3,662	Patrón subdendrítico	1,150	Rectilíneo
	Quebrada La Nuya	5	552,97	156,263 1	3,539	Patrón subdendrítico en nacimientos y Subparalelos	1,347	Trenzado
Caño Flor Amarillo	5	199,05	152,072	1,309	Patrón subdendrítico en nacimientos y	1,235	Trenzado	

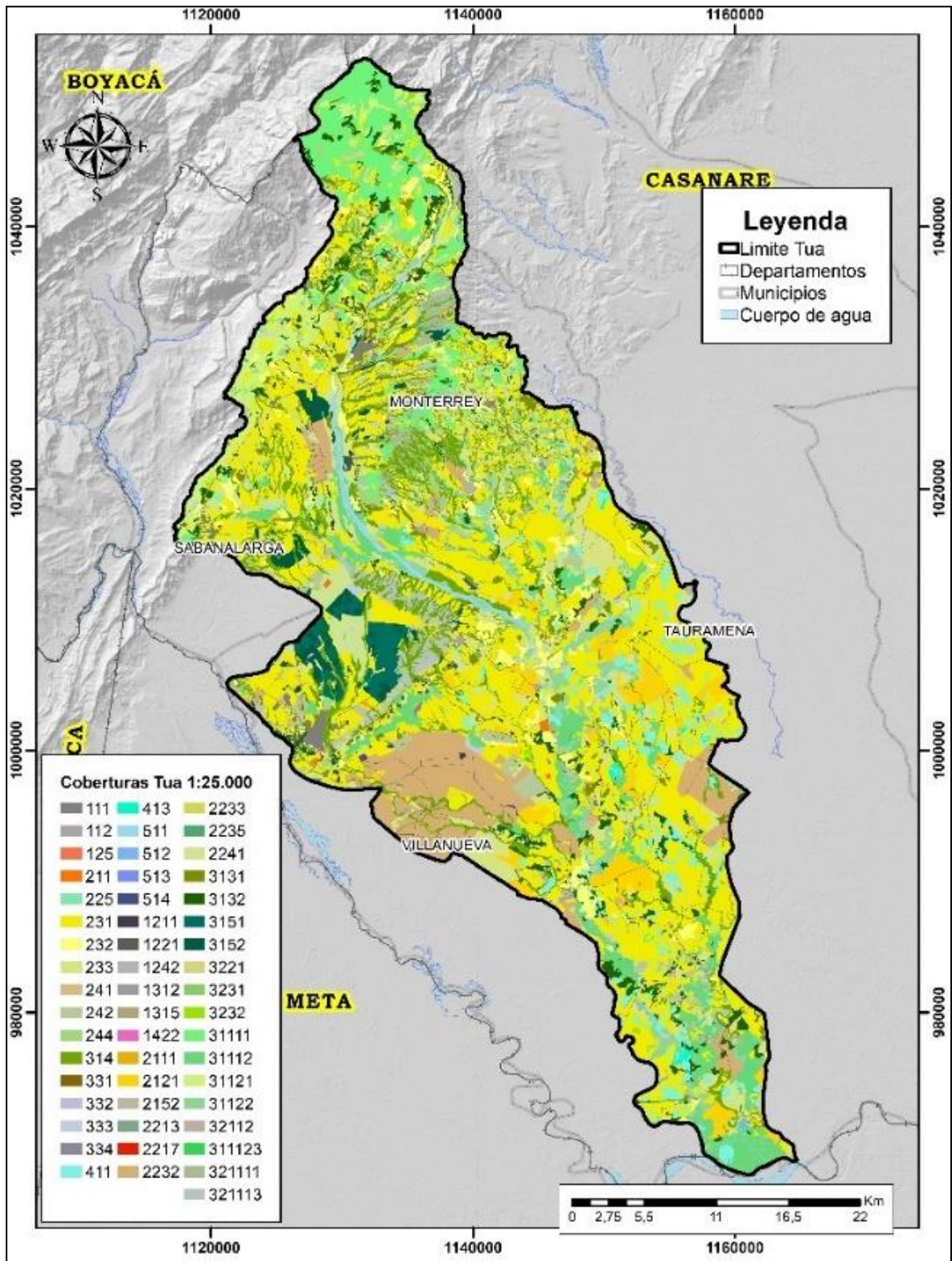
Nivel Subsiguiente NSS	Unidad Hidrográfica Nivel I (UHN-I)	Orden	Longitud de Drenaje (Km)	Área UHN-I (Km <sup>2</sup> )	Densidad de Drenaje (Km/km <sup>2</sup> )	Patrón de Drenaje	Índice Sinuosidad	Patrón de Alineamiento
						Subparalelos en descarga		
	Caño Cururupá	3	64,29	48,7633	1,318	Patrón subparalelo	1,118	Rectilíneo
	Río Túa Parte Media Baja	7	267,60	102,573 1	2,609	Patrón subdendrítrico en nacimientos y Subparalelos en descarga	1,240	Trenzado
	Río Túa Parte Media	6	291,15	56,2555	5,176	Patrón subdendrítrico en los nacimientos y Subparalelos en descarga	1,100	Rectilíneo
	Caño Aguablanca	3	10,38	3,0107	3,448	Patrón paralelo	1,165	Rectilíneo
	Caño seco	4	29,66	6,9955	4,241	Patrón subparalelo	1,029	Rectilíneo
	Caño Guamo	4	57,12	14,3709	3,974	Patrón subdendrítrico	1,119	Rectilíneo
	Directo al Río Túa Parte Media	2	8,22	2,1814	3,767	Patrón paralelo	1,085	Rectilíneo
	Quebrada la Garrapata	3	17,64	7,6955	2,292	Patrón subdendrítrico	1,250	Trenzado
	Quebrada Guadalajara	3	11,98	3,3819	3,543	Patrón subdendrítrico	1,240	Trenzado
	Caño El Suanero (Caño Suana)	6	266,40	133,752 7	1,992	Patrón subdendrítrico	1,130	Rectilíneo

Fuente: Consorcio POMCA Túa 18, Pág.131

Las coberturas actuales de la tierra para la cuenca del río Túa, se clasificaron teniendo en cuenta la metodología de CORINE LAND COVER, generando un mapa con un total de cincuenta y dos (52) unidades de cobertura de la tierra, determinadas hasta el nivel más específico (4).

La distribución espacial se relaciona en la ilustración 12 y la proporción de participación de cada cobertura en el área total de la cuenca, se relacionan en la tabla 14.

Ilustración 12. Coberturas de la cuenca del río Túa, en nivel de clasificación 4.



Fuente: Consorcio POMCA Túa 18, pág 1423.



Tabla 14. Coberturas de la cuenca del río Túa.

NOMENCLATURA	COBERTURA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
111	Tejido Urbano Continuo	710,374	0,426
112	Tejido Urbano Discontinuo	286,550	0,172
125	Obras hidráulicas	5,188	0,003
211	Otros cultivos transitorios	159,123	0,095
225	Cultivos confinados	14,039	0,008
231	Pastos limpios	51329,936	30,773
232	Pastos arbolados	5925,812	3,553
233	Pastos enmalezados	16442,768	9,858
241	Mosaico de cultivos	88,451	0,053
242	Mosaico de pastos y cultivos	3022,138	1,812
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	3053,106	1,830
314	Bosque de galería y ripario	13943,214	8,359
331	Zonas arenosas naturales	20,980	0,013
332	Afloramientos rocosos	2,455	0,001
333	Tierras desnudas y degradadas	1385,912	0,831
334	Zonas quemadas	102,688	0,062
411	Zonas pantanosas	4984,671	2,988
413	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	330,921	0,198
511	Ríos	3742,508	2,244
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	247,361	0,148
513	Canales	12,473	0,007
514	Cuerpos de agua artificiales	454,132	0,272
1211	Zonas industriales	51,868	0,031
1221	Red vial y terrenos asociados	1526,939	0,915
1242	Aeropuerto sin infraestructura asociada	6,961	0,004
1312	Explotación de hidrocarburos	112,688	0,068
1315	Explotación de materiales de construcción	12,369	0,007
1422	Áreas deportivas	14,287	0,009

NOMENCLATURA	COBERTURA	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
2111	Piña	34,815	0,021
2121	Arroz	4582,277	2,747
2152	Yuca	15,497	0,009
2213	Plátano y banano	101,957	0,061
2217	Sábila	11,508	0,007
2232	Palma de aceite	10907,654	6,539
2233	Cítricos	2,820	0,002
2235	Aguacate	26,378	0,016
2241	Pastos y árboles plantados	1435,196	0,860
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3693,692	2,214
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	5300,847	3,178
3151	Plantación de coníferas	1939,379	1,163
3152	Plantación de latifoliadas	2100,500	1,259
3221	Arbustal denso	407,917	0,245
3231	Vegetación secundaria alta	75,061	0,045
3232	Vegetación secundaria baja	291,249	0,175
31111	Bosque denso alto de tierra firme	8964,209	5,374
31112	Bosque denso alto inundable	8865,562	5,315
31121	Bosque denso bajo de tierra firme	3100,110	1,859
31122	Bosque denso bajo inundable	3248,893	1,948
32112	Herbazal denso inundable	201,371	0,121
311123	Palmares	19,686	0,012
321111	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	1346,436	0,807
321113	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	2139,591	1,283
Total		166802,518	100

Fuente: Consorcio POMCA río Túa 18.

Con base en la tabla 14, se puede evidenciar que la cuenca presenta una dominancia de coberturas en pastos, ocupando en conjunto el 44,184% del área total, lo cual demuestra una orientación de tipo ganadero respecto al uso del suelo y actividad económica.

En cuanto al aspecto agrícola, el área ocupada por cultivos de palma de aceite y arroz es significativa dentro de la cuenca y se distribuye principalmente en los municipios de Villanueva y Tauramena, correspondiendo a grandes extensiones de monocultivos en las zonas de menor pendiente.

Con respecto a las áreas con cobertura natural o seminatural, destacan las unidades de Bosque de galería y ripario, bosque denso alto de tierra firme, bosque denso alto inundable y bosque fragmentado con vegetación secundaria, ocupando en conjunto el 22,226% del área total. Estas coberturas se concentran principalmente en el municipio de Monterrey, para el caso del bosque denso alto de tierra firme y en los municipios de Tauramena y Villanueva (CONSORCIO POMCA TUA 18, 2020).

## 5. Resultados

### 5.1 Huella espacial Humana

El mapeo de la presión humana es importante para comprender el papel de la humanidad en la configuración de los patrones y procesos de la tierra (Williams *et al.*, (2020) para identificar ecosistemas en riesgo, identificar y monitorear ecosistemas aún intactos, evaluar la diversidad de presiones humanas en el espacio, afinar las medidas de estimación de especies en riesgo de extinción, entre otras, además que otorga información de calidad, cuantitativa y espacial para apoyar decisiones desde política global hasta orientar la toma de decisiones y acciones para planificación regional y local para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que sustenta.

Los resultados más recientes sobre la huella humana global, fueron producidos por Williams *et al.*, (2020a), usando como datos de presión humana: (1) extensión de ambientes construidos, (2) densidad de población, (3) infraestructura eléctrica, (4) cultivos, (5) pastizales, (6) carreteras, (7) vías férreas y (8) vías navegables. Los autores concluyeron que el 58% del planeta están bajo presión humana moderada o intensa, el 42% podría considerarse relativamente libre de perturbaciones antropogénicas directas, de las cuales el 16% son tierras intactas y el 25% podría clasificarse como 'desierto' (el extremo menos degradado del espectro de la huella humana).

Según Williams *et al.*, (2020), entre el 2000 y 2013, 1,9 millones de km<sup>2</sup> (un área del tamaño de México) de tierra relativamente libre de perturbaciones humanas se modificó considerablemente. La mayor parte de esto ocurrió dentro de los ecosistemas de pastizales, sabanas y matorrales tropicales y subtropicales que perdieron 11,3% de su área intacta entre 2000 y 2013. Esto es congruente con los estudios del gobierno de

Australia donde se registran las últimas sabanas intactas en el norte del país austral (Australian Government, 2015) y en los Llanos de Colombia en la región de la Orinoquia (Williams, Grantham, et al., 2020), que están sufriendo las mismas pérdidas que ocurrieron en lugares, como el Cerrado de Brasil (Strassburg *et al.*, 2017).

Los resultados de huella humana para Colombia, construidos por Etter *et al.*, (2011), afirman que el 35% de la superficie terrestre total de Colombia tienen huella humana superior a 40 (huella de media a alta). El análisis regional arrojó que los índices de huella más altos fueron concentrados en la región andina, interandina (Catatumbo y Magdalena) y regiones del Caribe donde más del 50% del área exhibe una clase de huella > 50. En la región andina, la huella fue más alta en el rango de altitud 1000-2500 m donde la mayoría de la población y los asentamientos están concentrados.

En contraste, en regiones de las tierras bajas y menos pobladas del Amazonas y el Orinoco, más del 80% de la superficie terrestre tiene valores de huella espacial por debajo de 20 (huella baja a sin huella). Por su lado, Corredor *et al* (2020), encontró que el Índice de Huella Humana Ajustado (LHFI) aumentó un 50% entre 1970 y 2015 y las áreas naturales se redujeron a menos de la mitad del territorio nacional, aunque la variación es alta entre las regiones.

Correa Ayram *et al* (2020), respaldan los resultados de Etter *et al* (2011), ya que afirma que las regiones Caribe y Andina, que tienen las densidades de población más altas, mostraron el grado más alto de LHFI, mientras que las regiones más grandes con densidades de población más bajas (Amazonia, Orinoco y Pacífico, con densidades de 5 a 17 personas / km<sup>2</sup> -Etter *et al.* 2011), tienen más áreas naturales y valores de LHFI más bajos.

Según Correa Ayram *et al.*, (2020), en el centro de la región del Orinoco se mostró persistencia del impacto humano intermedio (categoría PIHI). Algunas de estas áreas están actualmente asociadas con frentes de deforestación (por ejemplo, a lo largo del piedemonte de la Cordillera Oriental: piedemonte andino-Orinoco y andino-amazónico). Las áreas que permanecieron en categoría de alto impacto (PHHI) corresponden al 7,2% y se concentran en áreas con producción agrícola y ganadera, como el piedemonte andino-Orinoco.

Cuando el análisis se realiza a nivel de ecosistema, se evidencia que los bosques tropicales secos, Bosques tropicales subhúmedos y bosques Montano tropical (Andino),

tienen más del 50% de su área con valores de huella grandes superiores a 50 (Huella alta). En contraste, los bosques húmedos tropicales, bosques aluviales, desiertos y matorrales, y las sabanas tenían más del 50% de su área con valores de huella por debajo de 20 (Huella baja) (Etter *et al.*, 2011).

La tasa de transformación de sabanas tropicales alcanza las 100.000 ha/año (Etter *et al.* 2011) en (Etter, Andrade, et al., 2017). Según Correa Ayram *et al* (2020). Los puntos de mayor transformación humana en el Orinoco, se presentaron en ecosistemas del pie de monte llanero, en el departamento de Casanare, que además alberga ecosistemas en peligro crítico (CR) y estado vulnerable (VU), de acuerdo con la lista roja de ecosistemas amenazados de la UICN.

Esta situación tiene profundas implicaciones para la supervivencia de la biodiversidad, especialmente para especies en peligro de extinción y para las personas que dependen de los servicios que brinda el funcionamiento los ecosistemas intactos (Williams, Venter, et al., 2020).

Con base en los hitos descritos anteriormente, en relación a la transformación para Colombia, para la región del Orinoco, para los llanos orientales y en especial para sistemas naturales de piedemonte y sabanas naturales; se hizo necesario cuantificar el impacto humano acumulado en paisajes locales, a escala detallada, específicamente al sur del departamento de Casanare, destacado por experimentar fuertes y rápidos procesos de transformación y sustentar relictos de ecosistemas de sabana, ecosistemas en peligro vulnerable y crítico de colapso ecosistémico.

La cuenca del Río Túa es un territorio representativo de la diversidad y variedad de ecosistemas del Casanare, producto de la heterogeneidad de sus características biofísicas. La cuenca tiene un gradiente altitudinal que va desde los 165 m.s.n.m hasta los 2500 aproximadamente; se encuentra configurado de paisajes con ecosistemas de bosques húmedos y muy húmedos de montaña, lomerío, piedemonte, terrazas hasta sabanas en piedemonte, sabana de desborde en llanura aluvial y sabana inundable, incluso vegetación de pantano, humedales o esteros permanentes y temporales. Cuenta con temperaturas promedio de 15°C, precipitaciones medias de 2900mm/año y el cuerpo

de agua del río Túa cuenta con un recorrido de 160km desde el nacimiento en la zona montañosa hasta la desembocadura en el río meta en la llanura aluvial.

### 5.1.1 Mapas de influencia humana en la cuenca del río Túa

A continuación, se relacionan los productos (mapas) de las variables de influencia humana que se espacializaron para la cuenca del río Túa. Las variables se construyeron a través de operaciones y procesos espaciales que se describen en la ilustración 8.

#### Dimensión: Intensidad De Uso Del Suelo

1. Densidad de la población Rural en la cuenca del Río Túa: Este mapa nos muestra que la cuenca presenta densidades medias a bajas de población rural, siendo en Villanueva, Tauramena y Sabanalarga las que cuentan con densidades más altas (entre 7 y 15 habitantes por km<sup>2</sup>). Ver ilustración 13.

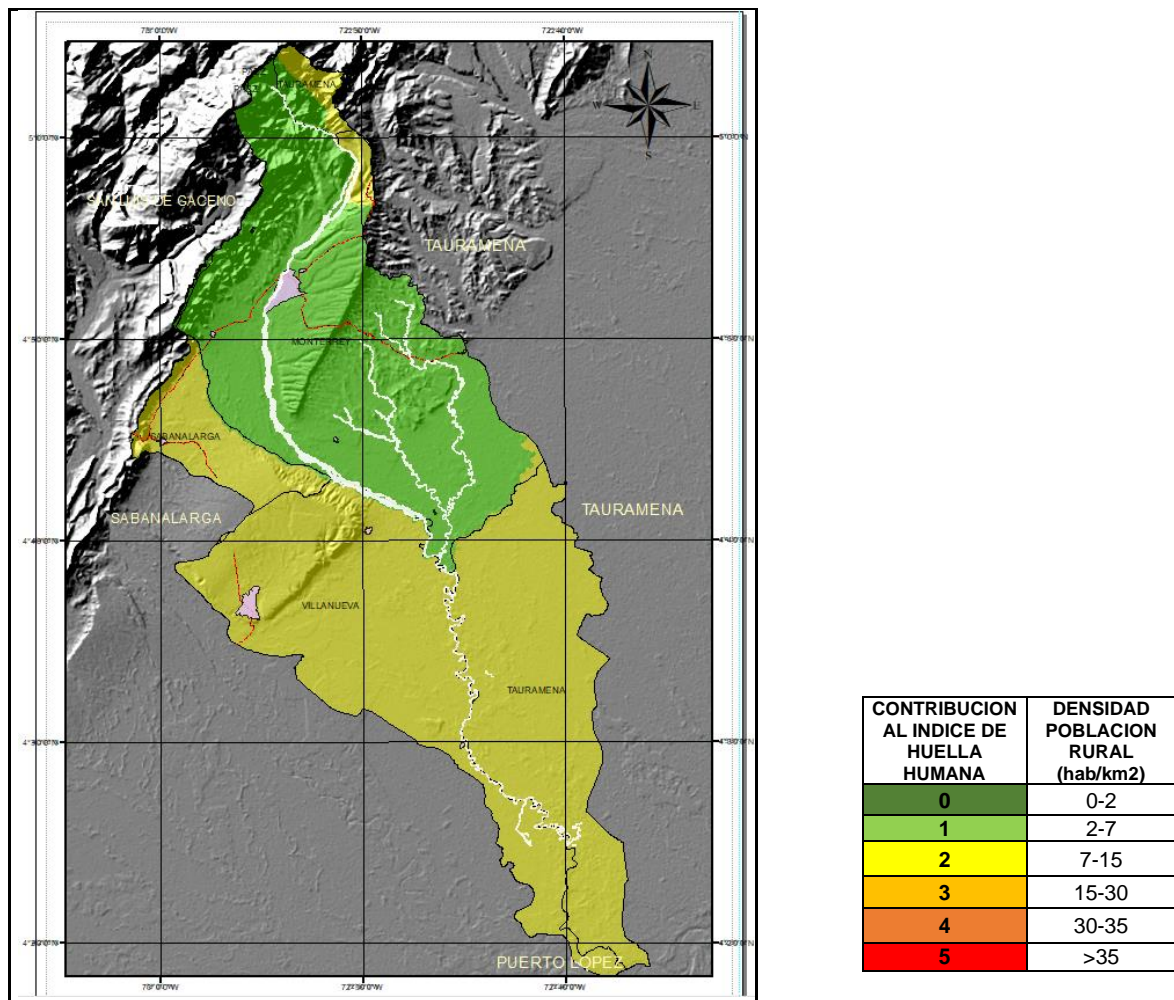


Ilustración 13. Densidad Población Rural Cuenca del Río Túa.

2. Distancia de vías tipo 1 a 5 en la cuenca del Río Túa

Este mapa evidencia la influencia que tienen las vías carreteables sobre las áreas adyacentes, así como la distribución espacial a lo largo de la misma. Esta variable es un indicador acertado del impacto directo e indirecto sobre el territorio, donde las áreas más cercanas a las vías tienen mayor huella humana y de manera gradual, las áreas más alejadas menor huella humana. Ver ilustración 14.

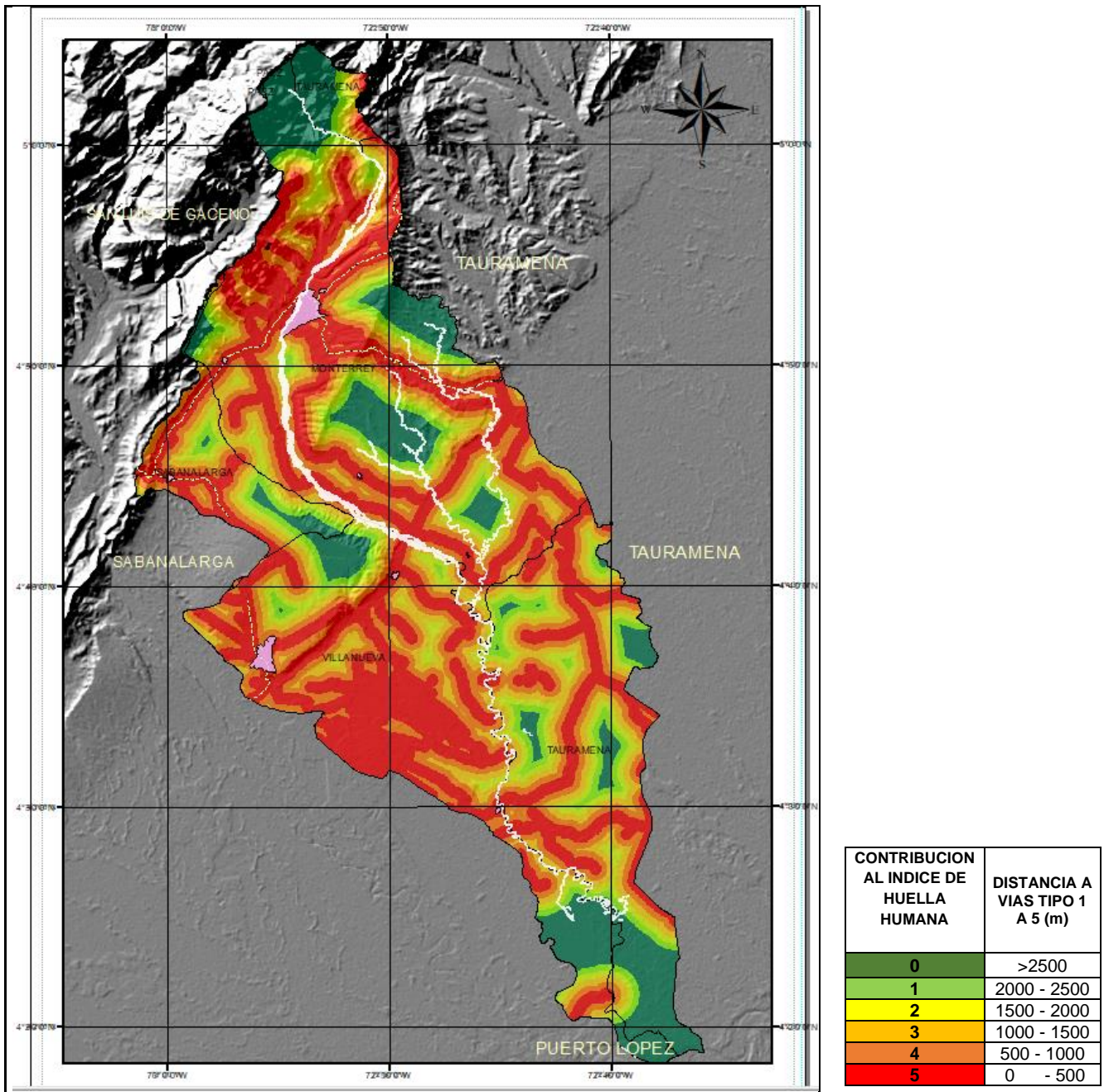


Ilustración 14. Distancia a vías tipo 1 a 5 en la cuenca del Río Túa



3. Distancia-costo de acceso de vías tipo 6 a 7 en la cuenca de Río Túa

Este mapa relaciona la alta influencia de las vías tipo 6 y 7 (vía natural, camino, sendero); la cual está dada por el costo de acceso humano a pie, el cual depende de la topografía. Se evidencia que las zonas con mayor pendiente, mayor costo, disminuyen el acceso humano a los sistemas naturales (colores verdes) y las zonas con menor pendiente, menor costo, incrementan el acceso humano (colores rojos). Ver ilustración 15.

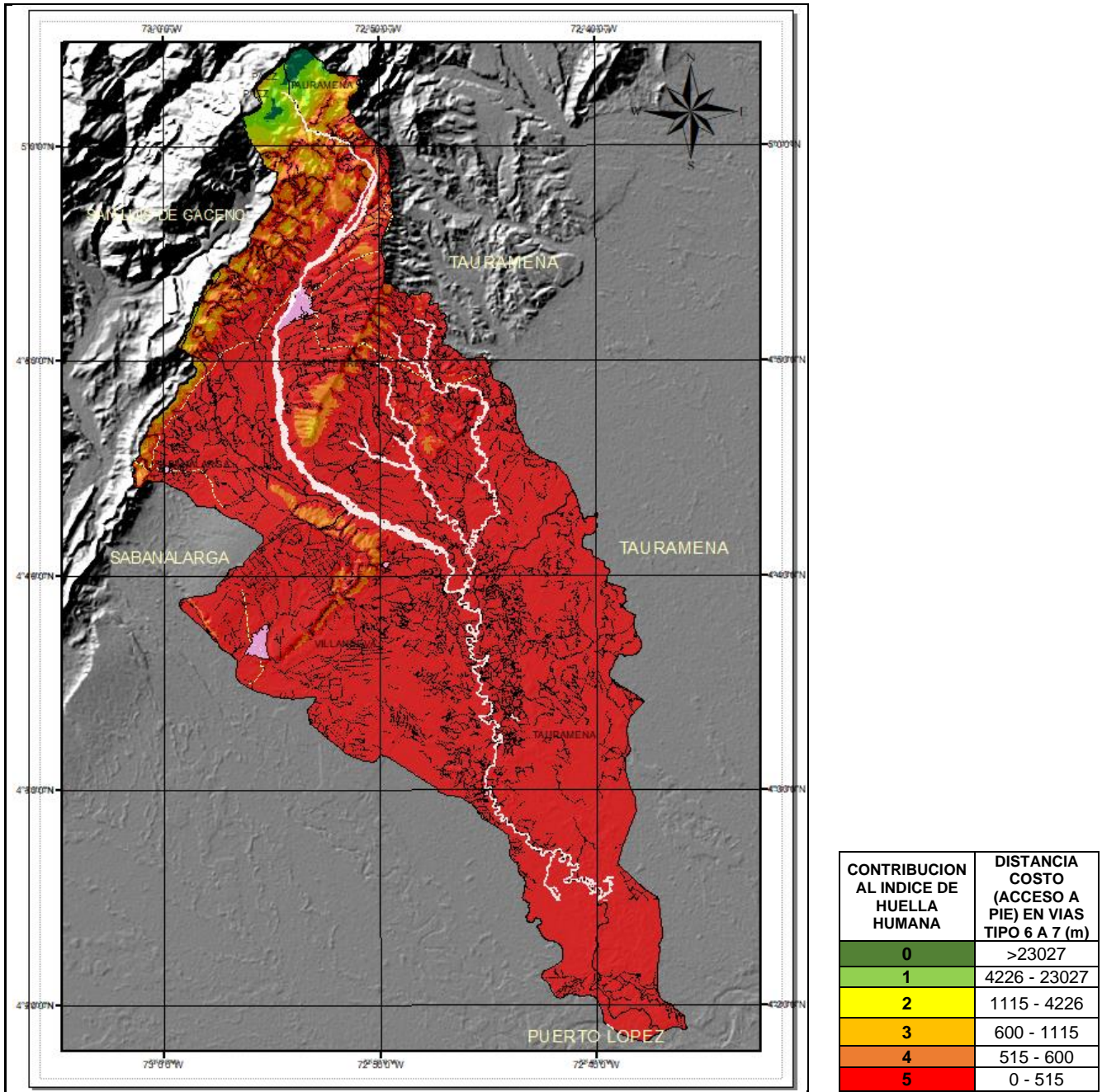


Ilustración 15. Distancia-costo de acceso de vías tipo 6 a 7 en la cuenca de Río Túa

4. Distancia de asentamientos de cabeceras municipales en la cuenca del Río Túa

El mapa muestra la influencia de los asentamientos de las cabeceras municipales sobre el territorio, donde las áreas más cercanas (menor distancia) a los asentamientos tienen mayor influencia humana y las áreas con mayor distancia de los asentamientos, representan menor influencia (colores verdes). Ver ilustración 16.

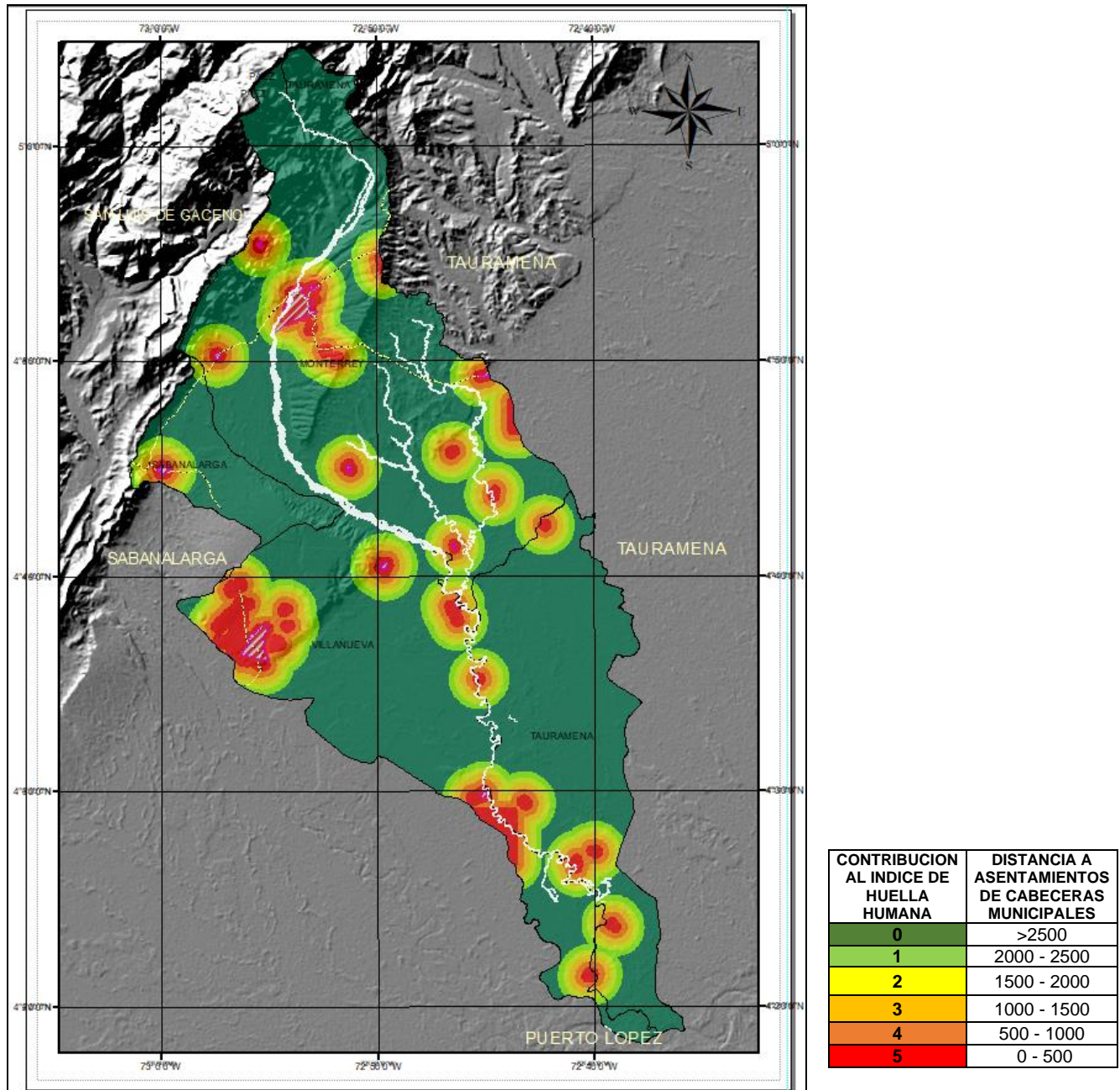


Ilustración 16. Distancia a asentamientos de cabeceras municipales en la cuenca del Río Túa



5. Distancia de asentamientos de Centros Poblados en la cuenca del Río Túa

El mapa muestra la influencia de los centros poblados rurales sobre el territorio, donde las áreas con menor distancia a los asentamientos representan mayor influencia, y las áreas con mayor distancia, menor influencia. Ver ilustración 17.

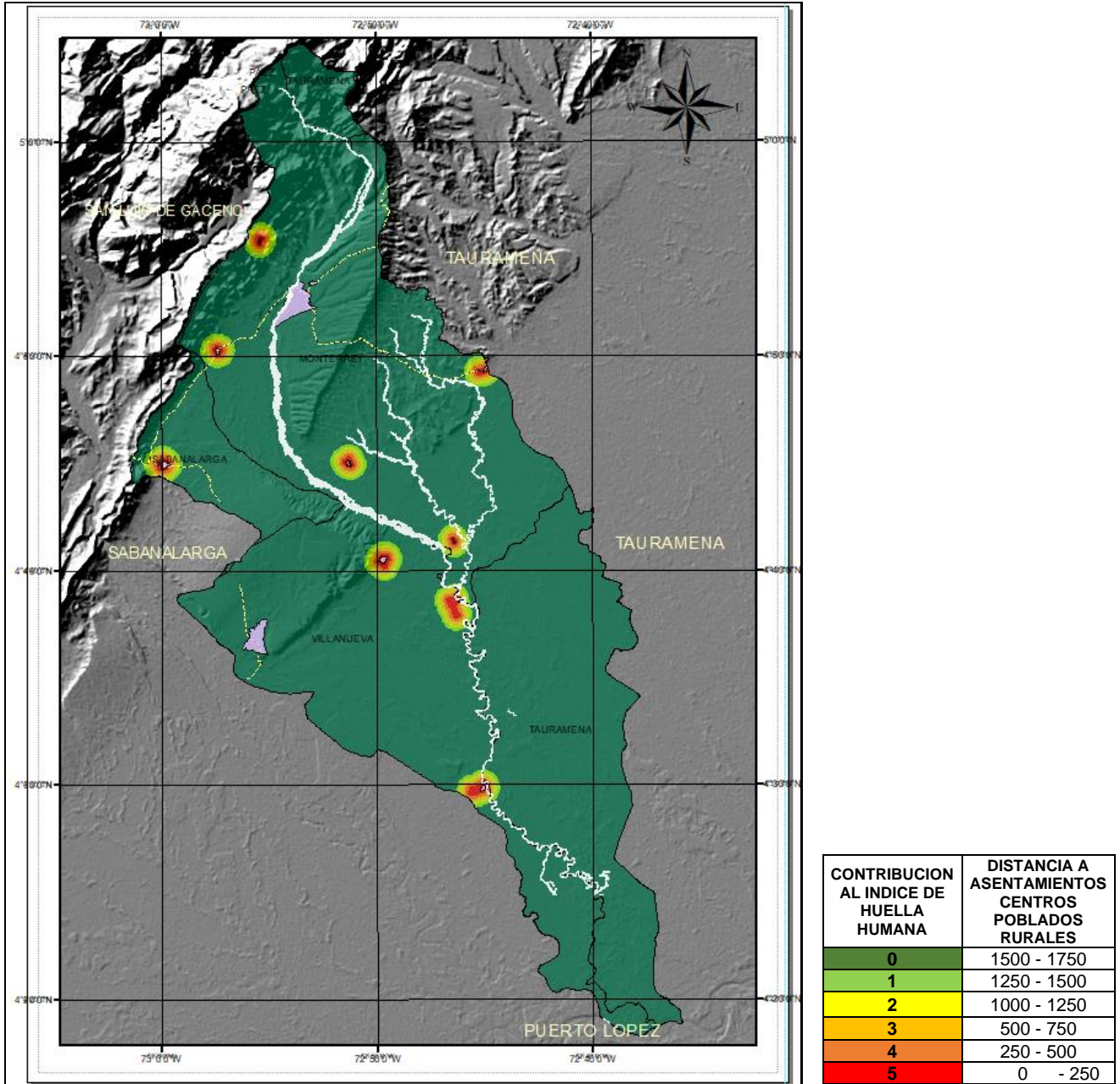


Ilustración 17. Distancia a asentamientos de Centros Poblados en la cuenca del Río Túa

6. Cobertura y Uso del suelo en la cuenca de Río Túa

Este mapa relaciona los usos del suelo que representan mayor o menor influencia humana, teniendo en cuenta la naturalidad de sus coberturas. Las áreas más naturales representan baja influencia humana (colores verdes) y las áreas más intervenidas mayor influencia (colores naranjas y rojos). Estas últimas las más dominante en la cuenca. Ver ilustración 18.

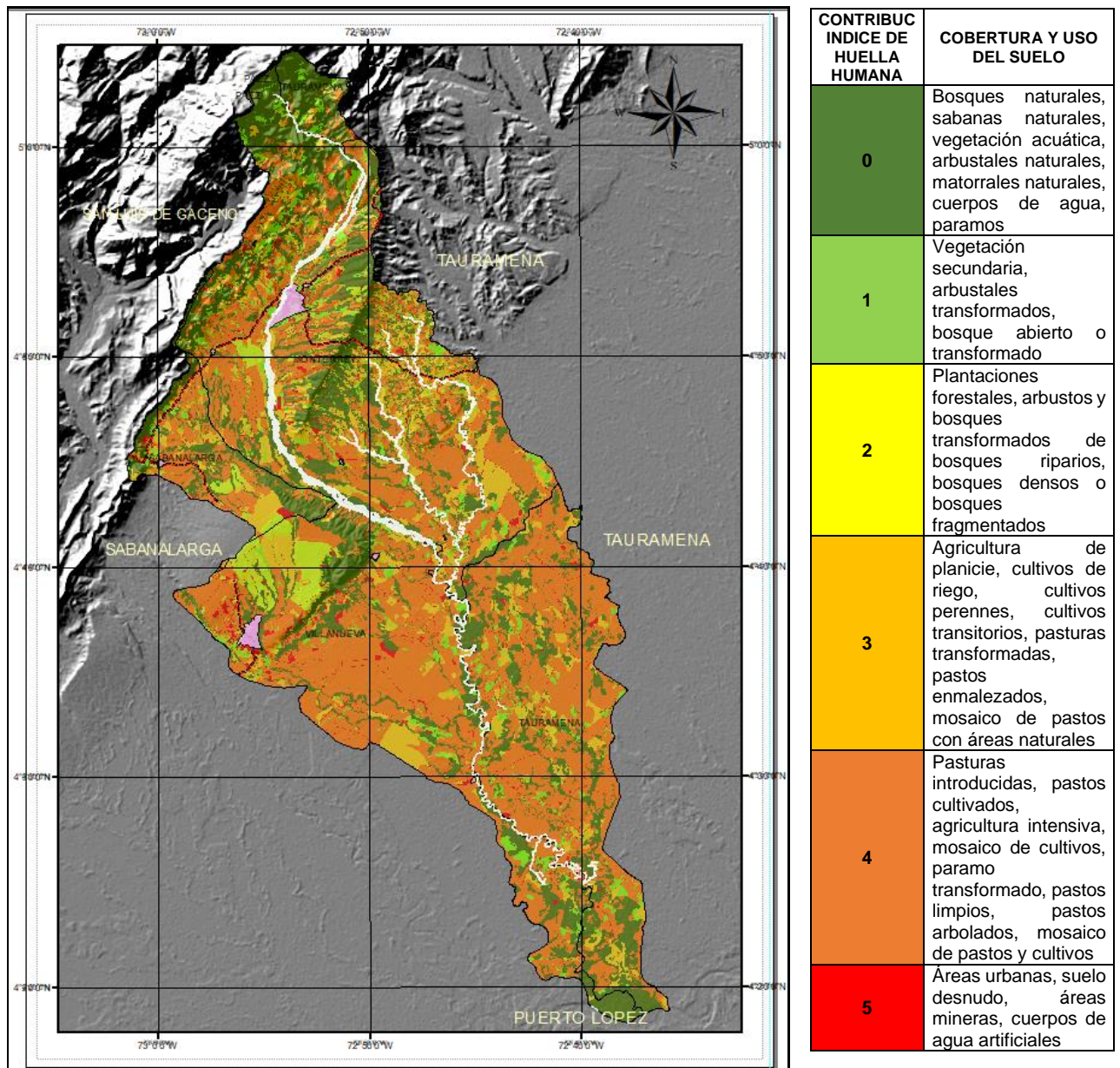


Ilustración 18. Cobertura y Uso del suelo en la cuenca de Río Túa



7. Índice de Fragmentación de la cuenca del Río Túa

Este mapa muestra espacialmente la baja proporción de vegetación natural continua (por pixel de 8m) para la cuenca. Los valores altos de densidad, representan menor fragmentación (color verde) y los valores menores, mayor fragmentación (color rojo). Ver ilustración 19.

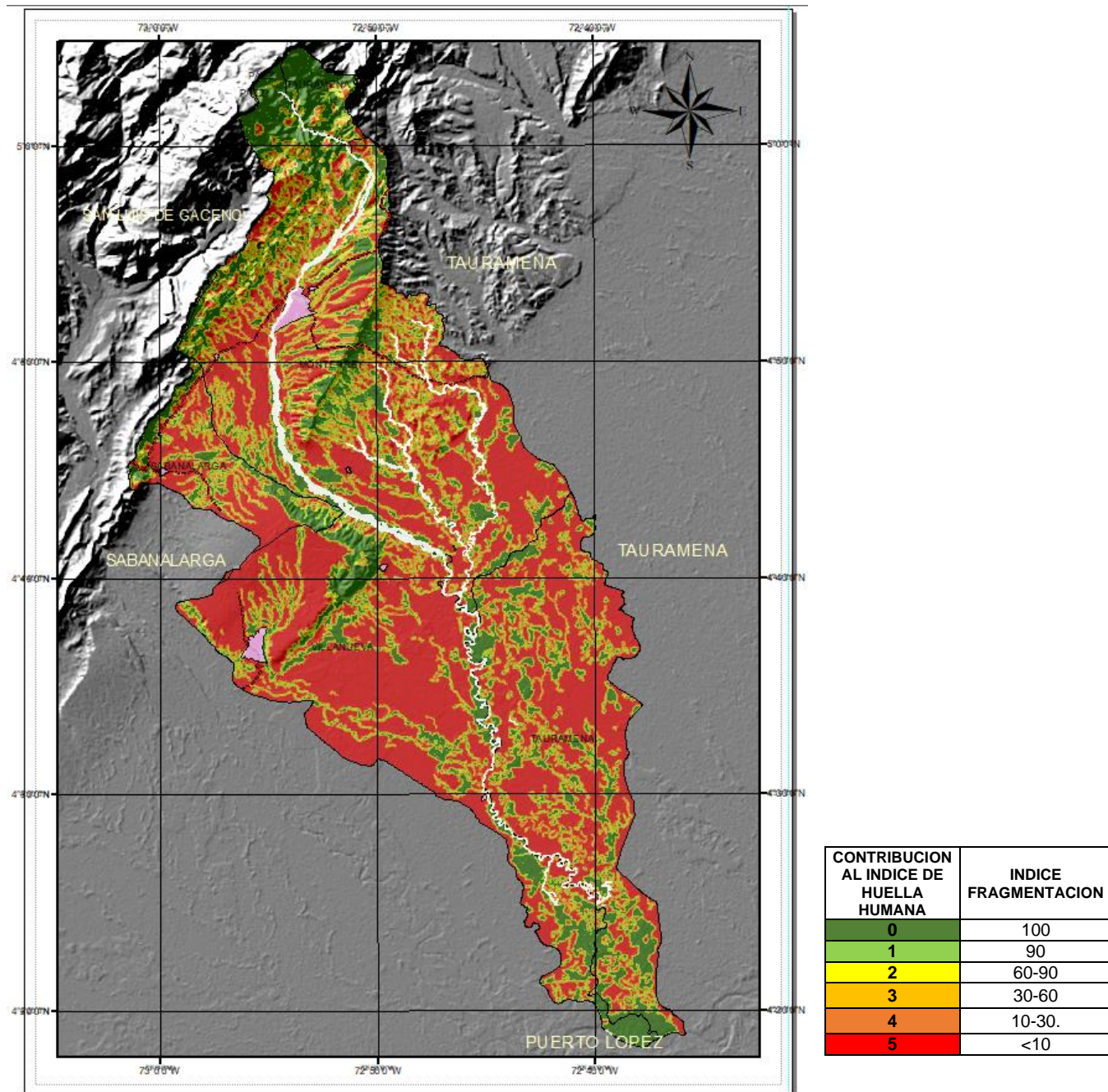


Ilustración 19. Índice de Fragmentación de la cuenca del Río Túa

8. Índice de almacenamiento potencial de Carbono

Este mapa evidencia las escasas áreas dentro de la cuenca que se encuentran almacenando carbono aéreo en sus coberturas, lo que expresa la regular calidad de coberturas naturales aún existentes, lo que hace inferencia a la alta influencia humana. Ver ilustración 20.

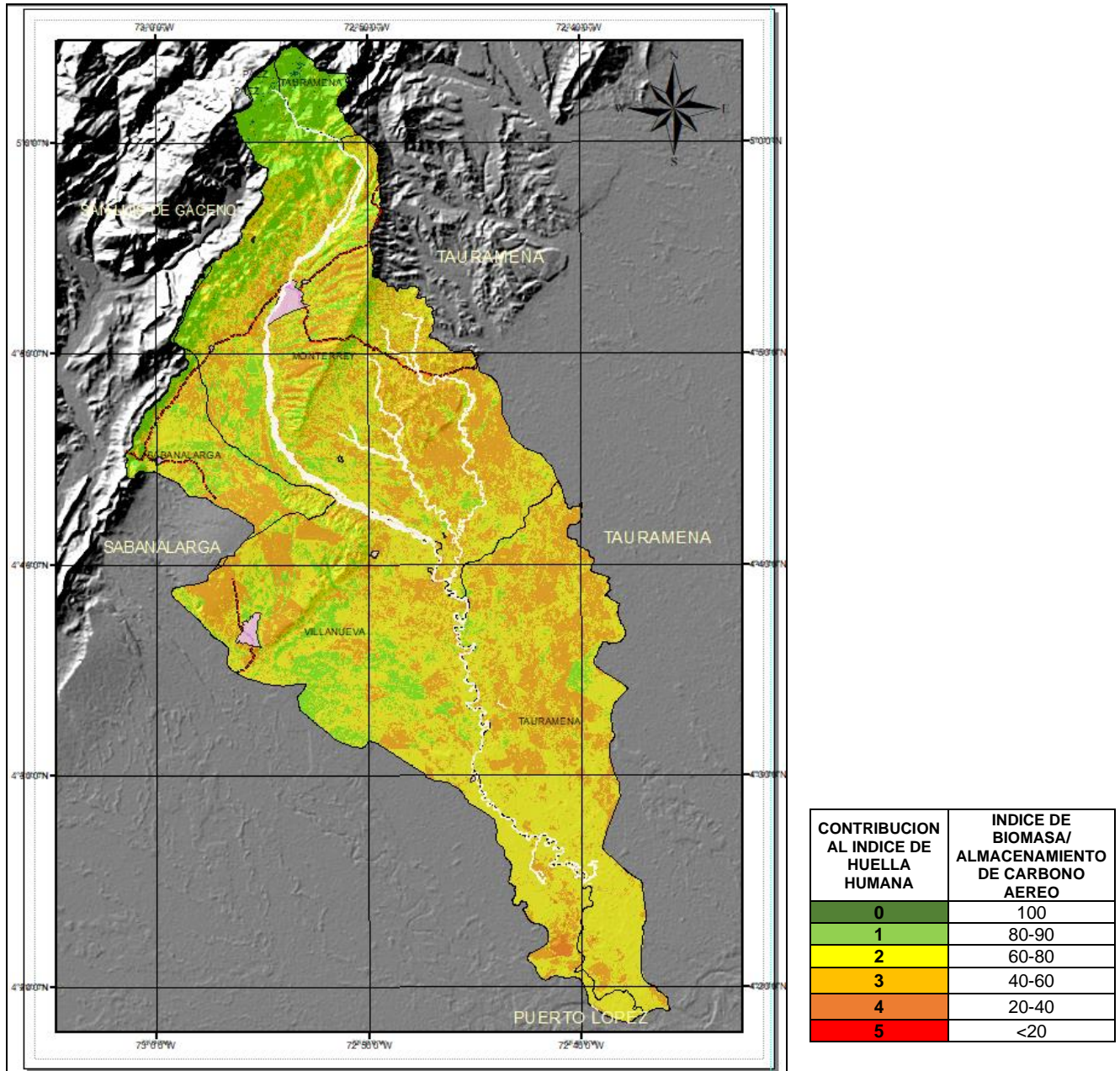


Ilustración 20. Índice de almacenamiento potencial de Carbono



9. Distancia de Infraestructura energética en la cuenca de Río Túa

Este mapa evidencia la influencia espacial poliductos y redes de energía eléctrica de alta tensión dentro de la cuenca, las cuales fragmentan el territorio de norte a sur y de oriente a occidente. La influencia humana solamente tiene que ver con el impacto directo de las estructuras, donde a mayor distancia menor influencia y a menor distancia mayor influencia humana sobre el territorio aledaño. Ver ilustración 21.

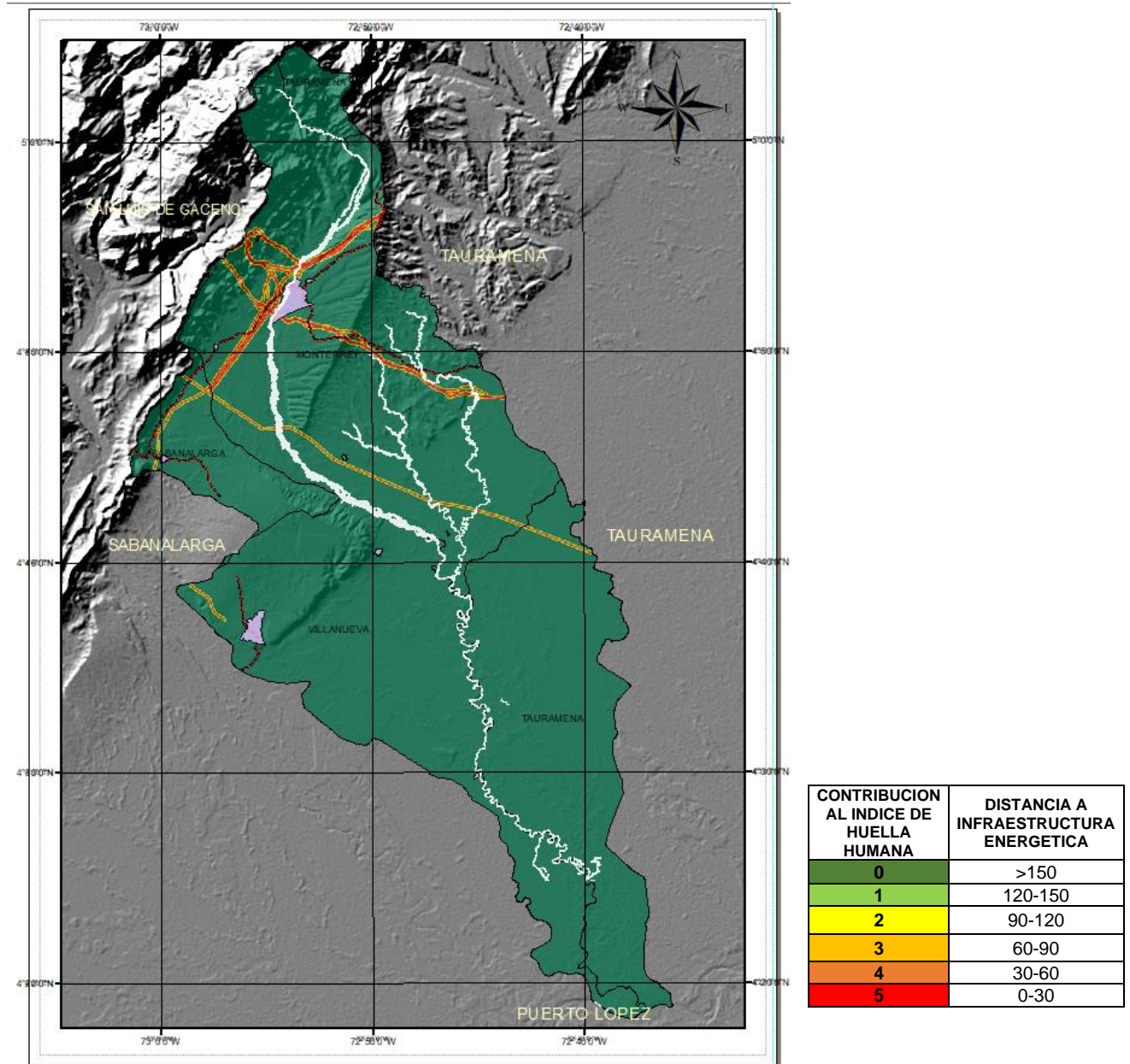


Ilustración 21. Distancia de Infraestructura energética en la cuenca de Río Túa

### 10. Densidad de ambiente construido en la cuenca del Río Túa

Este mapa muestra el patrón de distribución de la densidad de construcciones humanas (de tipo recreacional, habitacional, de defensa, educativo, religioso, agropecuario) a lo largo de la cuenca. A mayor densidad (concentración) de construcciones, mayor influencia humana, la cual orienta una relación con vías tipo 1. Ver ilustración 22.

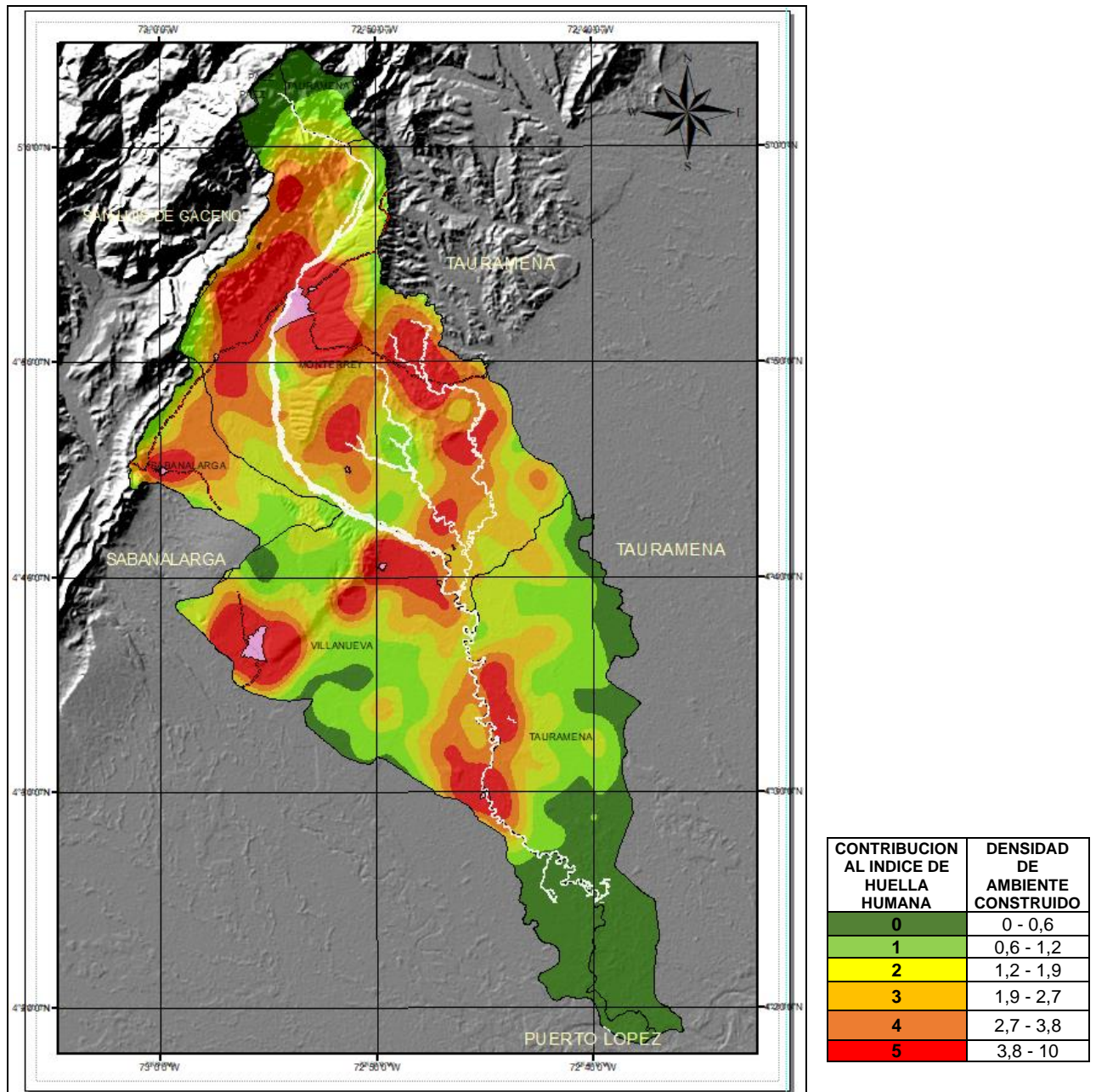


Ilustración 22. Densidad de ambiente construido en la cuenca del Río Túa



11. Distancia de pozos de extracción de Hidrocarburos en la cuenca del Río Túa  
 Este mapa señala la localización y la baja influencia humana directa de los pozos de explotación de hidrocarburos dentro de la cuenca; donde a mayor distancia de los pozos menor influencia y a menor distancia mayor influencia humana sobre el territorio. Ilustración 23.

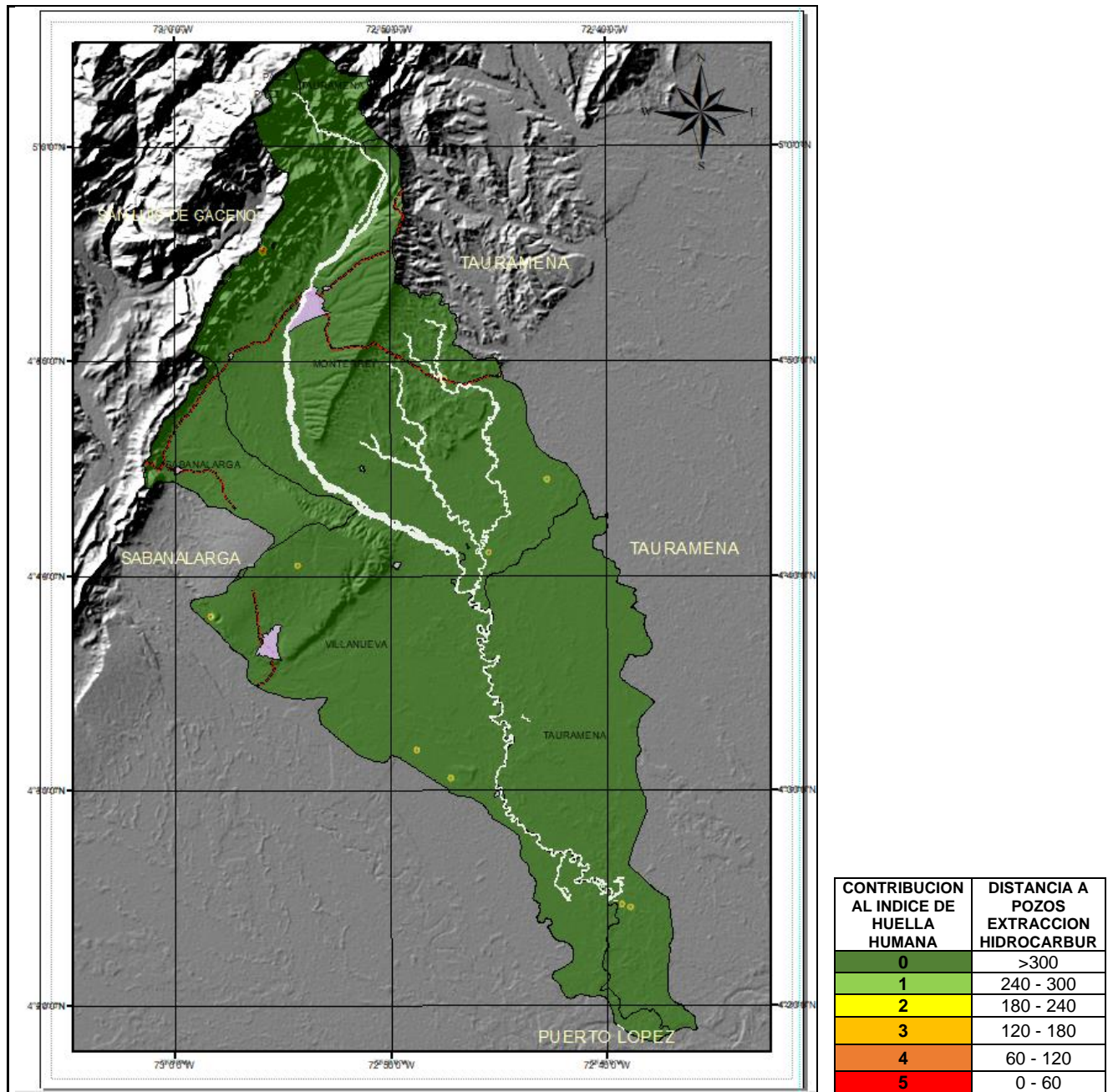


Ilustración 23. Distancia de pozos de extracción de Hidrocarburos en la cuenca del Río Túa

12. Distancia de influencia de depredadores sinantrópicos en la cuenca del Río Túa  
 Este mapa evidencia el área de influencia potencial de depredación de especies sinantrópicas sobre la fauna nativa, que facilitan los hogares rurales (fincas); así como los patrones de concentración de la influencia a lo largo de la cuenca. Ver ilustración 24.

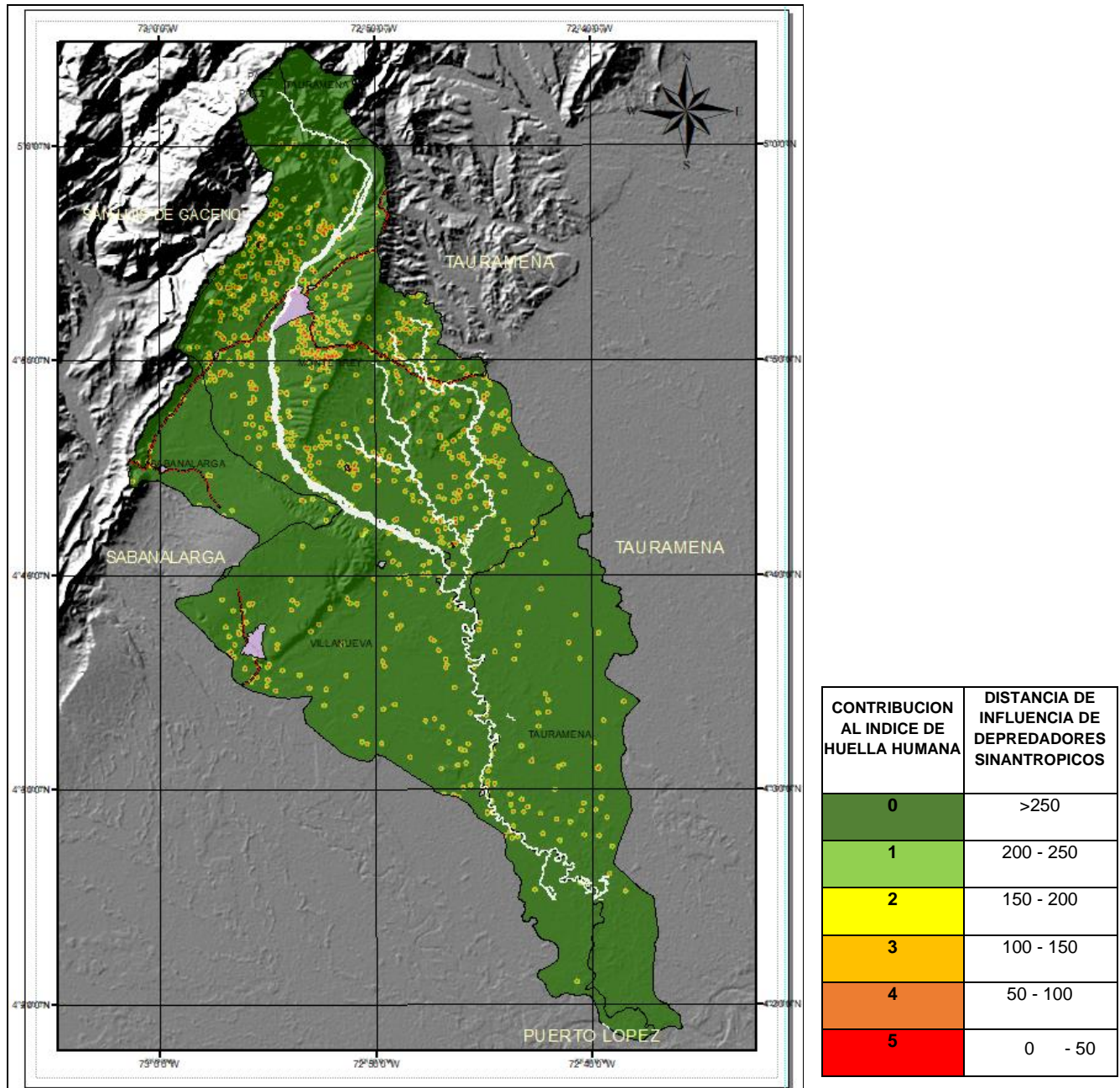


Ilustración 24. Distancia de influencia de depredadores sinantrópicos en la cuenca del Río Túa



13. Percepción social de impacto en la cuenca del Río Túa

Se evidencia en este mapa la espacialización de la percepción de las comunidades locales en relación a los sectores y coberturas asociadas a los mismos, que representan tener una influencia humana importante en el territorio a lo largo de la cuenca. Allí se destaca el sector arrocero, palmicultor, piscicultor y extractivo (de material de arrastre), como agentes que impactan de manera importante el territorio y sus gentes. Ver ilustración 25.

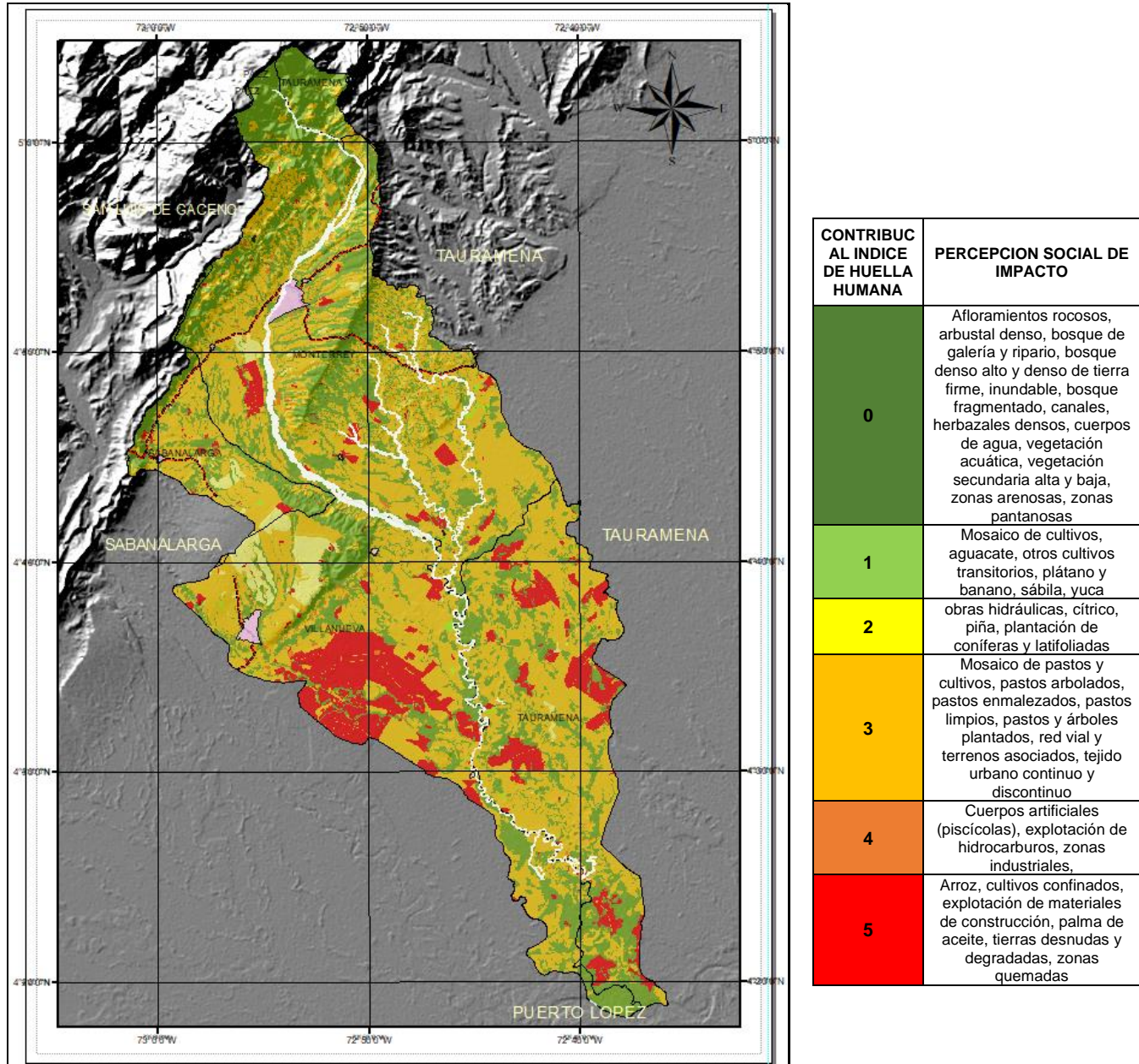


Ilustración 25. Percepción social de impacto en la cuenca del Río Túa

#### 14. Índice de uso del Agua (IUA) en la cuenca del río Túa

El mapa muestra el estado de las microcuencas en términos de uso de agua, ya que relaciona la demanda de agua de los usuarios y la oferta de agua disponible. Los valores más altos evidencian mayor uso de agua sobre el ofertado (naranja y rojos) y los valores más bajos un equilibrio entre la cantidad de agua usada y la disponible. Se puede evidenciar que cinco (5) microcuencas se encuentran en alto riesgo de déficit hídrico, lo que representa la alta influencia y presión humana sobre el recurso hídrico y el territorio. Ver ilustración 26.

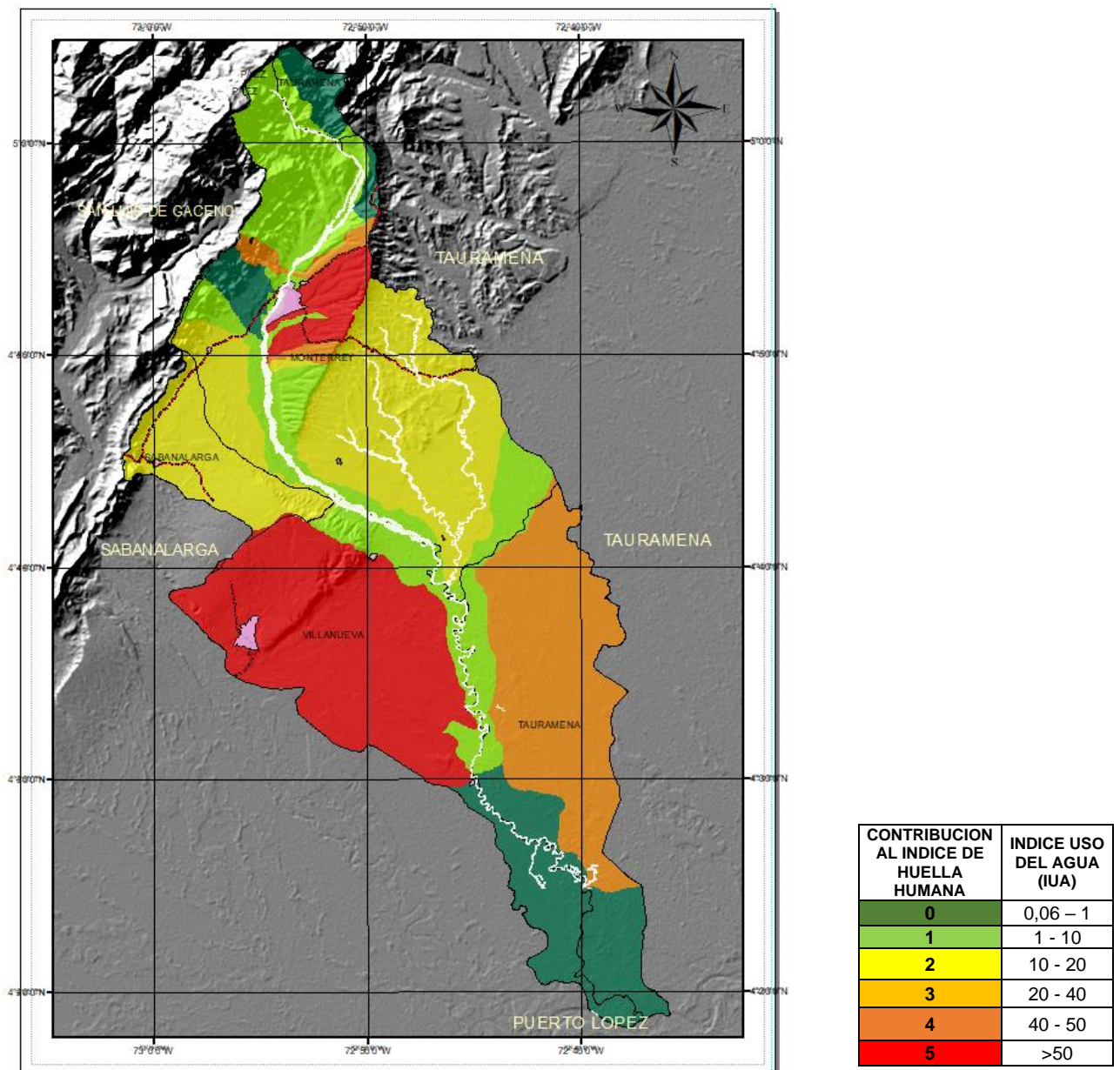


Ilustración 26. Índice de uso del Agua (IUA) en la cuenca del río Túa



## Dimensión temporal

### 1. Tiempo de intervención (años) en la cuenca del Río Túa

Este mapa señala, el impacto de procesos de intervención por 16 años de la cuenca del río Túa. Quedan pequeños relictos de coberturas sin o con periodos cortos de intervención humana (0 y 2 años). El mapa evidencia el fuerte proceso de transformación de la cuenca. Ver ilustración 27.

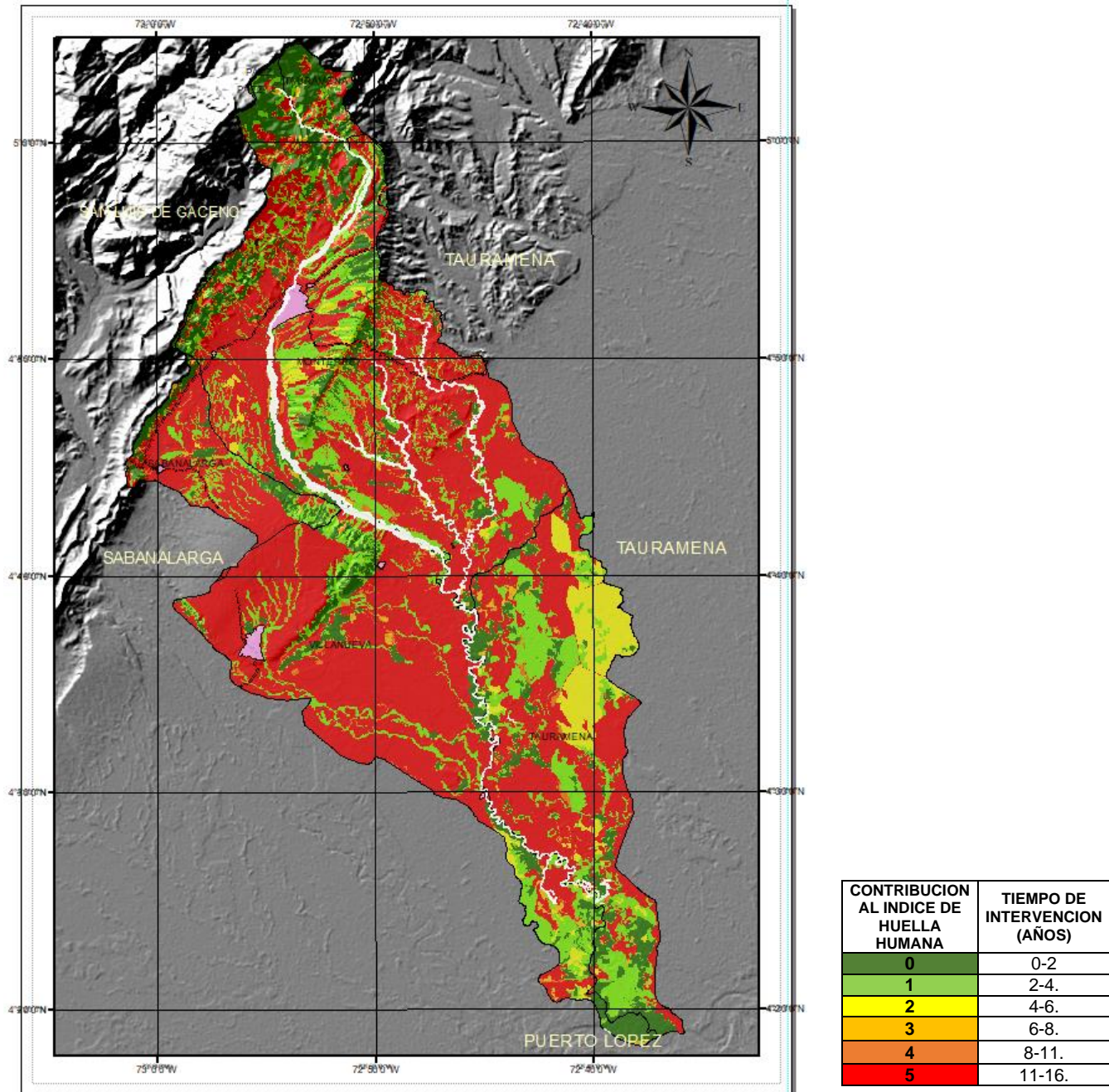
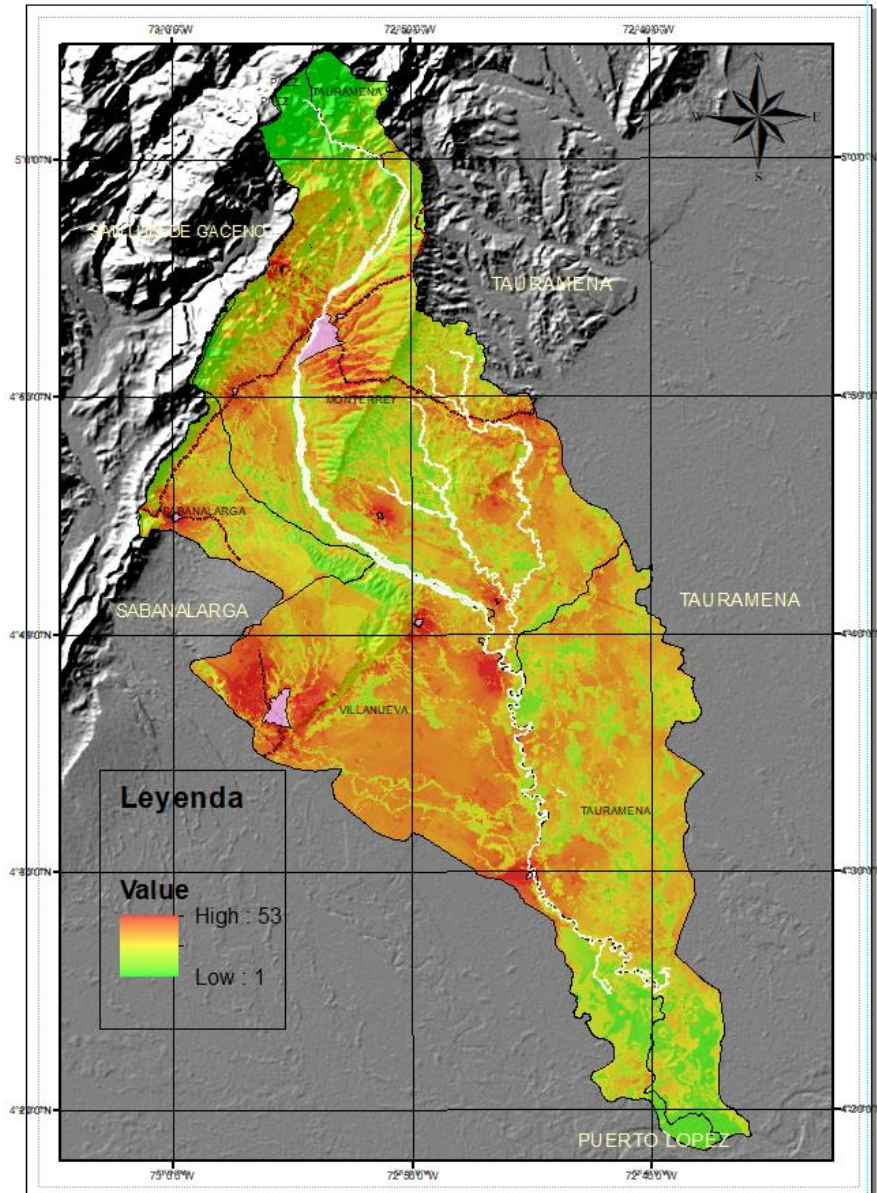


Ilustración 27. Tiempo de intervención (años) en la cuenca del Río Túa

### 5.1.2 Huella espacial humana de la cuenca del río Túa

El mapa de huella espacial humana es el producto de la sumatoria de 2 dimensiones: intensidad de uso del suelo y tiempo de intervención. El mapa de intensidad de uso de suelo, consistió en la sumatoria espacial de las variables: Índice de uso del agua, percepción social, depredadores sinantrópicos, pozos de hidrocarburos, ambientes construidos, infraestructura energética, almacenamiento de carbono aéreo, fragmentación, uso del suelo, asentamientos, vías tipo 1 a 7 y densidad de población, relacionados previamente. Como producto de este cálculo, se generó el mapa de intensidad de uso en la ilustración 28:

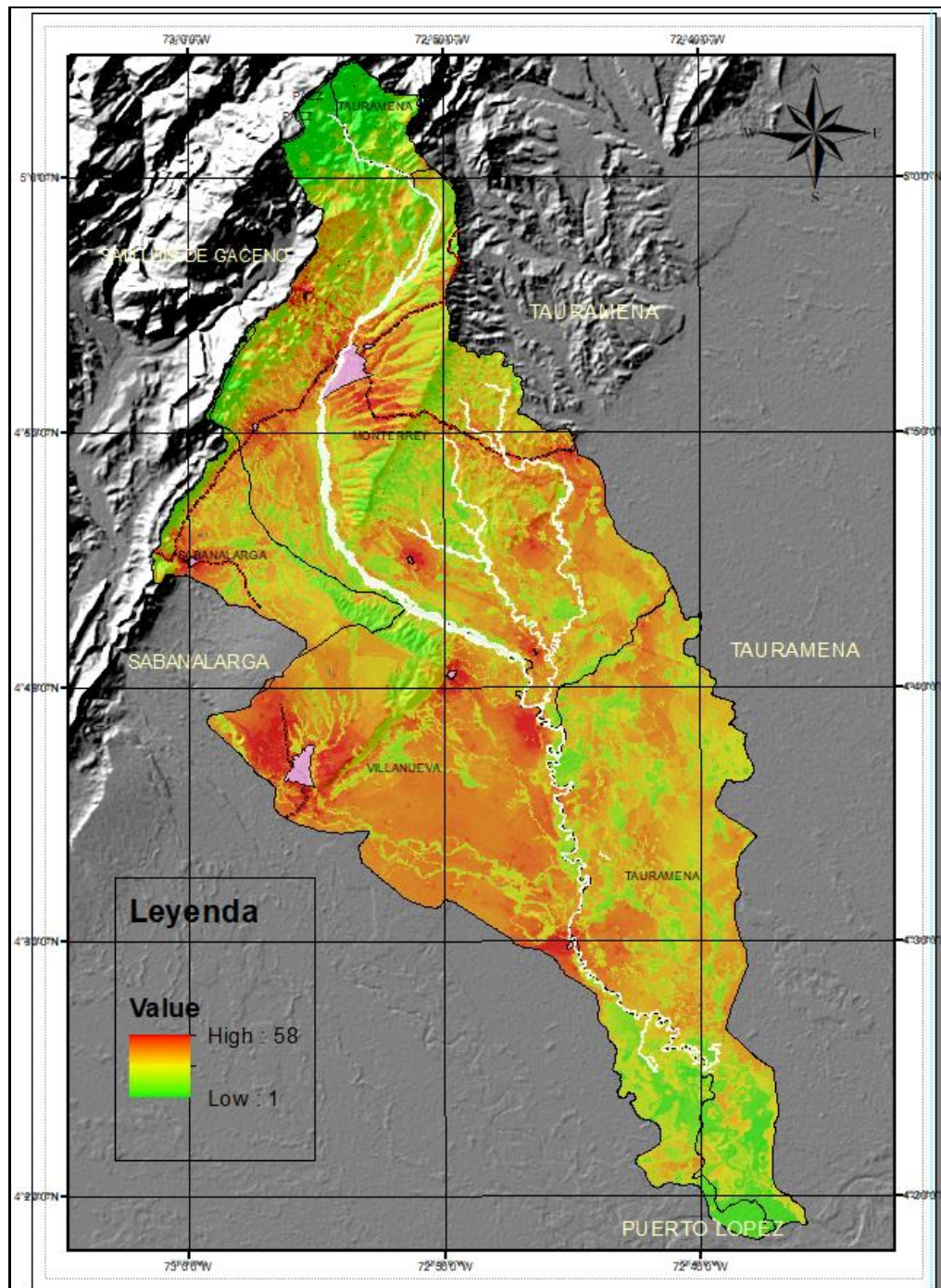
Ilustración 28. Mapa de intensidad de uso del suelo de la cuenca del río Túa.





Donde los valores de mayor intensidad de uso de suelo (53) se encuentran reflejados en los colores rojos y la menor intensidad en aquellas áreas localizadas en los colores verdes (1). Posteriormente, y con el objetivo de calcular la huella espacial humana, se sumaron espacialmente los mapas: tiempo de intervención antrópica y el mapa de intensidad de uso de suelo. Ver ilustración 29.

Ilustración 29. Mapa de huella espacial humana (valores) de la cuenca del río Túa.



Los valores mayores de huella humana, (evidenciados en colores rojos y naranjas), son producto de aquellas áreas donde coinciden los dos mapas (intensidad uso del suelo y tiempo de intervención).

La huella espacial humana, posteriormente es normalizada en valores de 0 a 100, como se señala en la ilustración 30.

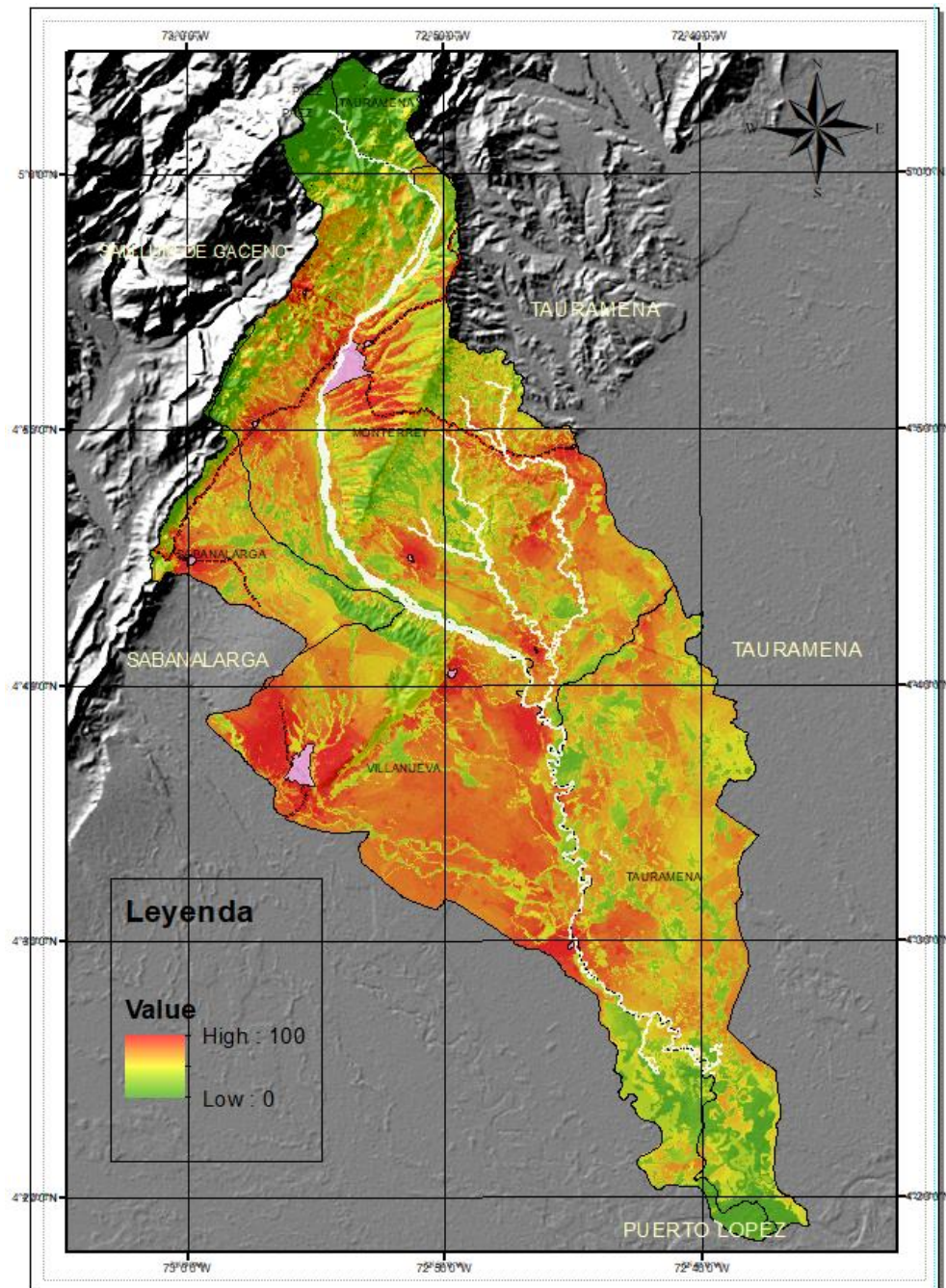


Ilustración 30. Huella espacial Humana normalizada de la Cuenca del Río Túa



Con base en los últimos resultados, se reclasificaron las categorías de huella humana definidas por Correa Ayram *et al* (2020), tal como lo señala la ilustración 31, donde 1: áreas naturales sin huella humana (0-15), 2: Baja huella humana (15-40), 3: media huella humana (40-60) y 4: alta huella humana (>60). Ver ilustración 31.

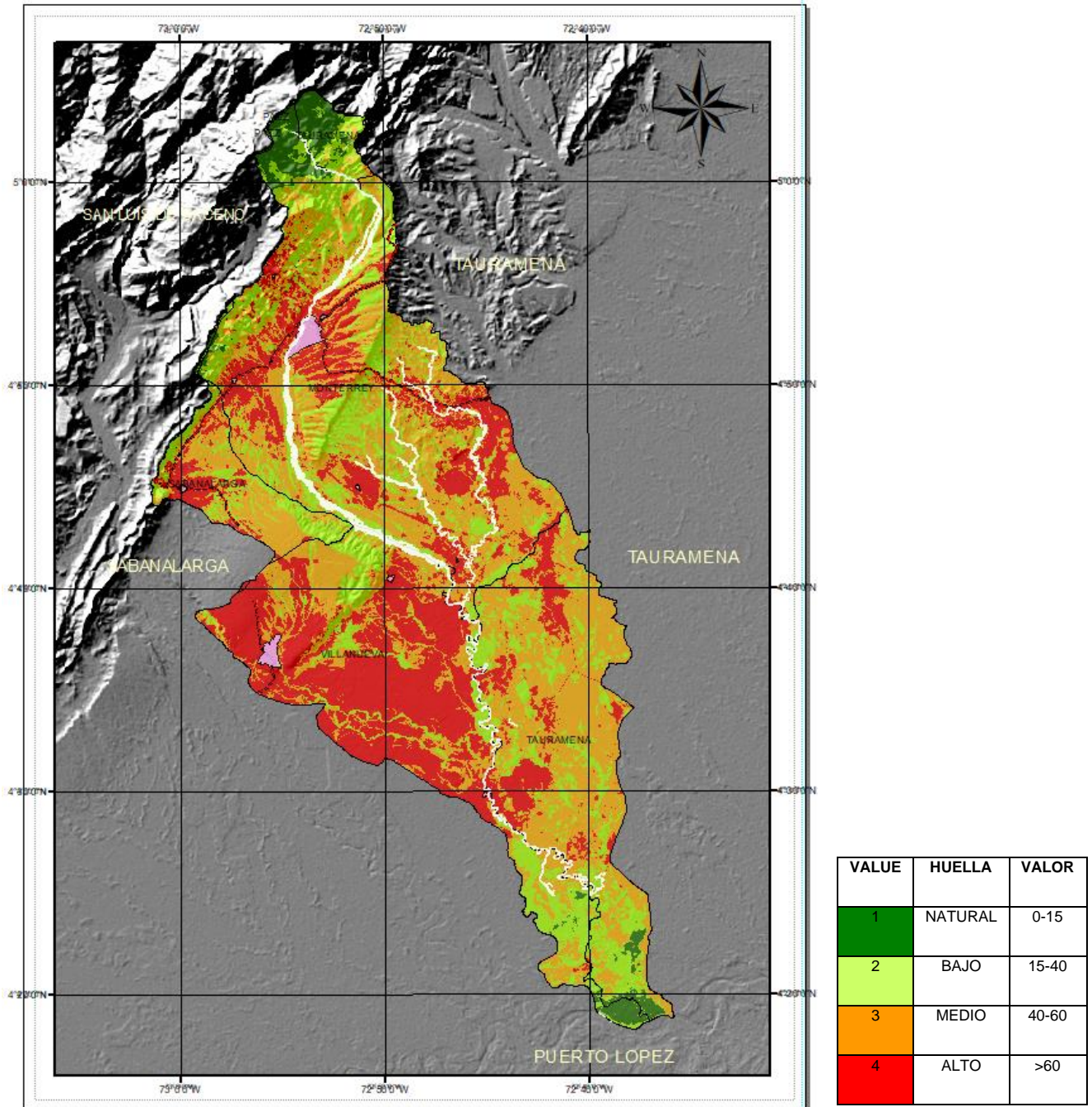


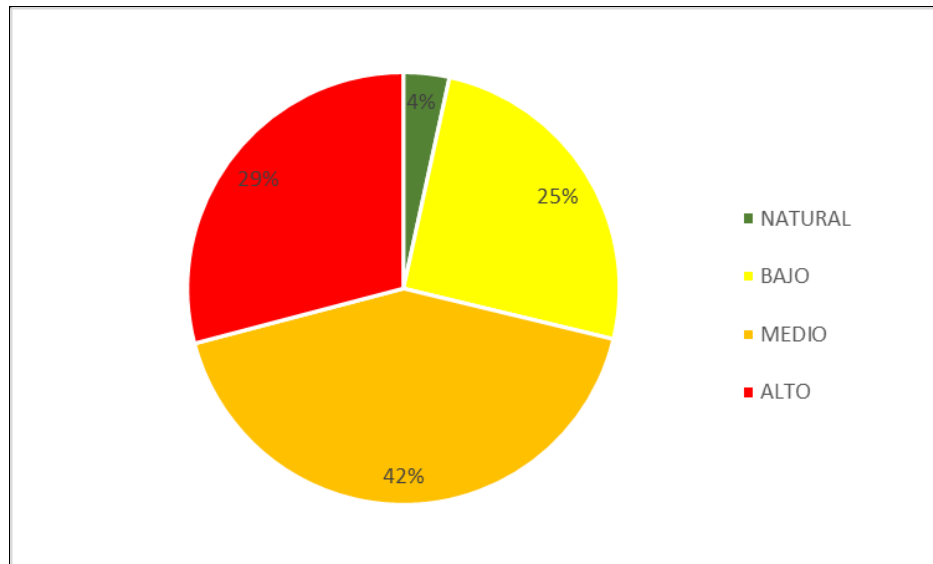
Ilustración 31. Huella espacial humana local (IHEHL) reclasificada Cuenca del Río Túa

El mapa de huella humana provee un patrón detallado de la expresión de las 14 variables de impacto que operan a escala local, con fuertes contrastes dentro de la cuenca. Cerca del 70% de la cuenca se encuentra fuertemente intervenida, ya que el 42% del área tiene valores de huella humana media (40-60), y el 29% valores de Huella humana alta (>60). En adición, solamente el 3,4% (5703has) de la cuenca, permanece en área naturales (sin huella humana 0-15) (Ver tabla 15 e ilustración 32).

Tabla 15. Cifras de la Huella espacial humana de la cuenca del Río Túa.

Huella Humana	Área_has	Proporción (%)
Natural	5703,4	3,4
Bajo	42189,2	25,3
Medio	70185,7	42,1
Alto	48435	29,1

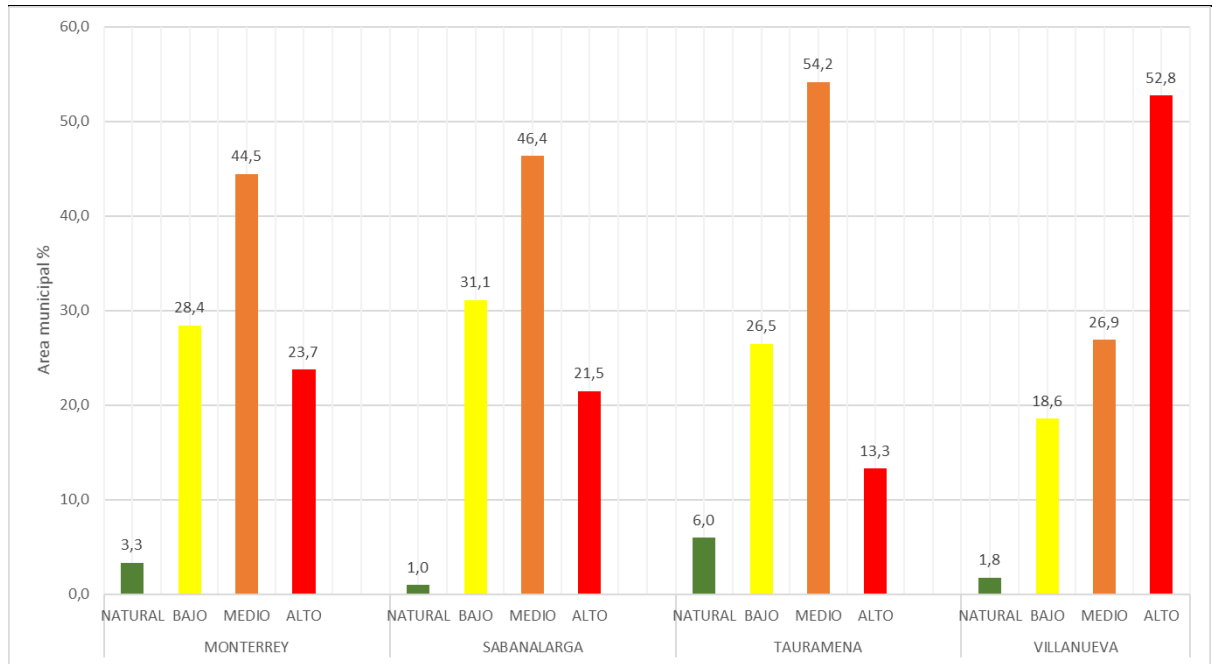
Ilustración 32. Distribución porcentual de la ocupación de la huella humana en la cuenca del río Túa.



Desde el punto de vista político administrativo, los índices de huella humana más altos, se encuentran dentro del municipio de Villanueva, con 24632 has, es decir el 52% del municipio, y solamente cuenta con el 1.8% de su área municipal sin huella humana. A

estos registros, le sigue el municipio de monterrey que cuenta con el 23% de su territorio con huella humana alta > de 60. (Ver ilustración 33).

Ilustración 33. Comportamiento Huella Humana en los municipios que conforman la cuenca del Río Túa



Todos estos resultados son alarmantes, en el sentido que, bajo el mismo ritmo y procesos intensivos de transformación, cerca del 118.620,7 has (70%) de la cuenca podrían potencialmente convertirse en áreas con huella humana alta. Se evidencia la urgente necesidad de salvaguardar los últimos ecosistemas intactos de la Tierra que sugieren no solo mayores esfuerzos de conservación sino tomar acciones definitivas para prevenir impactos humanos nuevos.

De acuerdo con la "teoría de la transición forestal" el impacto acumulativo de la huella humana puede revertirse, al menos parcialmente, dadas las condiciones demográficas y socioeconómicas adecuadas (Rudel et al., 2005). Dupouey et al., (2002) aseguran que los impactos acumulados de los usos históricos de la tierra pueden conducir a " ecosistemas novedosos " (Hobbs et al., 2006; Lindenmayer et al., 2008), que aún pueden cumplir algunas funciones ecológicas, pero tienen un costo ecológico asociado para las especies que no se puede adaptar al cambio.

La distribución espacial de la huella humana alta, se concentró principalmente en los rangos altitudinales entre 525 y 425m.s.n.m, en pendientes menores del 10°, afectando tres tipos de ecosistemas y los cuales presentan las siguientes características biofísicas (Ver tabla 16):

Tabla 16. Características biofísicas de ecosistemas con alta huella humana.

BIOMA	FISIONOMIA	PAISAJE	VEGETACION	AMBIENTE FORMACION
Pedobiomas del Zonobioma de los Bosques Húmedos Tropicales	Sabanas herbáceas y arbustales	Terrazas Antiguas basculadas del Piedemonte	<i>Paspalum, Andropogon, Bulbostylis, Curatella, Byrsonima</i>	Sedimentos aluviales cuaternarios antiguos francos a arenosos
		Llanura aluvial de desborde y terrazas de piedemonte	<i>Paspalum, Andropogon, Leersia</i>	Sedimentos aluviales cuaternarios antiguos francos a arenosos
		Llanura aluvial/eólica del piedemonte	<i>Andropogon, Mesosetum, Curatella, Byrsonima</i>	Sedimentos aluviales recubiertos de limos eólicos
Zonobioma de los Bosques Húmedos Tropicales	Bosques altos Densos	Terrazas Antiguas de grandes ríos	<i>Bombacopsis quinata, Pouteria anibaefolia, Attalea, Trichilia, Manikara, Hymenaea, Pseudolmedia</i>	Aluviones antiguos de relieve plano y suelos fértiles

Fuente: Propia.

Bajo este enfoque, se puede evidenciar que los sistemas más afectados son las sabanas naturales, en paisajes planos, compuestas por pastos naturales, matorrales y arbustos propios de las características bióticas, físicas y climáticas que los configuran. Esta información corrobora los resultados obtenidos por Williams y colaboradores (2020) en relación a las sabanas naturales como los sistemas de mayor transformación y Correa Ayram *et al* (2020) en relación la alta transformación en el piedemonte Casanareño.

En adición, y de acuerdo con los resultados de la aplicación de la metodología de la lista roja de ecosistemas en riesgo de colapso ecosistémico -LRE-, (Etter, Angela, et al., 2017), los ecosistemas tanto de sabanas naturales como de bosques altos densos de terrazas, se encuentran dentro de las categorías más altas de riesgo: en peligro crítico (CR) y en peligro (EN), tal y como se corrobora en el presente estudio.

Para la cuenca del Río Túa se encontró que el 12.7% de sus ecosistemas están en estado crítico (CR), el 32% en está en peligro (EN), el 30.5% en estado vulnerable (VU) y el 24.8%

en estado de preocupación menor; es decir, que cerca del 50% (44.6%), de los ecosistemas de la cuenca del río Túa se encuentra en alto peligro de colapso ecosistémico.

Bajo este panorama, se hizo indispensable conocer la huella humana actual que tienen los ecosistemas dentro de alguna categoría de amenaza por colapso ecosistémico. Se encontró que los ecosistemas en estado crítico (CR), tienen huella baja en 30%, huella media 35% y huella alta 34%, es decir cerca del del 70% de los ecosistemas en estado CR se encuentran fuertemente intervenidos y solo el 0,4% no tienen huella y por tanto la posibilidad y prioridad de protegerse. En adición, cerca del 84% de los ecosistemas EN, tiene huella media y alta (Ver tabla 17).

Tabla 17. Proporción de la huella humana por categoría de ecosistemas amenazados.

<b>EVFINAL</b>	<b>HUELLA HUMANA</b>	<b>AREA (%)</b>
<b>CR</b>	NATURAL	0,4
	BAJO	30,1
	MEDIO	35,2
	ALTO	34,3
Total CR		100,0
<b>EN</b>	NATURAL	1,9
	BAJO	14,2
	MEDIO	43,4
	ALTO	40,5
Total EN		100,0
<b>LC</b>	NATURAL	1,3
	BAJO	37,9
	MEDIO	43,3
	ALTO	17,5
Total LC		100,0
<b>VU</b>	NATURAL	7,7
	BAJO	24,7
	MEDIO	42,8
	ALTO	24,7

Por otro lado, se realizaron análisis comparando la participación de los ecosistemas en alguna categoría de amenaza, dentro de los resultados del mapa de huella humana en la cuenca. Aunque es claro, que los resultados de la lista roja se realizaron a una escala no detallada como la del presente estudio, permite evidenciar algunas tendencias a tener en cuenta en la planificación del territorio.

Por ejemplo, las áreas naturales (sin huella humana) tienen el 1,4% de ecosistemas en estado crítico (CR), el 18% están en peligro (EN); lo que podría estar indicando que: (1) sobre estas áreas se deben tomar acciones urgentes de preservación para minimizar a cero su intervención y (2) que alguna fracción de los ecosistemas amenazados están actualmente protegidos y representados en la cuenca. No obstante, estos resultados no son concluyentes, por lo que se sugiere realizar investigaciones detalladas para la aplicación de la metodología de la lista roja de ecosistemas (LRE) para la cuenca del río Túa.

Como era de esperarse, las áreas con huella humana alta, tienen el 15% de sus ecosistemas en estado crítico (EN), el 47% están en peligro (EN), 26% en estado vulnerable (VU) y 15% en estado de preocupación menor (LC) (Ver tabla 18), es decir que, más de la mitad de los ecosistemas en estado de amenaza (62%), se encuentran fuerte intervenidos, comprometiendo su biodiversidad y funcionamiento.

Tabla 18. Distribución porcentual del estado de amenaza de los ecosistemas con la huella humana en la cuenca del río Túa.

HUELLA HUMANA	EVFINAL	Total	AREA (%)
NATURAL	CR	74	1,4
	EN	1000	18,3
	LC	537	9,8
	VU	3848	70,5
Total 1		5459	100,0
BAJO	CR	6230	15,0
	EN	7505	18,0
	LC	15514	37,3
	VU	12337	29,7
Total 2		41586	100,0
MEDIO	CR	7288	10,5
	EN	22896	33,1
	LC	17719	25,6
	VU	21371	30,8
Total 3		69274	100,0
ALTO	CR	7091	14,8
	EN	21386	44,6
	LC	7165	14,9
	VU	12325	25,7

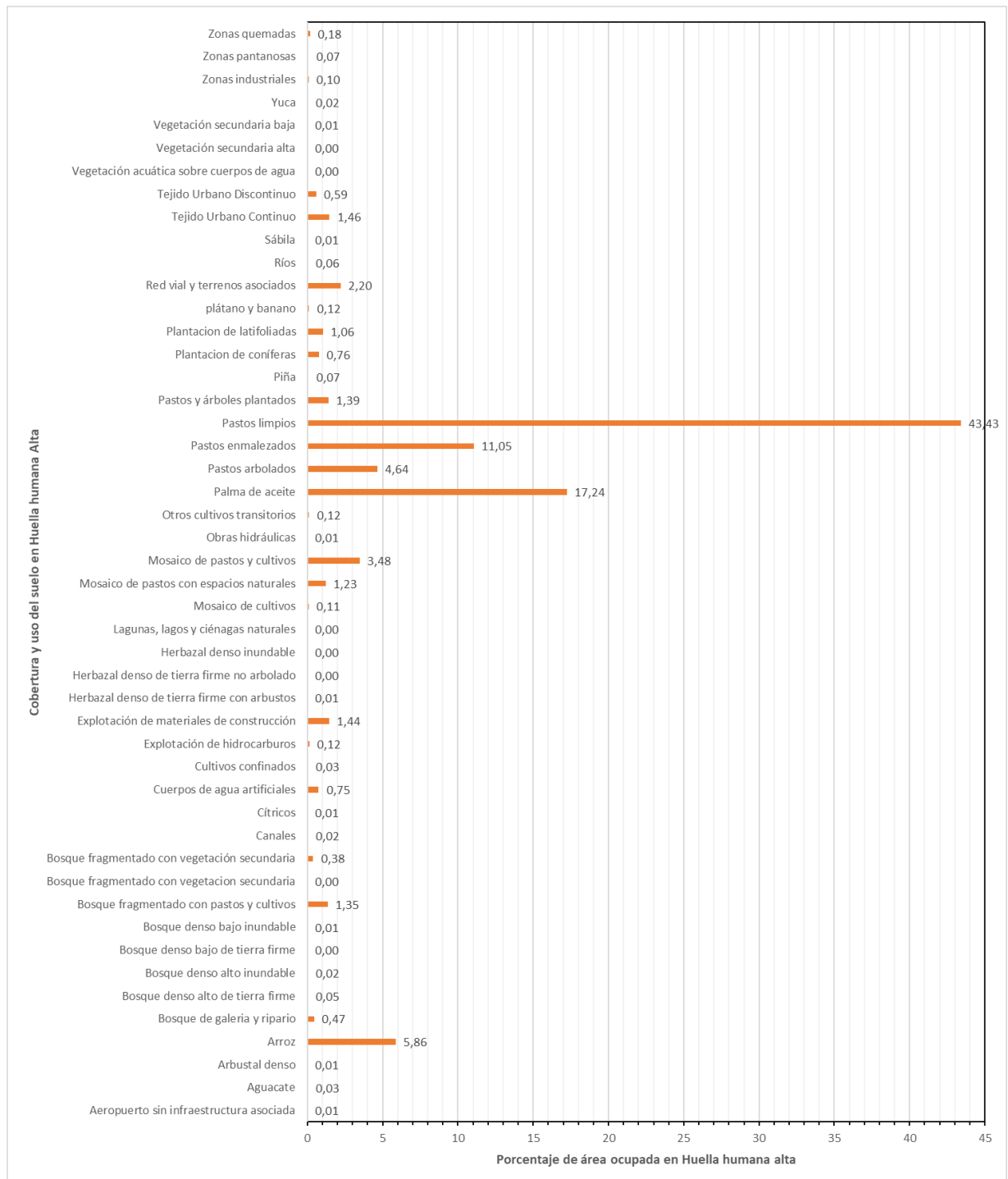
Por otro lado, y aunque existe cierta certidumbre que en zonas con alta huella presenten la confluencia de aspectos como el relieve (medianamente plano), existencia de vías de acceso carretables y peatonales, la presencia asentamientos cercanos, y con distribución concentrada de fincas e infraestructura energética colindante; se evidenció que las zonas con huella humana alta y con mayor extensión, se encuentran asociadas al sector productivo, específicamente la ganadería, los cultivos de palma y arroz. Tal cual lo afirma Correa Ayram *et al* (2020) en relación a los patrones espaciales de huella humana alta nacional en el Orinoco, los cuales están asociados a la ganadería de baja productividad y al sector agroindustrial intensificado.

El sector palmero a 2019 cubre cerca de 10907,7 has, tiene el 85% de sus predios dentro de la categoría de huella humana muy alta y el 15% restante en huella media. Por su lado, el sector arrocero con 4582has, tienen el 80% de sus predios catalogados dentro de la categoría de huella humana alta y el 20% restante en huella humana media. El sector piscícola, a pesar de tener menor extensión territorial (455has), el 90% de sus terrenos se encuentran con huella humana alta y el 10% restante en categoría de huella humana media. Ver ilustración 34.

Por su lado, la cobertura de pastos limpios, la cual está asociada a la principal actividad productiva de la cuenca: la ganadería; ocupa cerca del 54% del área que ocupa la huella humana en categoría alta, y el 56% de la categoría de huella humana media. Es decir, que más de la mitad de la huella humana alta y media de la cuenca se encuentra en ganadería. Ver ilustración 34.

Estos resultados son respaldados por (Etter *et al.*, 2008), quien afirma que gran parte de la Huella nacional se puede atribuir a los uso del suelo por la ganadería extensiva de baja productividad (Etter *et al.*, 2011) y agroindustria intensiva (Correa Ayram *et al.*, 2020). En adición, estos resultados son coherentes con el mapa de percepción social, por lo que incorporar la percepción de la comunidad debería ser una variable de interés para próximas investigaciones y para análisis locales del territorio en general, ya que refleja parte de la realidad socio-ambiental de sus paisajes.

Ilustración 34. Distribución de la cobertura y uso del suelo en Huella humana alta.



Es importante destacar que no se está afirmando que los sectores productivos en mención, son los únicos y directos responsables de los resultados de huella humana alta, se está afirmando que es posible que el mismo, junto con las actividades de uso y transformación



asociados (vías carreteables, peatonales, obras como canalización, asentamientos, entre otros), generan impactos directos e indirectos espacial y temporalmente que podrían estar contribuyendo de manera importante en la huella humana de los paisajes locales.

Desde este enfoque, y dado que la magnitud de los impactos sobre los ecosistemas está determinada principalmente por las metas empresariales individuales, por que la decisión política de la planificación debería estar orientada a desarrollar los proyectos productivos con base a la capacidad y vocación del suelo mismo, así como al equilibrio en el uso de los servicios ecosistémicos, teniendo en cuenta igualmente la periodicidad climática a la que se encuentra asociada también la biodiversidad y la capacidad de resiliencia del sistema. La planificación espacial puede mejorar los resultados de persistencia de especies, retención de ecosistemas, secuestro de carbono, provisión de agua y valor de producción agrícola para evitar la acumulación de deuda de oportunidad adicional que existe debido a una expansión previa no planificada (Williams, Grantham, et al., 2020).

### **5.1.3 Evaluación de la incorporación del índice de vulnerabilidad biofísica en la Huella espacial humana**

Sobre la base de que los ecosistemas y los paisajes responden de manera diferente a los disturbios humanos, de acuerdo con las características biofísicas que los sustentan; el presente capítulo pretende evaluar cómo cambian los resultados de huella humana en la cuenca del Río Túa, una vez que se incorpora la dimensión de vulnerabilidad biofísica.

Las variables de influencia humana utilizados en la dimensión de vulnerabilidad biofísica, son los referidos por Etter *et al* (2011), donde se incorpora: (1) el índice de fertilidad del suelo, (2) la pendiente, y se ajusta: (3) el índice de aridez (que es el inverso del índice de humedad disponible) por lo que se invierte la escala de 0 a 5 y (4) el número de especies de rango pequeño (distribución potencial de idoneidad de especies). Los resultados de las variables analizadas se relacionan a continuación:

1. Índice de fertilidad

El mapa evidencia que existen áreas muy fértiles, aunque son escasas y localizadas solamente al sur de la cuenca. Mientras que la zona norte presenta de occidente a oriente, suelos de baja a muy baja fertilidad, haciéndolos más susceptibles a procesos de degradación por actividades antrópicas, y por tanto menos resilientes. Ver ilustración 35.

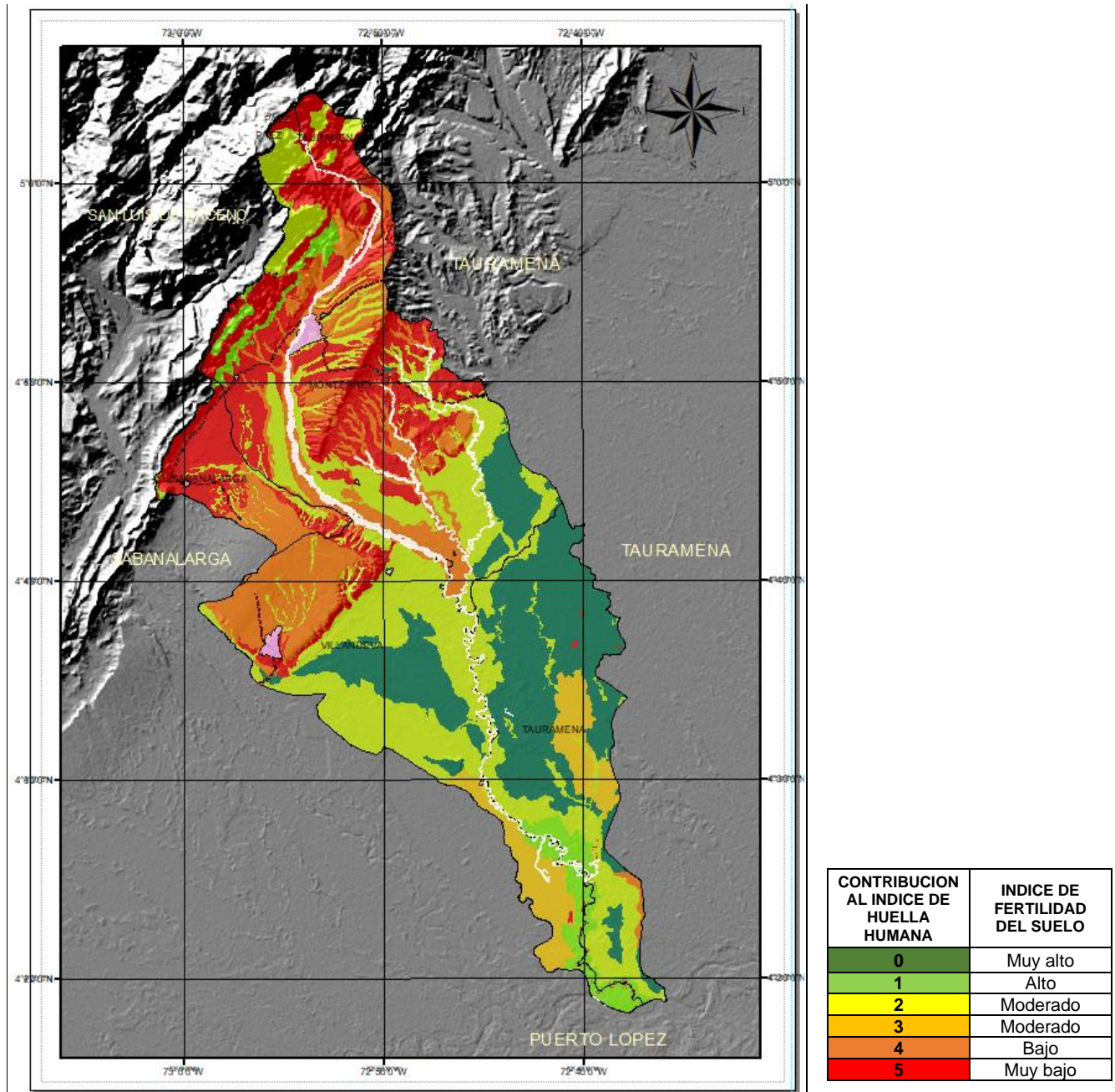


Ilustración 35. Índice de fertilidad de cuenca del río Túa

2. Pendiente

El mapa muestra que la zona norte y noroeste de la cuenca presenta las pendientes más fuertes, con pequeñas elevaciones en la zona central y las zonas más planas al sur abarcando gran parte del área total de la cuenca. Las áreas con mayor pendiente las hace más susceptibles a procesos de degradación y por tanto menos resilientes a los disturbios antrópicos. Ver ilustración 36.

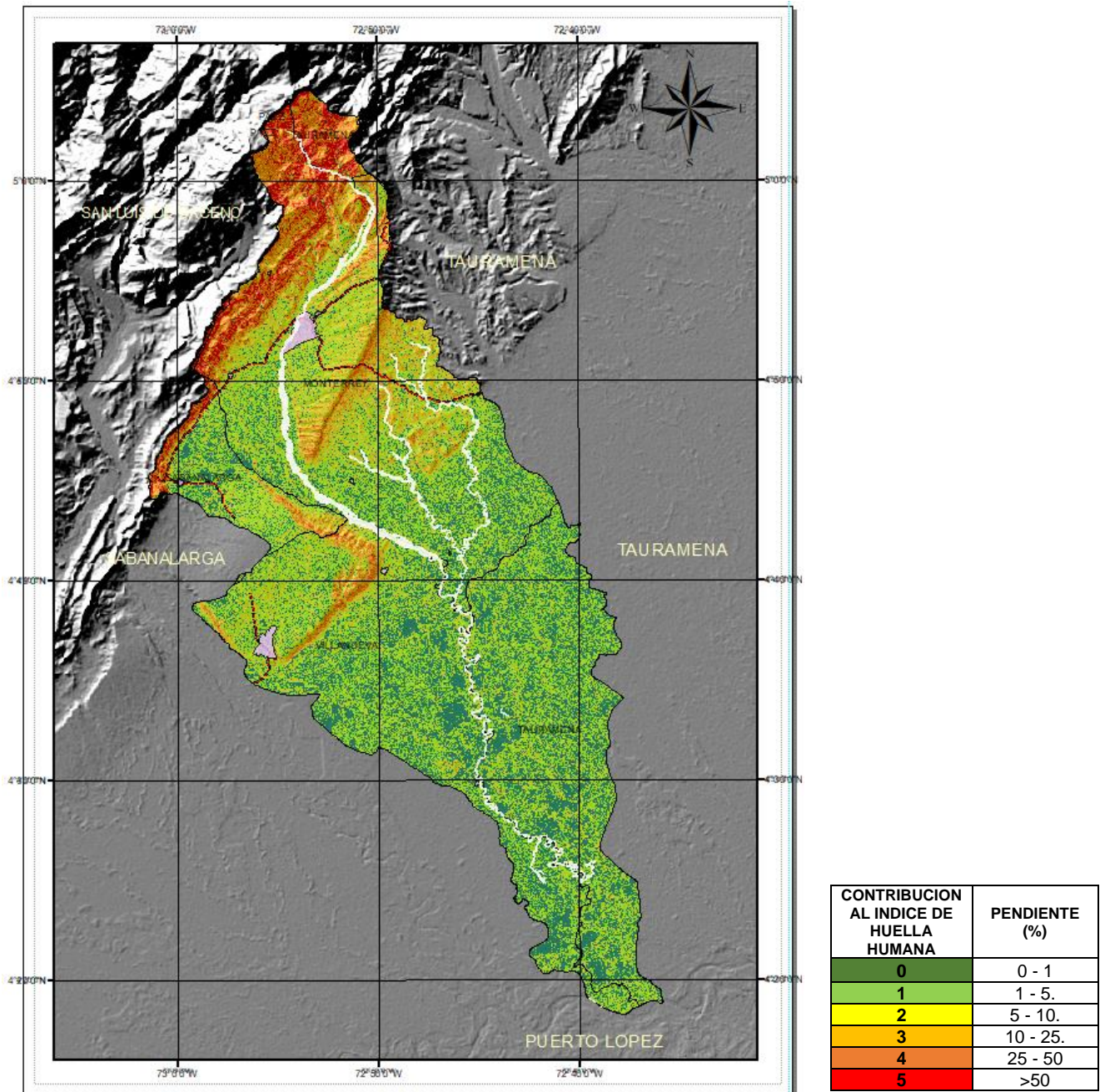


Ilustración 36. Pendiente de la cuenca del río Túa



3. Índice de aridez

Este mapa representa el nivel de excedencia y déficit de agua, y muestra valores entre moderados y deficitarios de agua que dominan en la cuenca; por tanto, la unidad hidrográfica requerirá una mayor cantidad de agua para satisfacer las necesidades hídricas de la cobertura vegetal y potenciará el desarrollo de vegetación con menores requerimientos de agua (tolerancia al estrés hídrico), lo que tienen susceptibilidad media a baja para soportar disturbios humanos. Ver ilustración 37.

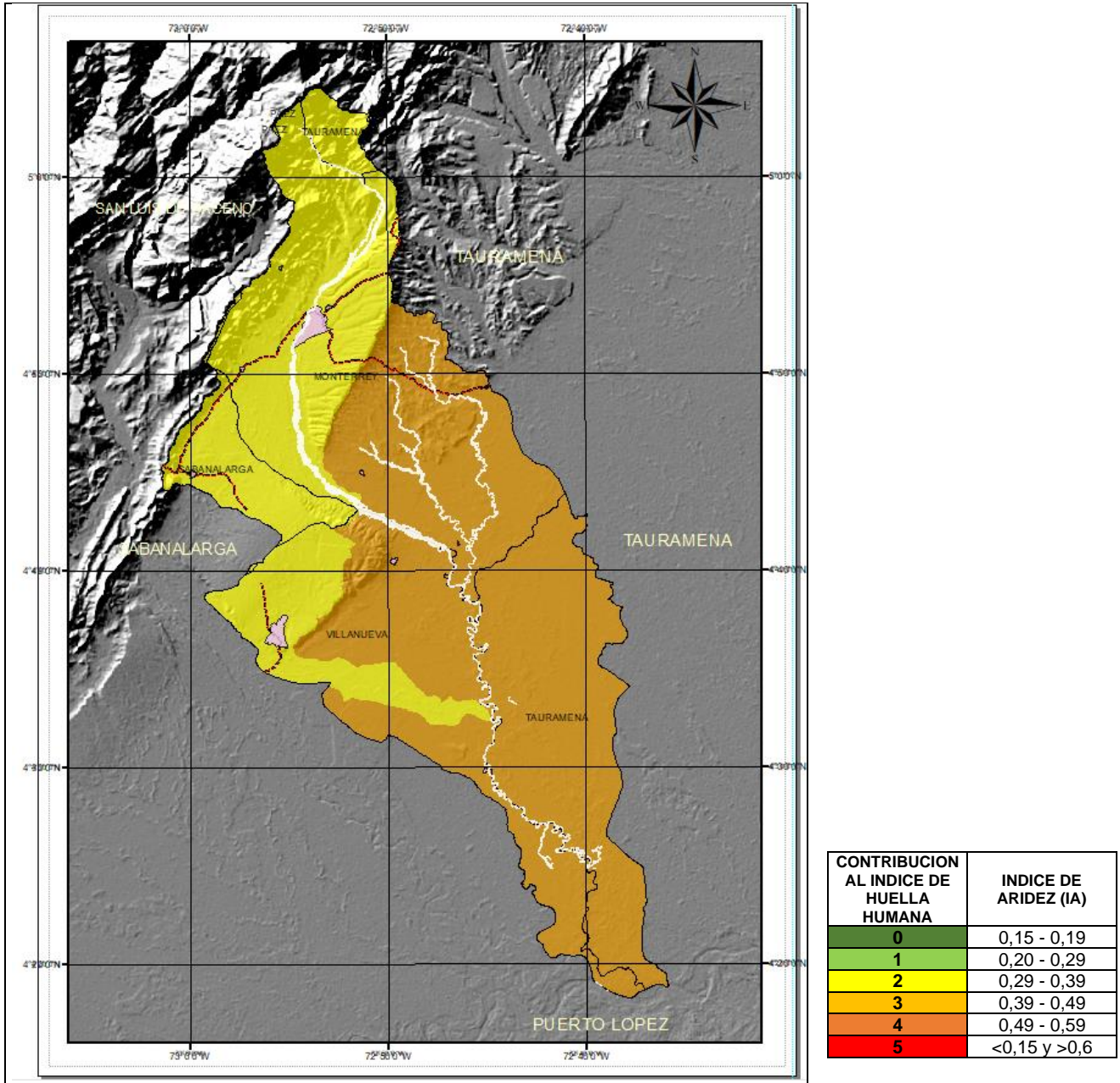


Ilustración 37. Índice de aridez de la cuenca de río Túa

4. Distribución potencial de idoneidad biofísica de especies dentro de alguna categoría de amenaza por UICN

El mapa muestra en la zona norte, la distribución potencial de especies dentro de alguna categoría de amenaza por la UICN; zonas que son más vulnerables para soportar procesos de intervención antrópica. Ver ilustración 38.

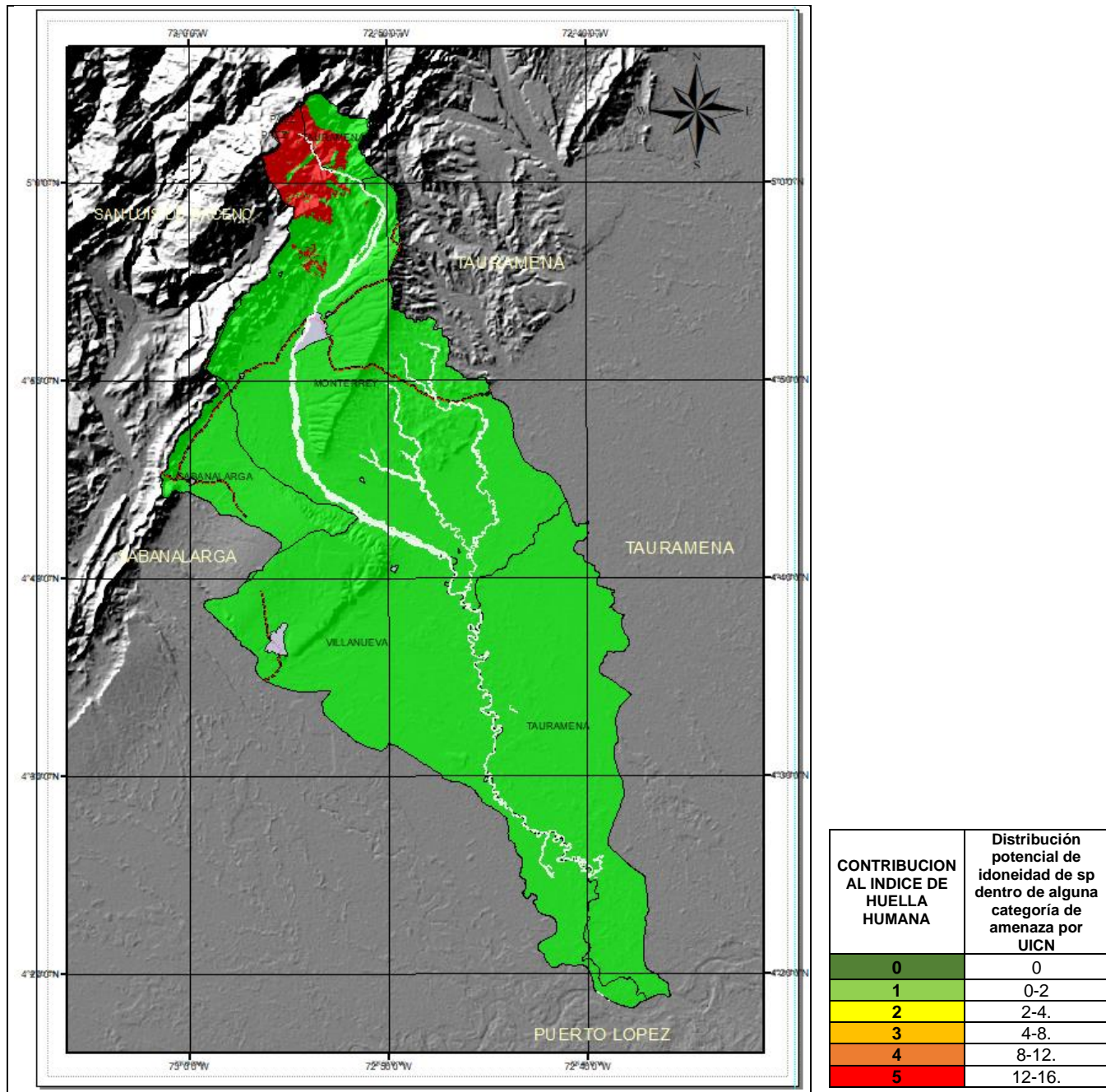


Ilustración 38. Distribución potencial de idoneidad biofísica de especies dentro de alguna categoría de amenaza por UICN en la cuenca del río Túa



Como producto de la sumatoria espacial de los mapas previamente relacionados, y siguiendo la ecuación del índice de vulnerabilidad biofísica, se obtuvo el mapa de vulnerabilidad biofísica para la cuenca del río Túa.

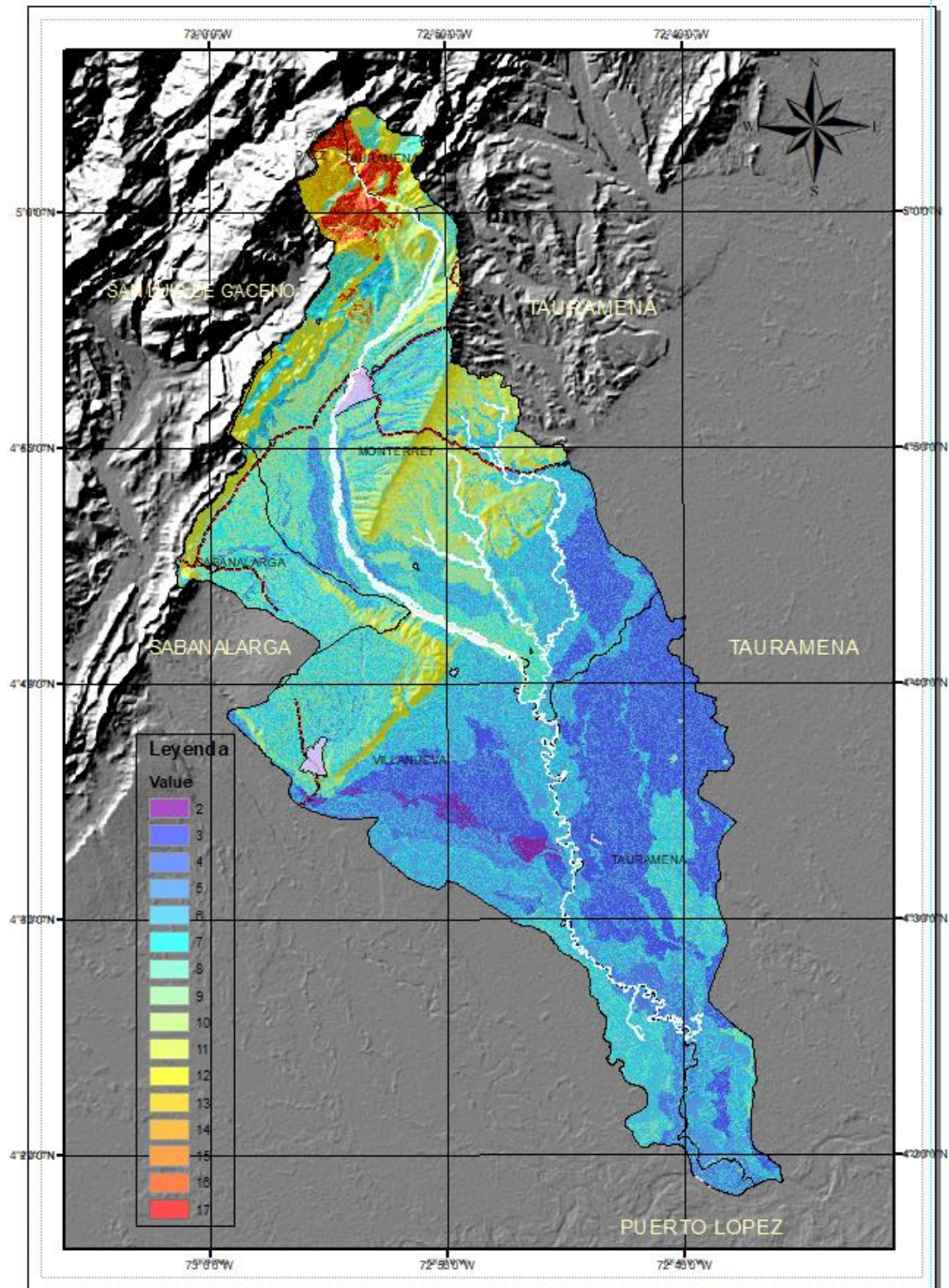


Ilustración 39. Vulnerabilidad biofísica de la cuenca del río Túa

En la ilustración 39 se muestra el mapa de vulnerabilidad con los valores brutos que van de 0 a 17 producto de la suma de los mapas re-escalados, señalando en el norte los valores más altos de vulnerabilidad biofísica y al sur los valores más bajos y por ende con mayor capacidad de residencia; y en la ilustración 40, se muestra el mapa con los valores normalizados de 0 a 100.

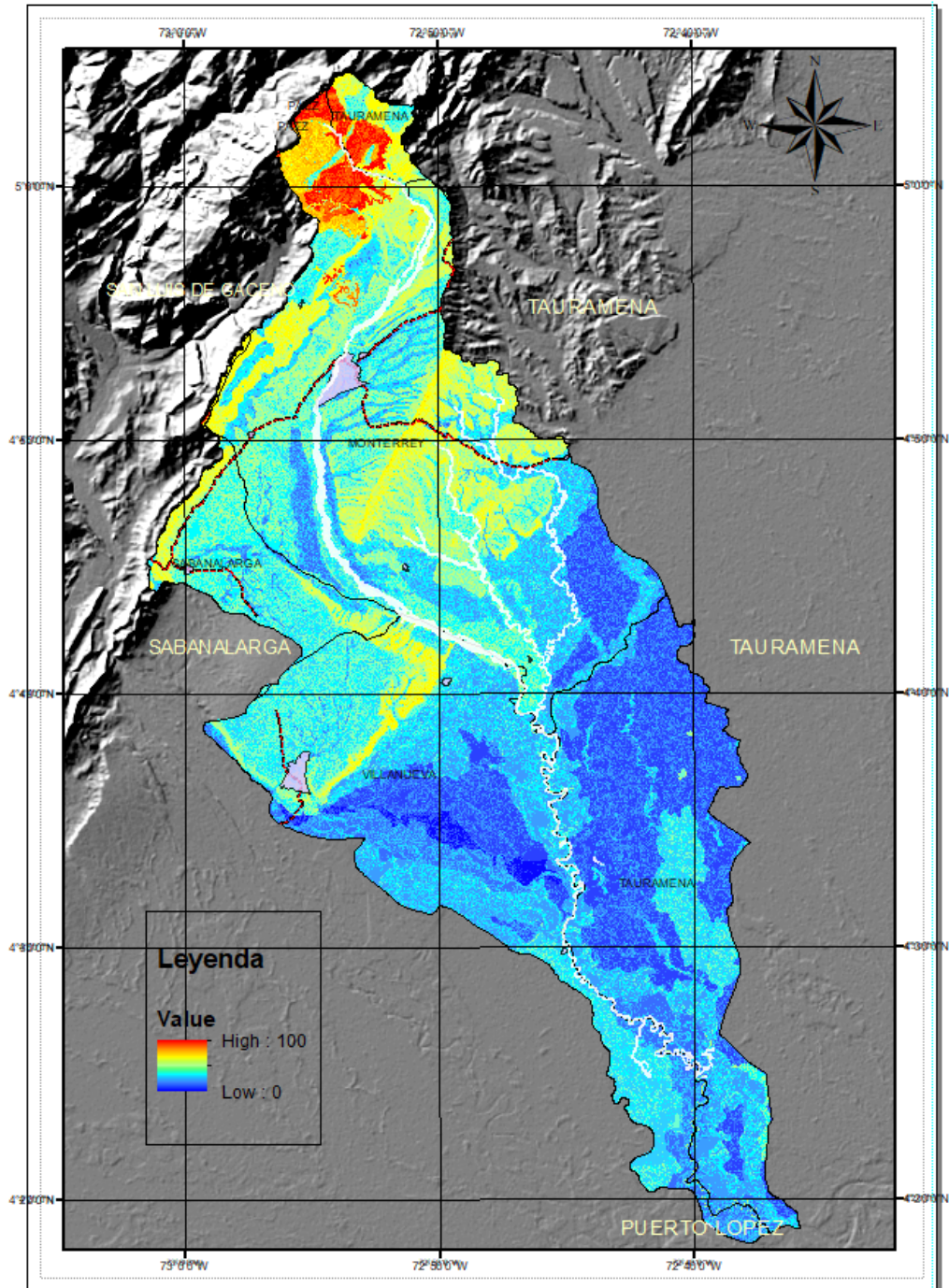


Ilustración 40. Vulnerabilidad Biofísica normalizada de la cuenca del río Túa



Una vez que se obtuvo el mapa de vulnerabilidad biofísica, se incorporó al mapa de huella humana, producto de la dimensión de intensidad de uso del suelo y de la dimensión temporal. El resultado de la huella humana incorporando la dimensión de vulnerabilidad biofísica se relaciona en la ilustración 40.

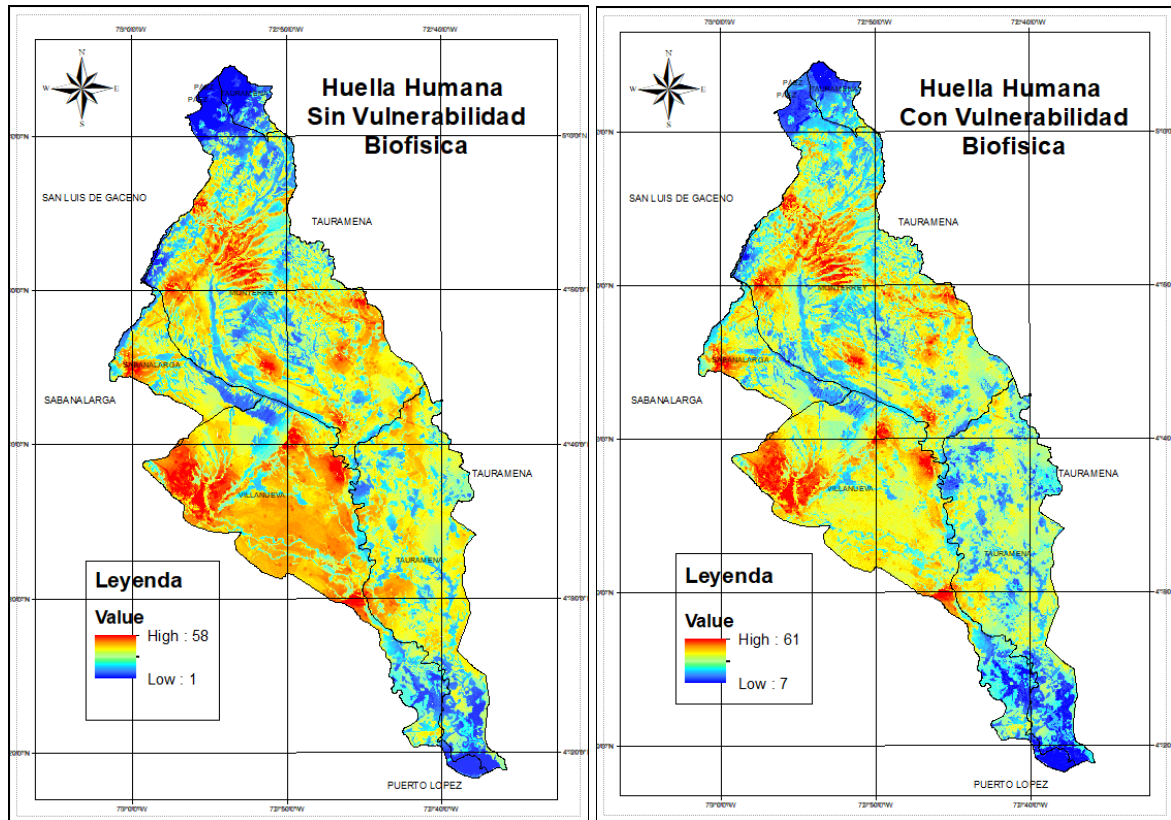


Ilustración 41. Comparación de la Huella Humana con y sin vulnerabilidad biofísica para la cuenca del río Túa

Teniendo en cuenta que la vulnerabilidad biofísica se relaciona de manera directa con la capacidad de resiliencia de los sistemas naturales, se podría esperar el incremento o disminución de la huella humana.

Los resultados muestran que para el caso de la cuenca del río Túa, la huella humana en términos generales tiene una tendencia a la disminución una vez que se incorpora la vulnerabilidad. Estos resultados se evidencian visualmente más al sur-oriental de la cuenca, en el municipio de Villanueva. Para los fines pertinentes, y para un análisis detallado, se compararon cuantitativamente los cambios sufridos entre el mapa de huella humana sin vulnerabilidad y el mapa de huella humana con vulnerabilidad.



A continuación, se relaciona en la tabla 19 las categorías de huella para cada mapa, el área (has) cambiada y la proporción de cambio total para cada categoría de huella.

Tabla 19. Comparación Huella humana con y sin vulnerabilidad biofísica para la cuenca del río Túa.

HH SIN VUL	HH CON VUL	AREA_HAS	PORCENTAJE
ALTO	MEDIO	14643,3	13,75
	ALTO	16344,89	15,35
BAJO	ALTO	0,0064	6,0E-06
	NATURAL	480,064	0,45
	MEDIO	3635,622	3,41
MEDIO	BAJO	22872,3	21,48
	ALTO	1735,2	1,63
	BAJO	3710,586	3,48
NATURAL	MEDIO	39421,7	37,02
	NATURAL	1295,398	1,22
	BAJO	2348,442	2,21

La tabla muestra que el mapa de huella humana una vez se le incorpora la dimensión de vulnerabilidad, sufre cambios en las 4 categorías de huella. Así bien, la categoría de huella humana alta, (que previamente ocupaba el 29%), ahora ocupa el 16% del total de la cuenca y el 14% restante paso a categoría media. En ese orden de ideas, la vulnerabilidad biofísica en estas áreas es menor (la capacidad de resiliencia mayor) haciendo que la huella humana sea menos severa. Sin embargo, la huella humana en la categoría natural (sin huella) previamente cubría el 3% de cuenca, una vez se le incorpora la vulnerabilidad el 2% de su área total, pasa a categoría de huella humana baja. Lo que estaría indicando que son áreas muy vulnerables a los impactos humanos.

Por otro lado, la huella humana en la categoría media, sufrió importantes cambios; cubría previamente el 42% de la cuenca, una vez se incorpora la vulnerabilidad, aunque el 37% permanece en categoría media, el 4% pasa a ser categoría baja y el 2% a categoría alta. Lo que quiere decir, que las áreas en el último segmento, son más vulnerables a los impactos humanos.

Estos resultados son interesantes, una vez que discrimina en detalle las áreas más susceptibles a la severidad de las actividades humanas o por el contrario las áreas más

resilientes. En este caso, el 4% de áreas de categoría media disminuyeron en huella y el 2% incrementaron en huella humana.

Igualmente sucede en la categoría de huella humana baja. El 22% del área se mantuvo en categoría baja, el 3% pasó a categoría media, el 0.000006% se convirtió en huella alta y el 0.5% pasó a categoría sin huella. Ver la ilustración 42.

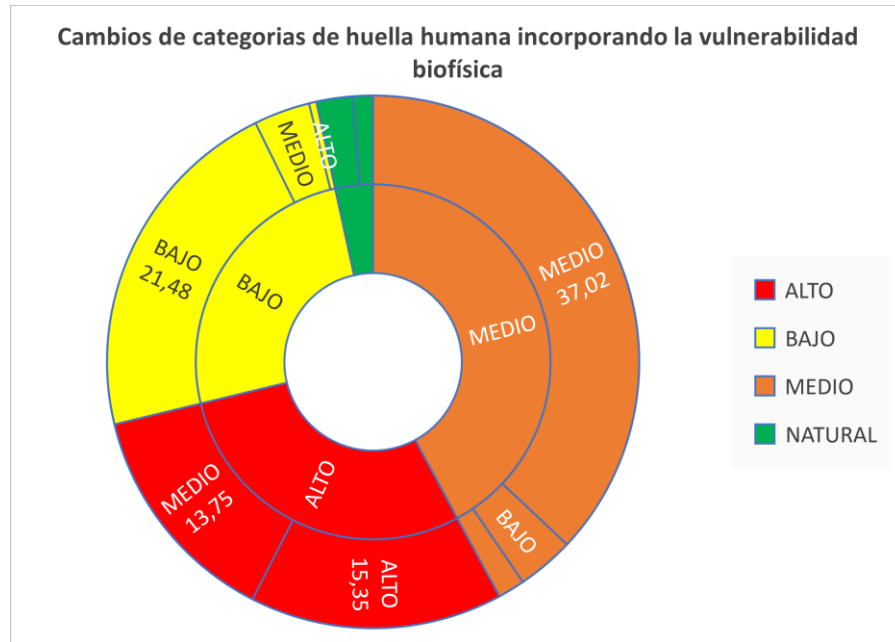
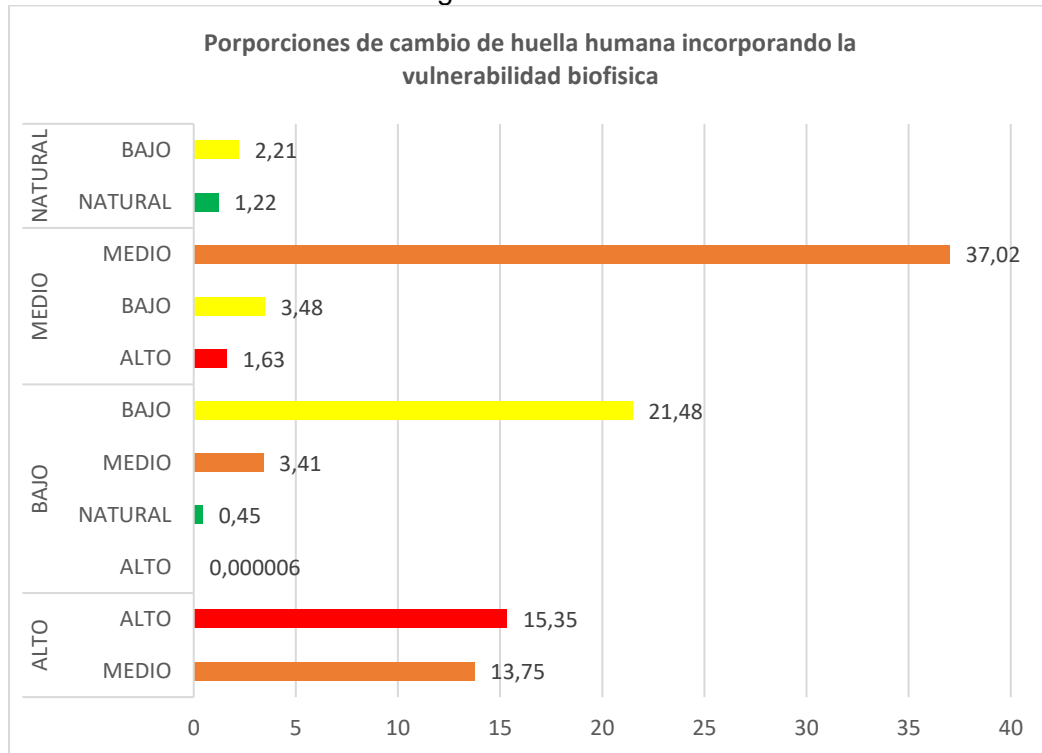


Ilustración 42. Cambios en las categorías de huella humana en la cuenca del río Túa



Se puede concluir que las características biofísicas del lugar, pueden intervenir en la cuantificación de la huella humana de dos maneras: (1) como sistema en la amortiguación de los impactos humanos por poseer alta capacidad de resiliencia o (2) como sistema que vigoriza los impactos humanos por la misma fragilidad del ecosistema.

Incorporar la dimensión de la vulnerabilidad dentro de la ecuación de la huella humana, dependerá básicamente del objetivo y propósitos que persiga la investigación. No obstante, es interesante incorporarla como una capa complementaria, principalmente para análisis de los paisajes locales, toda vez que aquellas áreas con huella humana alta que persisten después de la incorporación de la dimensión de vulnerabilidad biofísica, estaría evidenciando que son ecosistemas muy cercanos al punto de inflexión para su recuperación natural; lo que es determinante para la gestión ambiental de un territorio.

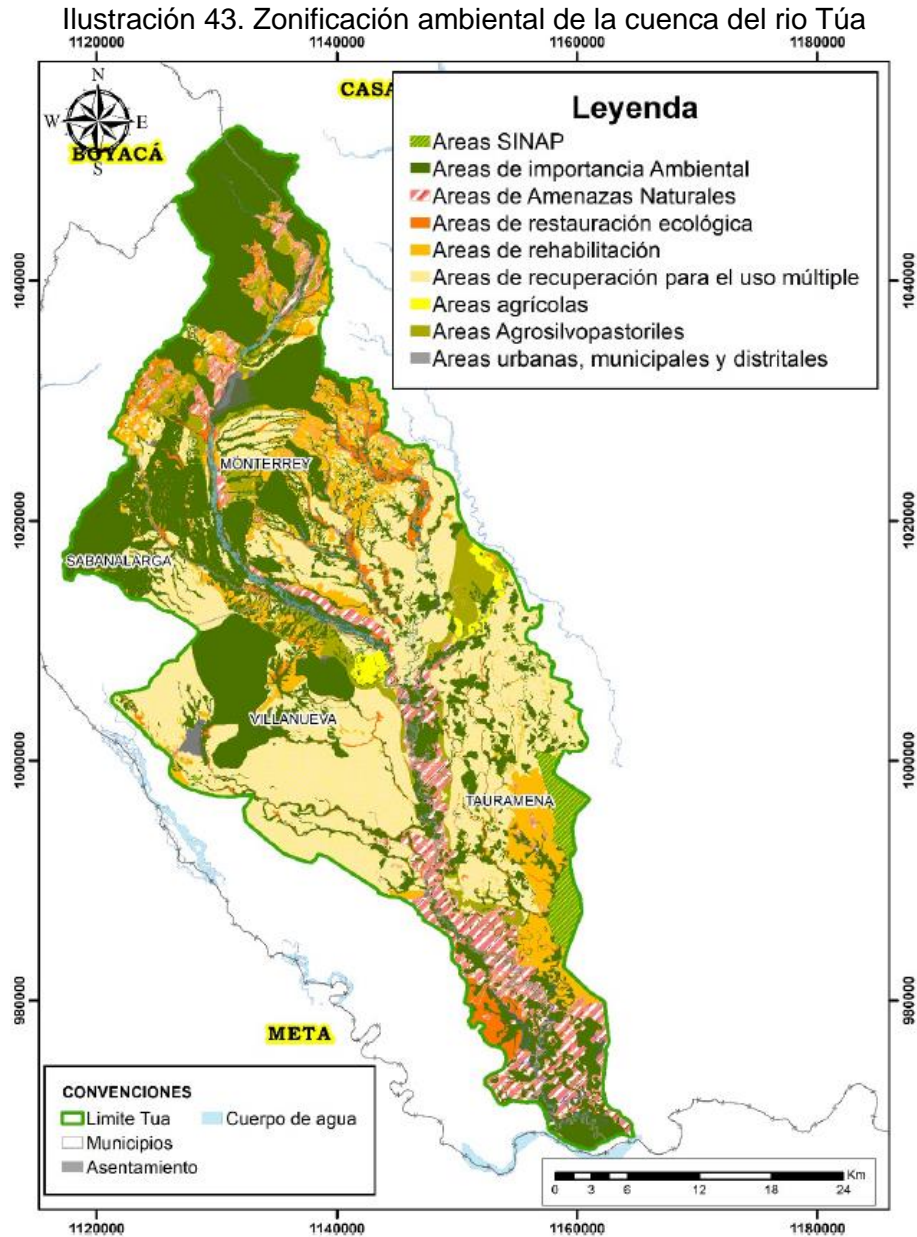
En adición, tener la opción de cuantificar, espacializar y categorizar los impactos “brutos<sup>7</sup>” y que operan de manera sinérgica, es esencial para la gestión territorial de paisajes locales en la medida que otorga herramientas para la toma de decisiones y acciones tanto para la prevención y control, la priorización de áreas para la conservación y restauración, per-sé, como para la identificación de motores de amenaza que podrían estar poniendo el peligro el funcionamiento de los sistemas naturales y por ende de los servicios ecosistémico del cual se sustentan. Espacializar los impactos humanos y categorizar su severidad, es esencial para la planificación y gestión de los paisajes locales.

---

<sup>7</sup> Brutos: hace referencia a netamente los impactos, sin tener en cuenta las características del biofísico del territorio.

### 5.1.4 Análisis de correspondencia entre la zonificación ambiental y la huella espacial humana de la cuenca del Río Túa.

En el proceso de elaboración del POMCA del Río Túa, uno de los documentos más importantes como resultados del mismo, es el documento técnico de la fase de prospectiva y zonificación ambiental, sobre la cual se define la ordenación y manejo de uso del suelo de la cuenca actuales y por los próximos 10 años.



Fuente: (CONSORCIO POMCA TUA 18, 2020), Pág. 483.

El documento técnico de zonificación (y la cartografía que la acompaña), registra el cumplimiento con criterios mínimos y los procedimientos básicos definidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través de la *Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas*.

Para los fines pertinentes del análisis de correspondencia, a continuación, se relaciona la zonificación ambiental y las categorías de manejo definidas para la cuenca del río Túa al año 2020. Ver ilustración 43 y tabla 20.

Tabla 20. Categorías de manejo de uso del suelo de la zonificación ambiental de la cuenca del río Túa.

Categoría de Ordenación	Zona de uso y Manejo	Subzona de Uso y Manejo	Área (ha)	% de Área	Símbolo
Conservación y Protección Ambiental	Áreas Protegidas	Áreas SINAP	2785,61	1,67	
		Subtotal Áreas Protegidas	2785,61	1,67%	
	Áreas de Protección	Áreas de importancia Ambiental	64071,03	38,48	
		Áreas de Amenazas Naturales	14055,76	8,44	
		Subtotal Áreas Protección	78126,79	46,92%	
	Áreas de Restauración	Áreas de restauración ecológica	6838,73	4,11	
		Áreas de rehabilitación	15339,47	9,21	
		Subtotal Áreas Restauración	22178,19	13,32%	
	Uso Múltiple	Áreas de Restauración	Áreas de recuperación para el uso múltiple	53451,31	32,10
Subtotal Áreas Restauración			53451,31	32,10%	
Áreas para la Producción agrícola, ganadera y de uso sostenible de Recursos Naturales		Áreas agrícolas	1445,51	0,87	
		Áreas Agrosilvopastoriles	7387,03	4,44	
		Subtotal Áreas de Áreas para la Producción agropecuaria	8832,54	5,30%	
Áreas Urbanas		Áreas urbanas, municipales y distritales	1139,37	0,68%	
Total Área de la Cuenca			166513,81	100,0%	

Fuente: Corregida de Tablas de atributos de mapas del POMCA

Para los fines pertinentes del análisis de correspondencia, se realizó la comparación del mapa de huella espacial humana producto del objetivo 1 del presente estudio, con las subzonas de uso y manejo definidas en la zonificación ambiental del POMCA del río Túa. La zonificación del POMCA definió nueve (9) subzonas de uso y manejo del suelo (ver tabla 22), de las cuales asignó: 1.67% a áreas SINAP, el 38,5% a áreas de importancia ambiental, el 32% para áreas de recuperación de uso múltiple, el 8,4% a áreas de amenaza natural, 4,1% áreas de restauración ecológica, el 9,2% a áreas de rehabilitación, el 4,4% a áreas agrosilvopastoriles, 0,9% áreas agrícolas y 0,7% áreas urbanas.

Es decir que destino el 0.7% para áreas urbanas, 40,2% de la cuenca para fines principales de conservación; cerca del 22% para fines de restauración y rehabilitación con fines de protección; 5,3% para fines productivos por vocación del suelo, y 32% para la recuperación para usos productivos y extractivos. Es decir, que en teoría el 62,4% de la cuenca no es apta para el establecimiento de sistemas productivos y/o extractivos, mientras que el 38% sí está disponible para estos fines.

No obstante, dentro de la definición detallada de la ordenación y usos del suelo, donde se define el uso principal, condicionado, prohibido y restringido para cada subzona de manejo, la propuesta del POMCA es ambigua, genérica y confusa, lo que se puede prestar para decisiones equivocadas.

Descartando los problemas de redacción y generalidad en la descripción de los usos del suelo definidos por el POMCA, se realiza el análisis de correspondencia con las áreas definidas en la cartografía del mismo y conforme los propósitos definidos por el MADS en la *Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas* para cada subzona de manejo.

Desde este punto de vista, los resultados del análisis comparativo arrojaron que, existe correspondencia entre las áreas definidas con fines de protección en el POMCA, con la categoría de huella natural, sin embargo, no existe correspondencia entre las áreas definidas para fines productivos con los resultados de huella humana alta. Por lo mismo, se realizó un análisis detallado para evaluar la correspondencia de cada categoría de huella humana con cada subzona de ordenación y manejo. Ver tabla 21.

Tabla 21. Área ocupada de las subzonas de manejo del POMCA por categoría de huella humana.

HUELLA HUMANA	Áreas SINAP	Áreas de importancia ambiental	Áreas de amenaza natural	Áreas de restauración ecológica	Áreas de rehabilitac	Áreas de recuperac para uso múltiple	Áreas agrícolas	Áreas agrosilvop astoriles	Áreas urbanas	Área Total (has)	%
NATURAL	0,00	5495,7	47,5	109,9	49,8	0,1	0,0	0,5	0,0	5703,4	3,4
BAJO	512,8	30942,3	3042,0	1936,7	4464,3	983,1	8,9	292,8	6,3	42189,2	25,3
MEDIO	2035,3	19524,3	8024,4	3482,5	9082,0	22050,1	940,7	4863,8	182,4	70185,5	42,2
ALTO	237,6	8108,7	2941,9	1309,7	1743,3	30418,1	495,9	2230,0	950,6	48435,7	29,1
Total general	2785,6	64071,0	14055,8	6838,7	15339,5	53451,3	1445,5	7387,0	1139,4	166513,8	100
%	1,67	38,5	8,4	4,1	9,2	32,1	0,9	4,4	0,7	100,00	

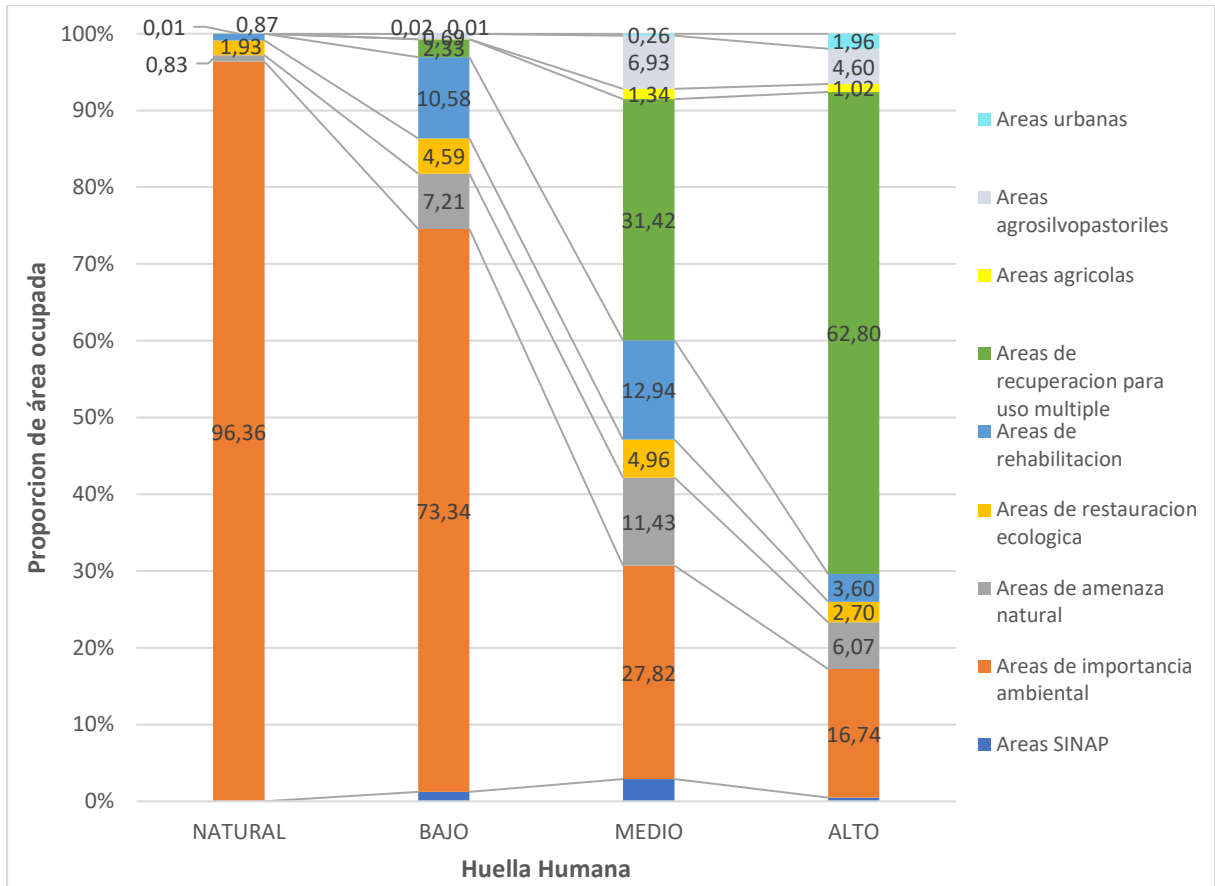
El análisis comparativo evidencia que las áreas de importancia ambiental definidas en la zonificación del POMCA, se encuentran altamente representadas en cada una de las categorías de huella humana, producto de la priorización para la protección de zonas de recarga hídrica, microcuencas abastecedoras y ecosistemas asociados como rondas hídricas, nacimientos, humedales, morichales de la cuenca. Ver ilustración 43.

No obstante, se considera pertinente que las áreas de importancia ambiental en las zonas de huella humana alta, sean incrementadas significativamente, principalmente por la reveladora área que cubre los impactos humanos acumulados y el alto riesgo que representa para sus ecosistemas, biodiversidad y sus gentes.

En contraste, las áreas SINAP se encuentran muy poco representadas a lo largo de toda la cuenca, muy a pesar de las especificidades de variedad de ecosistemas producto de las condiciones fisionómicas, bioclimáticas y físicas tan diversas y particulares de la cuenca. Solo cubren el 1.7% de la cuenca. Ver tabla 21. Las áreas SINAP, a pesar hacer parte de las áreas protegidas de orden nacional, por su importancia ambiental, alrededor del 5% de su territorio, se encuentran con huella alta, media y baja.

Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Jones et al (2018), quien encontró que un tercio de las áreas protegidas del mundo están influenciadas por una intensa actividad humana. Por lo tanto, incluso los paisajes que están protegidos están experimentando cierta presión humana, y solo las regiones más remotas e inaccesibles permanecen casi intactas (Jones et al., 2018). Ver ilustración 43.

Ilustración 44. Comparación Huella Humana vs. Subzonas de uso y manejo (POMCA).



De igual modo, otra categoría poco representada, son las áreas destinadas para la agricultura las cuales son bastante bajas en relación al área total de la cuenca, lo que podría estar evidenciando las escasas condiciones naturales de fertilidad de la cuenca para la productividad; y explicar en parte la proporción destinada para las áreas de recuperación de uso múltiple. Ver ilustración 44.

En ese orden de ideas, la proporción de áreas agrosilvopastoriles son una estrategia acertada para áreas en categoría de huella humana baja, media y alta y una alternativa apropiada para incrementar su cobertura en área destinadas para la recuperación de uso múltiple.



Tabla 22. Participación en área (%) de las subzonas de uso y manejo dentro de las categorías de huella humana.

HUELLA HUMANA	NATURAL	BAJO	MEDIO	ALTO
Areas SINAP	0	1,2	2,9	0,5
Areas de importancia ambiental	96,4	73,3	27,8	16,7
Areas de amenaza natural	0,83	7,21	11,4	6,1
Areas de restauracion ecologica	1,93	4,6	5,0	2,7
Areas de rehabilitacion	0,87	10,6	12,9	3,6
Areas de recuperacion para uso multiple	0,001	2,3	31,4	62,8
Areas agricolas	0	0,02	1,3	1,02
Areas agrosilvopastoriles	0,008	0,7	6,9	4,6
Areas urbanas	0	0,01	0,3	1,96
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Por su lado, las áreas de recuperación para uso múltiple se destacan por su proporción, especialmente en áreas con huella humana media y alta. Este último aspecto permite analizar que: 1. La cuenca ya cuenta con importantes áreas degradadas, 2. que los resultados de huella humana alta son muy cercanos a la realidad de la cuenca y evidenciados en el POMCA. En ese orden de ideas, es alarmante que se destine tanta área con fines productivos y el sistema ambiental cerca al colapso de los servicios ecosistémicos que ofrece, lo que claramente se convertiría en una cuenca insostenible económica y ambientalmente.

Para las áreas de la cuenca sin huella humana (Ver tabla 22), se destacan las áreas de importancia ambiental cubriendo el 96% del territorio, seguido de áreas de restauración ecológica (2% aprox.). En ese orden de ideas, existe alta correspondencia entre el estado de huella humana de la cuenca con los usos definidos por el instrumento de planificación territorial. Por otro lado, es importante destacar que la proporción de las áreas naturales (sin huella humana) de la cuenca es tan solo el 3.4%, por lo que se recomienda no permitir ninguna categoría de zonificación con fines de uso múltiple para estas zonas.

Tabla 23. Áreas sin huella humana (natural) vs. zonificación del POMCA.

HUELLA HUMANA	Subzonas de uso y manejo	AREA HAS	%
NATURAL	Áreas de importancia ambiental	5495,7	96,4
	Áreas de amenaza natural	47,5	0,8
	Áreas de restauración ecológica	109,9	1,93
	Áreas de rehabilitación	49,8	0,87

HUELLA HUMANA	Subzonas de uso y manejo	AREA HAS	%
	Áreas de recuperación para uso múltiple	0,06	0,001
3,4	Áreas agrosilvopastoriles	0,46	0,008
	Total	5703,4	100,000

Como se evidencia en la tabla 24, de las áreas de huella humana baja, el 73% están definidas en el POMCA como áreas de importancia ambiental: Esto se debe principalmente a que son zonas de relieve abrupto, con fuertes pendientes, y extrema dificultad de acceso (humano y carretable); lo que es coherente con el 7.2% de áreas de amenaza natural, y el 4.6% de áreas definidas para restauración o rehabilitación ecológica. Era de esperarse que este tipo de zonas con estas características biofísicas extremas, presenten huella humana baja; lo que a su vez respalda la congruencia de los resultados de huella humana.

De acuerdo con la descripción de las categorías de uso y manejo de la zonificación ambiental (pág. 489), las áreas de rehabilitación tienen como fin recuperar parte de los elementos estructurales y funcionales del ecosistema deteriorado, así como su productividad, no obstante, la descripción de los usos permitidos es:

*“desarrollar actividades de silvicultura, agroforestales, agricultura familiar, piscicultura, plantaciones forestales y/o productoras. Lo anterior desarrollando dichas actividades con técnicas de buenas prácticas, garanticen la protección de los ecosistemas estratégicos presentes en la cuenca. Se recomienda que las actividades a desarrollar sean compatibles con la capacidad del uso del suelo, para así reducir las presiones sobre los recursos naturales”.*

Bajo esta descripción y enfoque, el riesgo que éstas, cerca de 50has, con alto valor ecológico, sean fácilmente transformadas es inminente, con la desafortunada complacencia mal informada de la entidad territorial.

Tabla 24. Áreas huella humana baja vs. zonificación del POMCA.

HUELLA HUMANA	Subzonas de uso y manejo	AREA HAS	%
BAJO	Áreas SINAP	512,8	1,2
	Áreas de importancia ambiental	30942,3	73,3
	Áreas de amenaza natural	3042,0	7,2

	Áreas de restauración ecológica	1936,7	4,6
	Áreas de rehabilitación	4464,3	10,6
	Áreas de recuperación para uso múltiple	983,1	2,3
	Áreas agrícolas	8,9	0,02
	Áreas agrosilvopastoriles	292,8	0,69
25,3	Áreas urbanas	6,3	0,015

Con base en lo anterior, se recomienda verificar de manera detallada (escala 1:1), las áreas definidas con potencialidad agrícola, silvopastoril y de recuperación para uso múltiple, una vez que bajo estas condiciones de vulnerabilidad física y de acceso, los costos de producción y la sostenibilidad productiva es mucho más baja y los riesgos socioambientales más altos.

La huella humana media es la unidad más grande de la cuenca (42%). De la misma el 31%, es decir, 22.050 has (Ver tabla 25) están definida por el POMCA como áreas de recuperación para uso múltiple. En primera instancia se puede interpretar que estos ecosistemas, ya son áreas degradadas producto de actividades humanas, lo que respalda los resultados del presente estudio; y en segunda instancia, que son áreas bastante vulnerables y bajo las actuales prácticas de manejo de los proyectos productivos y extractivos, son ecosistemas con alto riesgo de convertirse en áreas con huella humana alta.

Estas áreas deberían definir usos muy detallados, donde se apliquen diferentes estrategias de manejo para el mantenimiento de los bienes y servicios ecosistémicos que prestan. Las áreas de huella humana deberían estar destinadas más a usos de protección, restauración y rehabilitación, y en casos muy específicos de áreas agrosilvopastoriles con fuertes controles de prácticos de uso y manejo, precisamente por el riesgo en que se encuentran.

Tabla 25. Huella humana media vs. zonificación del POMCA.

HUELLA HUMANA	Subzonas de uso y manejo	AREA HAS	%
MEDIO	Áreas SINAP	2035,3	2,9
	Áreas de importancia ambiental	19524,3	27,8
	Áreas de amenaza natural	8024,4	11,4
	Áreas de restauración ecológica	3482,5	5,0
	Áreas de rehabilitación	9082,0	12,9
	Áreas de recuperación para uso múltiple	22050,1	31,4
	Áreas agrícolas	940,7	1,3

	Áreas agrosilvopastoriles	4863,8	6,9
42,1%	Áreas urbanas	182,4	0,3

Por otro lado, la subzona de uso y manejo: áreas de importancia ambiental, cubre cerca del 28% del área que ocupa la huella humana media (Ver tabla 25). Lo que hace considerar estos terrenos como zonas de prioridad para su protección, ya que independientemente de la categoría de uso contemplada en el POMCA, son zonas imprescindibles, pero altamente impactadas y con alto riesgo de desaparecer.

En adición, las áreas de restauración ecológica que ocupan el 5% de la huella humana media y áreas de rehabilitación que ocupan cerca del 13%(Ver tabla 25), las cuales representan ecosistemas con evidentes alteraciones en su función y estructura (ya degradados), son zonas que se configuran en territorios sobre los que se pueden emprender diseños y tratamientos para minimizar la huella humana, con técnicas no solo con fines conservacionistas sino productivos que proporcionen alternativas, más sostenibles ambiental y socioeconómicamente, a corto, mediano y largo plazo.

Por defecto, en la definición de las áreas agrícolas y silvopastoriles, en el POMCA se incorporan variables relacionadas con los conflictos socioambientales, los cuales para este caso se subvaloraron, ya que fueron caracterizados como leves y los resultados de este estudio contradicen los mismos.

Las áreas agrícolas y agrosilvopastoriles, que representan cerca de 7% de la huella humana media, podrían ser escasamente viables en términos económicos y ambientales, en el sentido de que terrenos con huella de esta categoría podrían ser poco productivos, eficientes y sostenibles en el tiempo y representar pérdidas a mediano y largo plazo. Una vez que el ecosistema entre en colapso, sin retorno, deja de ofrecer los servicios ecosistémicos de los cuales inminentemente depende, generando efectos irreversibles sobre la economía local, el sistema natural y su biodiversidad asociada.

Finalmente, en la huella humana alta, que ocupa cerca del 30% de la cuenca, el POMCA destinó el 63% (cerca de 30.000mil has), como áreas de recuperación para uso múltiple (ver tabla 26). De acuerdo con el POMCA estas áreas tienen el propósito de “ *...sobre estas áreas se plantea el desarrollo de actividades de silvicultura, agroforestales,*

*agricultura familiar, piscicultura, plantaciones forestales productoras y otras actividades productivas existentes que involucren buenas prácticas y garanticen la protección de los ecosistemas estratégicos de la cuenca; y las cuales fueron catalogadas como tal por: “... áreas productivas que presentan algún tipo de conflictos socio-naturales por sobreutilización del suelo y/o presión sobre el recurso hídrico y es necesario la recuperación del recurso para seguir con el uso productivo” Documento de prospectiva y zonificación ambiental. Página 490 (CONSORCIO POMCA TUA 18, 2020).*

En ese orden de ideas, aunque es indispensable recuperar ecosistemas degradados con fines productivos; la generalidad, ambigüedad, flexibilidad de los usos establecidos permite múltiples interpretaciones y no existe una clara orientación de cómo manejar estos territorios; no define condiciones de manejo más proactivas y propositivas, lo que incrementa el riesgo actual de uso del suelo pues permite realizar cualquier tipo de actividad, no define con claridad el uso principal, el uso permitido, el uso condicionado y el uso prohibido. Este enfoque es irresponsable y está desconociendo y subvalorando los criterios y procedimientos técnicos previos que sustentan la categorización y ordenación del territorio. La ambigüedad de lo permitido, no permitido y no sugerido está imprimiendo un destino inminente negativo que favorece el daño ambiental, irreversible, de la cuenca.

Tabla 26. Huella humana alta vs. zonificación del POMCA.

HUELLA HUMANA	Subzonas de uso y manejo	AREA HAS	%
ALTO	Áreas SINAP	237,6	0,490
	Áreas de importancia ambiental	8108,7	16,741
	Áreas de amenaza natural	2941,9	6,074
	Áreas de restauración ecológica	1309,7	2,704
	Áreas de rehabilitación	1743,3	3,599
	Áreas de recuperación para uso múltiple	30418,1	62,801
	Áreas agrícolas	495,9	1,024
	Áreas agrosilvopastoriles	2230,0	4,604
29,1	Áreas urbanas	950,6	1,963
Total 4		48435,7	100,000

Las áreas SINAP y las áreas de importancia ambiental definidas por el POMCA, dentro de esta categoría de huella humana alta, son fundamentales una vez que estas 8.000 has (17%) debería estar conservadas o en proceso de restauración, y se encuentran

fuertemente deterioradas. Se recomienda tomar acciones de urgencia para la protección, conservación y restauración de estos territorios de tan alta sensibilidad.

Las áreas agrícolas y agrosilvopastoriles que representan cerca del 6% de las áreas de huella humana alta, posiblemente sean poco productivas y económicamente no viables, ya que ambientalmente se encuentran fuertemente alteradas. Para lo mismo, se recomienda tomar urgentes medidas de recuperación y evitar el inminente daño ecológico y sus efectos adversos.

Bajo este enfoque, y tal como lo enfatiza (Williams, Grantham, et al., 2020), el área total de tierra convertido a la agricultura es el principal impulsor inevitable de la biodiversidad y la pérdida de servicios de los ecosistemas. Por lo que las soluciones a la ausencia de armonización del desarrollo productivo y mantenimiento de servicios ecosistémicos y su biodiversidad, radica en la planificación proactiva y el desarrollo de agricultura ambientalmente sensible política y práctica de desarrollo en la región; con el fin de lograr objetivos de expansión agrícola y maximizar el beneficio económico al tiempo que se minimizan los impactos en el medio ambiente de la Orinoquia.

## 6. Conclusiones

La presente investigación responde a la necesidad de medir los impactos humanos acumulados a **escala local** (1:25.000) y a la construcción de sistemas de indicadores espaciales accesibles, a través del índice de huella humana adaptada, una vez que los estudios existentes han tenido exclusivamente carácter global, nacional y regional. Esta herramienta espacial genera una línea base de información para fortalecer y robustecer la toma de decisiones en materia de gestión ambiental para garantizar los bienes y servicios ecosistémicos y su biodiversidad.

En este contexto, se propuso un enfoque metodológico bajo indicadores geográficos de **carácter local** que responden a dimensiones biofísicas, económicas, demográficas y sociales, resaltando la inclusión de la percepción social como variable de innovación.

El enfoque metodológico implementado para evaluar la huella humana en paisajes locales, otorgó los resultados esperados; se cumplieron los objetivos propuestos: se midió y espacializó el impacto humano acumulado para paisajes locales, aplicado en la cuenca del río Túa; se evaluó la correspondencia del instrumento de planificación (POMCA) con los resultados obtenidos, y se evaluó la pertinencia de la vulnerabilidad biofísica en la ecuación de la huella humana.

La descripción detallada del protocolo metodológico implementado en la presente investigación, junto con los insumos utilizados, otorga a las entidades territoriales locales, un referente y una oportunidad para implementar este tipo de investigaciones con importantes alcances y perspectivas de análisis del territorio.

Los resultados de huella humana para la cuenca del río Túa son consistentes con los resultados de huella espacial humana para Colombia, para los llanos orientales de

Colombia y con los *hotspots* de cambio por intervención antrópica para el sur de Casanare, de acuerdo con los últimos estudios (2020) del Instituto Alexander von Humboldt.

El resultado de la huella humana en la cuenca del río Túa, es una muestra significativa de los fuertes procesos de transformación antrópica sobre el amplio gradiente altitudinal que viene sufriendo el departamento del Casanare, en detrimento principalmente de sistemas naturales únicos como bosques densos del piedemonte, bosques de galería y las sabanas naturales inundables y no inundables. Sistemas amenazados principalmente por la deforestación de grandes extensiones de tierra, para la producción agroindustrial de arroz, palma y en los últimos años de piscícolas.

El 70% de cuenca del río Túa presenta intensos procesos de transformación antrópica, lo que implica que, si se continua bajo el mismo patrón de transformación de los últimos 16 años y no se toman medidas urgentes de prevención, conservación y restauración; cerca del 118.620,7 has podrían convertirse en los próximos años no solo en áreas con huella humana alta, sino en zonas de riesgo para la población con efectos irreversibles, en ecosistemas sin capacidad de retorno y por tanto en la desaparición de los bienes y servicios ecosistémicos y su biodiversidad; lo que tendría fuertes y costosas implicaciones económicas y sociales a corto, mediano y largo plazo.

Un índice de huella alto representa un impacto más severo sobre la biodiversidad y los procesos ecológicos. Para la cuenca del río Túa, estas áreas se encuentran fuertemente relacionadas con paisajes planos, donde prevalecen coberturas de pastizales para ganadería (54% de huella humana alta), los cultivos de palma (17%) y arroz (5%). Lo que sugiere mayores esfuerzos para la búsqueda de alternativas productivas más sostenibles, más eficientes y más productivas, especialmente donde hay presencia de ecosistemas únicos como las sabanas naturales.

Sobre la base que los sistemas naturales actúan bajo condiciones que operan de forma simultánea y sinérgica tanto de factores biofísicos como socioeconómicos, se concluyó que la incorporación de la vulnerabilidad biofísica es determinante dentro de la ecuación de la huella humana para paisajes locales, no solo porque permite espacializar áreas más sensibles para priorizar su protección, sino identificar aquellos sistemas naturales con suficiente capacidad de resiliencia para sostener mejor el desarrollo de proyectos productivos; siempre y cuando las prácticas de manejo de los mismos propendan por la



equidad socio-económica y bajo la comprensión de la dinámica espacio-temporal natural del sistema. Por lo tanto, las decisiones políticas de planificación espacial deberán encontrar equilibrio entre la eficiencia económica y la capacidad de resiliencia del sistema, sin poner en riesgo el funcionamiento del sistema natural, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que sustentan al territorio y a sus habitantes.

La vulnerabilidad biofísica expresa en gran medida la capacidad de resiliencia del sistema para sostener, tolerar y amortiguar los impactos humanos (y potencialmente recuperarse). En este sentido los resultados demostraron que, en términos generales, la huella humana sin vulnerabilidad biofísica contaba con mayor proporción de áreas con huella humana alta y media, que incorporándola.

En ese orden de ideas, se sugiere incorporar a la vulnerabilidad como una capa complementaria y dependiente de los propósitos del estudio. Si bien se pretende identificar las áreas con mayor huella humana, independientemente de la capacidad del sistema para amortiguar la presión humana, se sugiere no incluir el índice de vulnerabilidad biofísica, tal como lo sugiere Correa Ayram *et al* (2020). Pero si el propósito está más orientado al riesgo y/o analizar la capacidad de respuesta del sistema a la presión humana, se sugiere incluir el índice de la vulnerabilidad biofísica a la ecuación, como lo sugiere Etter *et al.*, (2011).

Para casos de análisis de la huella humana a escala detallada y con fines de planificación del territorio, la incorporación de la vulnerabilidad biofísica es determinante, además porque permite priorizar aquellas áreas que persisten con huella humana alta (con y sin vulnerabilidad biofísica), dando idea de áreas potencialmente más degradadas y más cercanas al punto de no retorno o irreversibilidad del sistema (daño ambiental).

Las categorías de ordenación y uso del suelo, definidas en la zonificación del POMCA, en términos generales, no responden ni son coherentes con el estado de transformación y amenaza de la cuenca del río Túa. Gran parte del territorio (63%) con áreas degradadas, fueron destinadas a áreas de recuperación de uso múltiple, con usos para actividades productivas y extractivas, yendo en contravía con los propósitos de sostenibilidad nacional e internacional y poniendo en riesgo el funcionamiento de los ecosistemas y sus servicios ecosistémicos.

La fase de campo del presente estudio permitió identificar variedad de impactos humanos que no se encuentran caracterizados, monitoreados, modelados ni espacializados tales como la contaminación de los cuerpos de agua principalmente por proyectos piscícolas, arroceros, de hidrocarburos y viales; la caza furtiva para alimentación y mascotas, el radio de influencia real de especies sinantrópicas en las fincas, entre otras, que operan a escala local. Sin embargo, es indispensable también incorporar a los modelos variables como el cambio climático, especies invasoras, contaminación del aire y suelo, entre otras, por lo que es posible que la falta de inclusión subestime los resultados obtenidos.

La huella espacial humana local, identifica los niveles actuales de impacto ambiental dentro de la cuenca del río Túa, pero también permite proporcionar las bases de información para conocer dónde es más probable que ocurran los impactos ambientales futuros y acumulativos, incorporando el tiempo de la intervención y la vulnerabilidad biofísica de la tierra. En adición, proporciona información sobre cómo se distribuyen geográficamente las áreas más vulnerables, lo cual puede facilitar la gestión ambiental para controlar los impactos ambientales negativos y orientar mejor las decisiones de planificación del uso de la tierra. Una aplicación obvia del mapeo de la huella espacial es su inclusión en la priorización de la conservación y / o planificación de la restauración, por lo que la comparación de la huella humana con un instrumento de planificación como el POMCA es realmente pertinente y procedente. Por lo tanto, la gestión de los ecosistemas tanto en áreas naturales como en mosaicos de paisajes rurales debe basarse en el nivel de impacto humano, ya que esto puede influir en la probabilidad de éxito de las inversiones (Etter *et al.*, 2011)

El presente estudio tiene las mismas limitaciones que son inherentes a todos esfuerzos de mapeo del impacto humano acumulado, porque no es posible tener en cuenta todas las presiones humanas existentes en un lugar, lo que significa que nuestra evaluación es probable que subestime la pérdida de ecosistemas intactos y subestime el impacto real y sinérgicos de los impactos humanos.

## 7. Recomendaciones

Debido a la utilidad de los análisis prospectivos, uno de los pasos a seguir dentro de los procesos de medir huella humana, es fundamental reconstruir la historia de las variables utilizadas a través de análisis multitemporales específicos de la cuenca del río Túa, y determinar el índice de huella humana en los tiempos de análisis. De esta forma, sería posible no solo cuantificar el cambio e identificar áreas de priorización, sino analizar bajo los patrones históricos, donde y cuáles serían los patrones espaciales de las categorías de huella en la cuenca a corto, mediano y largo plazo. Resultados definitivos para la gestión ambiental territorial.

Se sugiere incorporar dentro de los estudios de huella humana futuros de la cuenca, una variedad más amplia de presiones humanas en relación a la dimensión atmosférica (retroalimentación climática local, contaminación), hidrológica (dinámica de cuencas hidrográficas) y biológica (factores como la movilidad de las especies, dispersión e invasiones); aspectos fundamentales que complementarían la comprensión del estado de los sistemas naturales de la cuenca (Etter et al., 2011). Es fundamental que la investigación futura esté orientada a comprender mejor los impulsores de la pérdida de ecosistemas intactos, para posteriormente encontrar mecanismos que armonicen el desarrollo socioeconómico (Díaz et al., 2019) (Costanza *et al.*, 2016)

Se sugiere realizar investigaciones detalladas del área de acción de las especies sinantrópicas (gatos y perros) en la zona rural, las cuales explotan áreas naturales para

cazar fauna nativa (aves, roedores, reptiles, entre otros) de forma que pueda ajustarse el área de influencia de impacto sobre el territorio, sus efectos y preferencias de cacería.

Es esencial continuar validando la metodología de huella humana a diferentes escalas, así como disminuir el nivel de incertidumbre de los conjuntos de datos, a través del fortalecimiento del monitoreo y su espacialización.

Para los fines pertinentes, es esencial determinar el estado de degradación y/o daño de los ecosistemas, identificando los tipos de disturbio y tensionantes operantes, y así definir el potencial de restauración del área bajo estudio. Este potencial dependerá de la calidad de los ecosistemas de referencia y la capacidad de resiliencia del mismo. Por lo que, estudios como monitoreo de biodiversidad (fauna y flora), análisis poblacional de las especies, análisis de distribución y desplazamiento de las especies, entre otras, deberán realizarse tanto en sistemas disturbados como en sistemas de referencia, con el fin de compararlos y establecer el estado del ecosistema bajo estudio y la estrategia y técnica de restauración, recuperación o rehabilitación más eficiente.

Es indispensable incrementar de manera significativa las áreas de importancia ambiental, así como las áreas SINAP definidas dentro de la zonificación ambiental del POMCA, una vez que los ecosistemas intactos (sin huella) son demasiado reducidos en extensión en relación a la cuenca, la representatividad de la variedad de los mismos es extremadamente baja y existe una importante participación de ecosistemas dentro de alguna categoría de amenaza. Dentro del proceso de priorización de áreas de interés, es preciso incorporar sabanas naturales, bosques de las rondas de los ríos, humedales y morichales.

Las áreas definidas en la zonificación del POMCA con destinación agrosilvopastoril, son coherentes y presentan correspondencia con los resultados de huella humana media. No obstante, se recomienda incrementar su proporción una vez que las mismas son funcionales como alternativas para la recuperación de uso múltiple que presentan proporciones importantes para la cuenca y para las categorías de huella mencionadas.

Se recomienda a los municipios que hacen parte de la cuenca en estudio, que incorporen dentro de los planes de ordenamiento medidas de acción para la prevención, control y manejo y uso del suelo más eficiente, teniendo en cuenta los resultados de la presente

investigación; y haciendo uso del rigor subsidiario, ajustar la ordenación del suelo propuesta por el POMCA.

Se hace determinante fortalecer los programas de monitoreo de especies a escala de la cuenca. Estos son indispensables para la gestión ambiental de la misma, en el sentido de que permiten priorizar áreas de conservación, protección y restauración, determinar el estado de los ecosistemas, identificar ecosistemas en alto riesgo de colapso ecosistémico, identificar rutas de distribución, alimentación, nidación de especies, conocer el estado de los servicios y bienes ecosistémicos, identificar especies nuevas, conocer el estado de las poblaciones de especies en alguna categoría de amenaza, identificar especies más afectadas, entre otras. Estos programas requieren principalmente de voluntad política, algunos recursos económicos de sostenimiento, profesionales idóneos y principalmente, el manteamiento de los mismos en el tiempo.

Para fortalecer la gestión ambiental de paisajes locales, con los resultados de la presente investigación, y aún más por la escala de trabajo, es preciso apostar al diseño de corredores de conectividad para la cuenca, con el fin de fomentar la conectividad de especies, conectar ecosistemas aun intactos, ecosistemas en alto riesgo de colapso y ecosistemas urgentes por recuperar lo que potenciaría el cumplimiento de objetivos de conservación de carácter nacional. Para los fines pertinentes, es pertinente revisar las investigaciones de Correa Ayram *et al* (2017), Correa Ayram *et al* (2018), (Crooks *et al.*, 2011) entre otros.





## Anexo B: Formato 2. Análisis de percepción

ANALISIS DE PERCEPCION DE IMPACTO HUMANO													
		VS.											
1	MINERIA	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	EXPLORACION HIDROCARBUROS
	EXPLORACION HIDROCARBUROS	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	PISCICULTURA
	PISCICULTURA	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	INFRAESTRUCTURA ELECTRICA
	INFRAESTRUCTURA ELECTRICA	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	GANADERO
	GANADERO	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	PALMERO
	PALMERO	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	CANALIZACION
	CANALIZACION	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	ARROCERO
	ARROCERO	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	ASENTAMIENTOS/URBANIZACION
	ASENTAMIENTOS/URBANIZACION	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	INFRAESTRUCTURA VIAL
	INFRAESTRUCTURA VIAL	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	USO DEL SUELO
	USO DEL SUELO	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	MINERIA
	2	MINERIA	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
EXPLORACION HIDROCARBUROS		5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	PISCICULTURA
PISCICULTURA		5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	INFRAESTRUCTURA ELECTRICA
INFRAESTRUCTURA ELECTRICA		5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	GANADERO
GANADERO		5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	PALMERO
PALMERO		5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	CANALIZACION
CANALIZACION		5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	ARROCERO
ARROCERO		5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	ASENTAMIENTOS/URBANIZACION
ASENTAMIENTOS/URBANIZACION		5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	INFRAESTRUCTURA VIAL
INFRAESTRUCTURA VIAL		5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	USO DEL SUELO
USO DEL SUELO		5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	MINERIA
3		MINERIA	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
	EXPLORACION HIDROCARBUROS	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	INFRAESTRUCTURA ELECTRICA
	PISCICULTURA	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	GANADERO
	INFRAESTRUCTURA ELECTRICA	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	PALMERO
	GANADERO	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	CANALIZACION
	PALMERO	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	ARROCERO
	CANALIZACION	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	ASENTAMIENTOS/URBANIZACION
	ARROCERO	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	INFRAESTRUCTURA VIAL
	ASENTAMIENTOS/URBANIZACION	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	USO DEL SUELO
	INFRAESTRUCTURA VIAL	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	MINERIA
	USO DEL SUELO	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	EXPLORACION HIDROCARBUROS



## Anexo C: Marco legal

### Políticas nacionales

El Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), del cual Colombia es parte, establece en su artículo 6d la necesidad de que cada una de las partes diseñe y revise permanentemente sus políticas públicas sobre el tema y adopte mecanismos concretos para la protección de la diversidad biológica, de manera que se contribuya de manera eficaz al cumplimiento de las Metas de Aichi (Plan Estratégico para la Diversidad Biológica) para reducir las tasas de pérdida de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.

Ilustración 45. Metas de Aichi para la diversidad biológica.

- **Objetivo estratégico A** : Abordar las causas subyacentes de la pérdida de diversidad biológica mediante la integración de la diversidad biológica en el gobierno y la sociedad.
- **Objetivo estratégico B** : Reducir las presiones directas sobre la diversidad biológica y promover el uso sostenible.
- **Objetivo estratégico C** : Mejorar el estado de la diversidad biológica salvaguardando los ecosistemas, las especies y la diversidad genética.
- **Objetivo estratégico D** : Mejorar los beneficios para todos de la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas
- **Objetivo estratégico E** : Mejorar la implementación a través de la planificación participativa, la gestión del conocimiento y la creación de capacidad.

Fuente: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (SCBD).

El objetivo de estas metas es llegar al año 2050 con una visión del mundo en el que la diversidad biológica sea valorada, conservada, restaurada y utilizada racionalmente, manteniendo los servicios de los ecosistemas, sustentando un planeta saludable y brindando beneficios para todos<sup>8</sup>.

De acuerdo con este reto, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) a través del Viceministerio de Ambiente y su Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios

---

<sup>8</sup> <http://chmcolombia.co/politica-y-cooperacion/acuerdos/cdb/plan-estrategico-2011-2020/met-as-aichi/>

Ecosistémicos, establece la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), como una política de estado cuyo objetivo es promover la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (Gibse), de manera que se mantenga y mejore la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos, a escalas nacional, regional, local y transfronteriza, considerando escenarios de cambio y a través de la acción conjunta, coordinada y concertada del estado, el sector productivo y la sociedad civil (MADS, 2012).

Esto significa que esta PNGIBSE será la que enmarque y oriente conceptual y estratégicamente todos los demás *instrumentos ambientales de gestión* (políticas, normas, planes, programas y proyectos), existentes o que se desarrollen, para la conservación de la biodiversidad en sus diferentes niveles de organización, además de ser base de articulación intersectorial y parte fundamental en el desarrollo del país (MADS, 2012).

La PNGIBSE plantea de esta forma un cambio significativo en la forma de gestión de la biodiversidad, que se refleja en su desarrollo conceptual. Estos cambios implican, entre otros aspectos, el reconocimiento a una gestión que permita el *manejo integral de sistemas ecológicos y sociales íntimamente relacionados*, así como la conservación de la biodiversidad en un sentido amplio, es decir, entendida como el resultado de una interacción entre sistemas de preservación, restauración, uso sostenible y construcción de conocimiento e información (MADS, 2012).

Igualmente, la PNGIBSE reconoce el carácter estratégico de la biodiversidad como fuente principal, base y garantía del suministro de servicios ecosistémicos, indispensables para el desarrollo del país, como base de nuestra competitividad y como parte fundamental del bienestar de la sociedad colombiana.

De manera complementaria y basado en instrumentalización técnica, se formula el documento de política enfocada al recurso hídrico, como culminación de una serie de iniciativas por parte de ministerio de medio ambiente y desarrollo territorial (MAVDT) para establecer directrices unificadas para el manejo agua en el país, en el marco del cumplimiento del Plan de desarrollo (PD) 2006-2010.

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años. Tiene como objetivo orientar la planificación, administración, seguimiento y monitoreo del recurso hídrico a nivel nacional bajo un criterio de gestión integral del mismo (MinAmbiente, 2010).

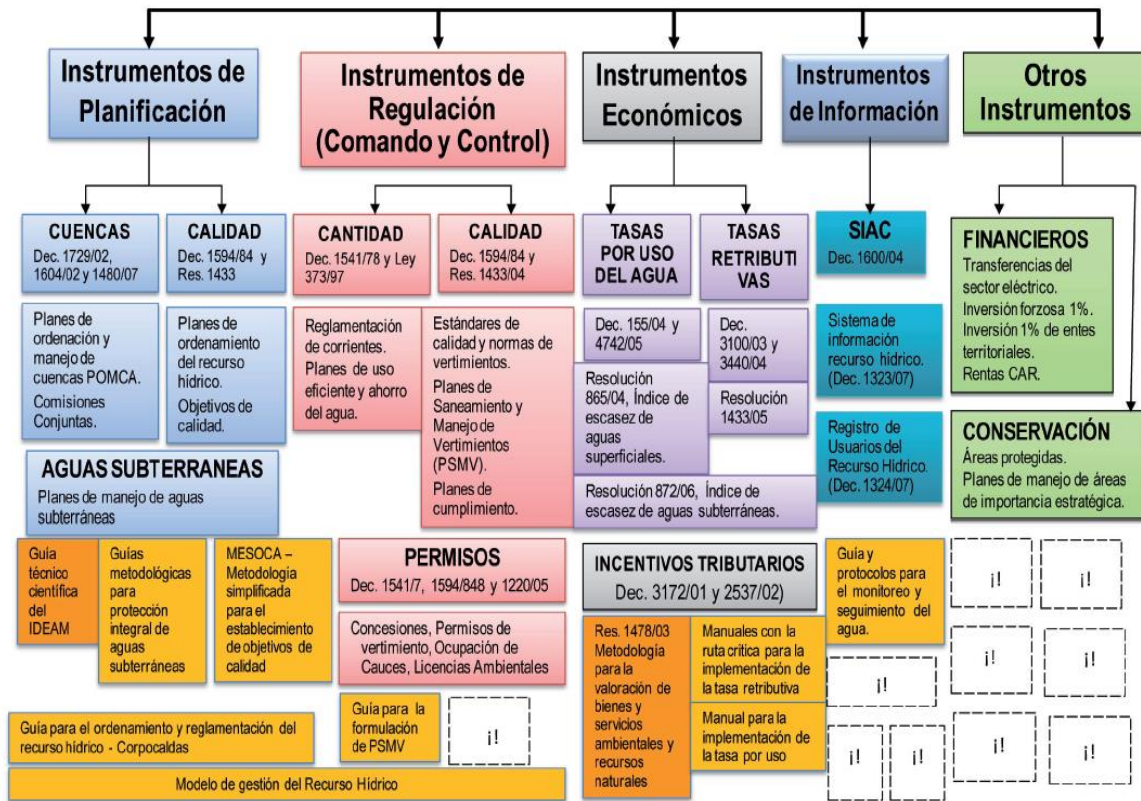
La política parte de la concepción de que el agua es un bien natural de uso público administrado por el Estado a través de las corporaciones autónomas regionales, las de desarrollo sostenible y las autoridades ambientales urbanas. Se reconoce además el carácter estratégico del agua para todos los sectores sociales, económicos y culturales del país.

Por lo tanto, esta política resulta ser transversal para otras esferas de la acción pública y para los diversos usuarios en todas las regiones del país; no obstante, se enmarca dentro de las estrategias de la Política Nacional de Biodiversidad, que comprenden la conservación, el conocimiento y la utilización sostenible de los recursos naturales y de la biodiversidad del país (MinAmbiente, 2010)

Es importante destacar, que, si bien el desarrollo normativo ha sido importante, el desarrollo de las actuales guías metodológicas y cajas de herramientas, han apoyado su aplicación tanto a nivel nacional como local.

A continuación, se relaciona un esquema de las principales normas para la gestión del recurso hídrico.

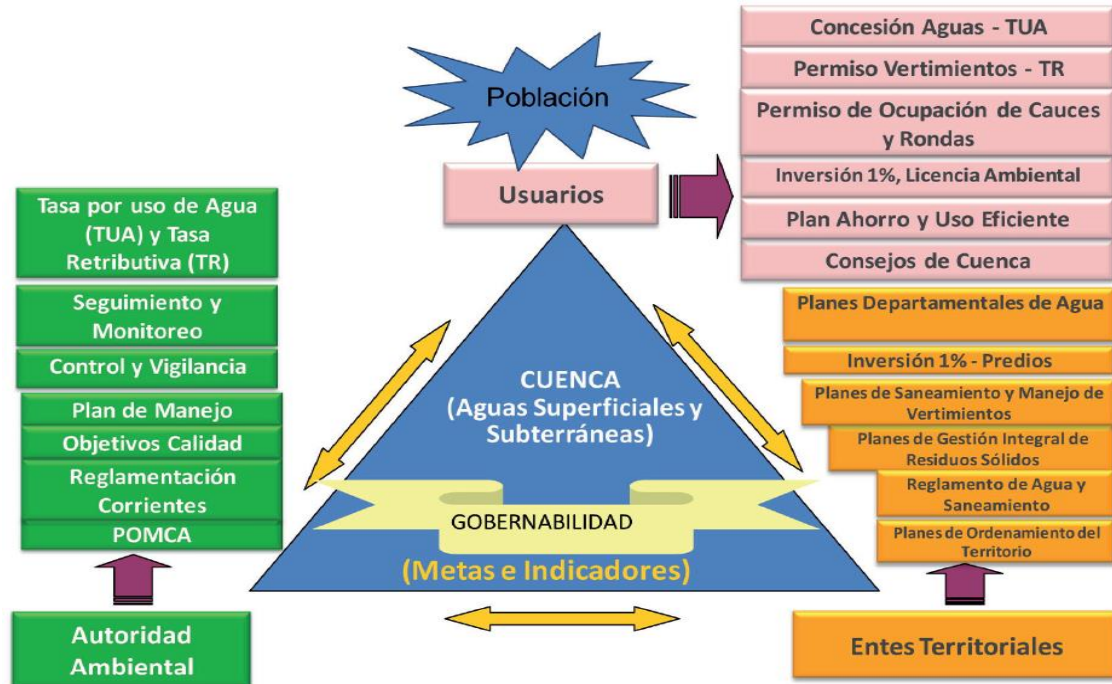
Ilustración 46. Marco normativo e instrumental para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.



Fuente: MAVDT, 2009

Por otro lado, si bien el espacio geográfico o la unidad espacial de gestión donde se va a aplicar la política es la cuenca hidrográfica, en este espacio confluyen los tres actores clave para la gestión integral del recurso hídrico, tal como se muestra en la ilustración 8; estos actores interactúan a través de los instrumentos que la Política para la GIRH ha puesto a su disposición (MinAmbiente, 2010).

Ilustración 47. Interacción de actores e instrumentos para la gestión del recurso hídrico en la cuenca.



Fuente: (MinAmbiente, 2010)

También es importante destacar que es en la cuenca hidrográfica donde se medirá el cumplimiento de las metas nacionales de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico y las específicas que se definan en el Plan Hídrico Nacional. Dada la forma de relación entre los actores que interactúan en la cuenca, se observa que la gobernabilidad sobre el recurso hídrico es un aspecto de fundamental importancia para la política, en la medida en que hace posible que dichas relaciones se den de manera armónica, efectiva, eficiente y eficaz (MinAmbiente, 2010).

## Gestión del recurso hídrico

La gestión del recurso hídrico y el concepto de ordenación de cuencas hidrográficas, tienen sus orígenes en la expedición del Decreto 1381 de 1940 (por el entonces Ministerio de Economía Nacional), en el cual se determinan los primeros lineamientos explícitos de política para el manejo del agua, sin embargo, es hasta la expedición del Código Nacional

de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto - Ley 2811 de 1974) que se da inicio a la planificación ambiental del territorio.

“El Segundo Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, (UNESCO, 2006) establece que son los sistemas de gobierno y administración son los que determinan quién obtiene una determinada clase de agua, cuándo y de qué manera, y deciden quién tiene derecho al acceso al agua y servicios conexos; no obstante, indica que esos sistemas no pueden limitarse únicamente a los “gobiernos” propiamente dichos, sino que deben incluir a los poderes públicos locales, al sector privado y a la sociedad civil, y deben considerar dinámicas demográficas, de salud, seguridad alimentaria, desarrollo económico, ordenamiento territorial y expansión urbana, los recursos financieros destinados al agua y la conservación de los ecosistemas estratégicos” (MADS, 2014).

En Colombia a través del proceso de implementación de la Política Nacional para Gestión Integral del Recurso Hídrico, se ha avanzado en la construcción del concepto de gobernanza del agua, el cual reconoce la prioridad del consumo humano en procesos de coordinación y cooperación de distintos y diversos actores sociales, sectoriales e institucionales que participan en su **gestión integrada**; y **asume al territorio y a la cuenca como entidades activas** en tales procesos, con el fin de evitar que el agua y sus dinámicas se conviertan en amenazas para las comunidades y, garantizar la integridad y diversidad de los ecosistemas, para asegurar la oferta hídrica y los servicios ambientales (MADS, 2014).

Por su lado, los planes de ordenación y manejo cuencas hidrográficas (POMCA) son instrumentos propicios para que tanto en su formulación como en su implementación se construyan escenarios que permitan el desarrollo de la gobernanza del agua, donde se reflejen los acuerdos y compromisos entre el poder público, la sociedad civil, las comunidades étnicas y los sectores económicos (MADS, 2014). Para la formulación del POMCA es necesario reconocer que los intereses de los diversos actores son relevantes y que, por ende, requiere de la consideración justa y equitativa de las necesidades y responsabilidades existentes en la cuenca, lo que hace imprescindible el establecimiento de procedimientos transparentes, para la consideración motivada de las recomendaciones

de los actores clave, lo que constituirá la base de confianza de las interacciones de las personas que intervienen (MADS, 2014).

Ello implica dentro del proceso de formulación del POMCA, fomentar la conciencia colectiva frente al valor económico de la gestión del agua, identificar estrategias de autogestión y autofinanciación desde los territorios mismos para garantizar la implementación de los proyectos que mantengan la provisión de bienes y servicios ecosistémicos de la cuenca (MADS, 2014). Actualmente los planes de ordenación y manejo de cuencas (POMCAs), se encuentran compilado en el decreto 1076 del 2015, que tiene como objeto planear el correcto uso de los recursos hídricos, el suelo, la flora y la fauna, entre otros aspectos de importancia para el ordenamiento del territorio y el manejo de una Cuenca Hidrográfica, además buscar su aprovechamiento, manteniendo un equilibrio social, ambiental y económico.

Para el correcto cumplimiento normativo y desarrollo técnico de los POMCAs, el Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible (MADS), en cabeza del IDEAM, a través de la resolución 1907 del 27 de diciembre del 2013, y en cumplimiento de sus facultades y funciones, establece una guía que define los criterios, procedimientos y metodologías para orientar a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CARs), en la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

La “*Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*”, incorpora lineamientos y directrices de la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico (PNGIRH) (2010) en relación con la estructura de planificación de cuencas hidrográficas y a lo establecido en el Decreto 1640 de agosto de 2012.

El propósito de la guía, si bien consiste en definir los criterios, procedimientos y metodologías para orientar el proceso de formulación de los POMCAs, para las fases de aprestamiento, diagnóstico, prospectiva y zonificación ambiental, formulación, ejecución y, seguimiento y evaluación, también precisa los lineamientos para abordar los temas de participación y la inclusión de la gestión del riesgo, acordes con lo definido en los instrumentos de política y marco normativo (MADS, 2014).

Ilustración 48. Principales instrumentos de manejo de recursos naturales renovables a considerar en los POMCAS

Nivel	Tipo	Instrumentos
Nacional	Planificación	Planes estratégicos de macrocuencas Zonificación ambiental reservas forestales Ley 2ª de 1959 Plan de manejo de áreas protegidas de orden nacional
Regional	Planificación	Plan de manejo ambiental de aguas subterráneas Plan de ordenamiento del recurso hídrico. Plan de manejo de áreas protegidas de orden regional. Planes de manejo de páramos, humedales y manglares. Planes de ordenación forestal. Planes de manejo integrado de unidades ambientales costeras. Plan ambiental y de acción de la Autoridades Ambientales urbanas. Estudios de identificación de ecosistemas de importancia estratégica para la conservación del recurso hídrico. Demás instrumentos de planificación de recursos naturales renovables en el ámbito regional.
Regional o Local	Administrativos	Económicos: tasa por uso del agua, tasa retributiva pago por servicios ambientales, incentivos tributarios. Normativos: reglamentación de uso del agua, licencias ambientales, concesiones, permisos de vertimiento, acotamiento de rondas hídricas, ocupación de playas, cauces y lechos. Financieros: inversión del 1% - transferencias sector eléctrico, inversión Entes Territoriales, Rentas, fondos nacionales y locales. Información: sistema de información del recurso hídrico, registro de usuarios del recurso hídrico. Seguimiento: seguimiento a las políticas, planes, programas y proyectos, programa regional de monitoreo del recurso hídrico.

Fuente: Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible, 2013 (MADS, 2014).

Los diferentes instrumentos de planificación ambiental de orden nacional, regional y local, deben articularse con las directrices y medidas de manejo que se establezcan para los recursos naturales renovables, lo cual facilitará el manejo integrado de la cuenca hidrográfica. Para esto, es necesario que durante el proceso de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica, se consideren los planes de manejo o instrumentos de planificación de recursos naturales renovables concurrentes en el área objeto de ordenación, así como los instrumentos y planes sectoriales con el fin de prever la demanda de recursos naturales en la cuenca, los impactos potenciales sobre los mismos, los ecosistemas y la biodiversidad (MADS, 2014).

Por otro lado, el artículo 10 de la Ley 388 de 1997, establece que en la elaboración y adopción de sus planes de ordenamiento territorial los municipios y distritos deberán tener



en cuenta determinantes, que constituyen normas de superior jerarquía, en sus propios ámbitos de competencia, de acuerdo con la Constitución y las leyes (MADS, 2014).

Dentro de dichas determinantes se encuentran las relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales, la prevención de amenazas y riesgos naturales y dentro de estas, las relacionadas con las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas de competencia de la Corporación Autónoma Regional o de Desarrollo Sostenible (MADS, 2014).

Las determinantes ambientales se definen como el conjunto de directrices, términos y condiciones que deben aplicarse para garantizar la sostenibilidad ambiental de los procesos de ordenamiento territorial en el área de jurisdicción de Corporinoquia y se constituyen en norma de superior jerarquía al momento de ordenar el territorio municipal.

Las Determinantes Ambientales tienen como alcance orientar el ordenamiento integral del territorio en el área de la jurisdicción de la CAR, para los fines pertinentes de este estudio, CORPORINOQUIA; bajo un enfoque de desarrollo ambientalmente sostenible, con territorios más seguros y resilientes al cambio climático.

Teniendo en cuenta la variedad ecosistémica, de paisajes y la riqueza natural de la región, las Determinantes Ambientales obedecerán en su estructuración a los elementos definidos para la jurisdicción, los cuales trascienden la división político administrativa, promueven la preservan de los ecosistemas y el desarrollo sostenible del territorio.

Las determinantes ambientales establecidas por Corporinoquia para el área de su jurisdicción, se encuentran actualizadas para el año 2017, bajo la resolución No. 300.41.17.2193 del 26 de diciembre del 2017. Estas deben ser incorporadas tanto en los Planes de Ordenamiento Territorial (POTs), como en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAs).

## Bibliografía

- Armenteras, D., & Vargas, O. (2015). Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. *Landscape Patterns and Restoration Scenarios : Bridging Scales. Acta Biológica Colombiana*, 21(1), 229–240.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/abc.v21n1sup.50848>
- Australian Government. (2015). Our North Our Future: Whitepaper on Developing Northern Australia. *Northern Australia*, 1–192.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780125450805500142>
- Bocco, G., & Urquijo, P. S. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región Y Sociedad*, 56. <https://doi.org/10.22198/rys.2013.56.a100>
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4(8), 765–781.  
<https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>
- Chapin III, F. Stuart, Zavaleta, E. S., Eviners, V. T., Naylor, R., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., Hooper, D. U., Lavorel, S., Sala, O. E., Hobbie, S. E., Mack, M. C., & Diaz, S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Insight Review Articles*, 405, 234–242. <https://doi.org/10.1093/asj/sjx227>
- Chi, Y., Shi, H., Zheng, W., Sun, J., & Fu, Z. (2017). *Spatiotemporal characteristics and ecological effects of the human interference index of the Yellow River Delta in the last 30 years*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.025>
- Clark, W. C. (2007). Sustainability science: A room of its own. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(6), 1737–1738.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0611291104>
- CONSORCIO POMCA TUA 18. (2020). *Fase diagnóstico: Actualización del plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Tua*.
- Correa Ayram, C. A. (2017). La huella espacial humana en la conectividad del paisaje e identificación de áreas importantes para su conservación. *Global Online Seminar Series in Biodiversity Informatics, March*.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14541.03044>
- Correa Ayram, Etter, A., Díaz-Timoté, J., Rodríguez Buriticá, S., Ramírez, W., & Corzo,

- G. (2020). Spatiotemporal evaluation of the human footprint in Colombia: Four decades of anthropic impact in highly biodiverse ecosystems. *Ecological Indicators*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106630>
- Correa Ayram, Etter, A., & Pérez-Salicrup, D. R. (2018). Effect of the landscape matrix condition for prioritizing multispecies connectivity conservation in a highly biodiverse landscape of Central Mexico. *Regional Environmental Change*, 19(1), 149–163. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1393-8>
- Correa Ayram, Mendoza, M. E., Etter, A., & Pérez Salicrup, D. R. (2017). Anthropogenic impact on habitat connectivity: A multidimensional human footprint index evaluated in a highly biodiverse landscape of Mexico. *Ecological Indicators*, 72, 895–909. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.007>
- Costanza, R., Daly, L., Fioramonti, L., Giovannini, E., Kubiszewski, I., Mortensen, L. F., Pickett, K. E., Ragnarsdottir, K. V., De Vogli, R., & Wilkinson, R. (2016). Modelling and measuring sustainable wellbeing in connection with the UN Sustainable Development Goals. *Ecological Economics*, 130, 350–355. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.07.009>
- Crooks, K. R., Burdett, C. L., Theobald, D. M., Rondinini, C., Boitani, L., & Università, V. (2011). *Global patterns of fragmentation and connectivity of mammalian carnivore habitat*. 2642–2651. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0120>
- Demeritt, D. (2009). Geoforum Geography and the promise of integrative environmental research. *Geoforum*, 40(2), 127–129. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2008.08.010>
- Díaz, S., Josef Settele, Brondízio, E., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., Chan, K., Lucas A. Garibaldi, K. I., Liu, J., Subramanian, Mazhenchery, S., Midgley, Miloslavich, G. F., Molnár, P. Z., Obura, D., ... Zayas, C. (2019). IPBES, 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services. In *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)*. IPBES secretariat. <https://doi.org/10.1111/padr.12283>
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*, 9(12), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Etter, A., Angela, A., Saavedra, K., Amaya, P., Arevalo, P., Cortés, J., Pacheco-Riaño, L. C., & Soler, D. (2017). *Lista Roja de Ecosistemas de Colombia (Vers.2.0)*. 8(5), 0–5. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10861.08165>
- Etter, Andrade, Saavedra, Amaya, & Arévalo. (2017). *Estado de Los ecosistemas Colombianos*. 2, 1–138.
- Etter, McAlpine, C. A., Seabrook, L., & Wilson, K. A. (2011). Incorporating temporality and biophysical vulnerability to quantify the human spatial footprint on ecosystems. *Biological Conservation*, 144(5), 1585–1594. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.02.004>

- Etter, McAlpine, C., & Possingham, H. (2008). Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: A regionalized spatial approach. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1), 2–23. <https://doi.org/10.1080/00045600701733911>
- Geist, H., & Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioOne*, 52(2), 143–150.
- Guhl, E., & Pablo, N. (2014). *La gestión ambiental en Colombia, 1994-2014*:
- Haines, A. M., Leu, M., Svancara, L. K., Scott, J. M., & Reese, K. P. (2008). A theoretical approach to using human footprint data to assess landscape level conservation efforts. *Conservation Letters*, 1(4), 165–172. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263x.2008.00024.x>
- Hernández, J., & Vieyra, A. (2010). Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana: ¿El desastre nace o se hace? *Revista de Geografía Norte Grande*, 47, 45–62. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022010000300003>
- HJ MacKinder. (1887). A Journey to Central Uruguay Author ( s ): D . Christison Source : Proceedings of the Royal Geographical Society and Monthly Record of Geography , Published by : Wiley on behalf of The Royal Geographical Society ( with the Institute of British Geographers. *Actas de La Royal Geographical Society y Monthly Record of Geography*, 9(3), 141–174.
- IDEAM. (2010). Estudio nacional del agua. In O. Franco, M. Garcia, & O. Vargas (Eds.), *Ministerio de Medio Ambiente*.
- IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua. In *Estudio Nacional del Agua 2014*.
- Jones, K. R., Venter, O., Fuller, R. A., Allan, J. R., Maxwell, S. L., Negret, P. J., & Watson, J. E. M. (2018). One-third of global protected land is under intense human pressure. *Science*, 360(6390), 788–791. <https://doi.org/10.1126/science.aap9565>
- Kays, R. W., & DeWan, A. A. (2004). Ecological impact of inside/outside house cats around a suburban nature preserve. *Animal Conservation*, 7(3), 273–283. <https://doi.org/10.1017/S1367943004001489>
- Leon Gutierrez, A. (2005). Gestion ambiental: estrategia de desarrollo sostenible? *Trabajo Social*, 1(1), 85–109.
- Leu, M., Hanser, S. E., & Knick Steven T. (2008). THE HUMAN FOOTPRINT IN THE WEST : A LARGE-SCALE ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC IMPACTS. *Ecological Applications*, 18(5), 1119–1139.
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A. N., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C. L., Schneider, S. H., & Taylor, W. W. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. In *Science* (Vol. 317, Issue 5844, pp. 1513–1516). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1144004>

- MADS. (2014). Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas. In *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible* (Vol. 1).  
[http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas-hidrograficas/GUIA\\_DE\\_POMCAS.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas-hidrograficas/GUIA_DE_POMCAS.pdf)
- MADS, M. de A. y D. S. (2012). Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (PNGIBSE). In *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, República de Colombia*.  
<http://www.humboldt.org.co/es/component/k2/item/646-pngibse>
- MEA. (2003). *Ecosystems and Human Well-being: a framework for assessment* (Island Pre).
- MinAmbiente. (2010). *Política Nacional Recurso Hídrico*.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra*.
- Noss, R. F. (1983). A Regional Landscape Approach to Maintain Diversity. *BioScience*, 33(11), 700–706. <https://doi.org/10.2307/1309350>
- Reboratti, C. (n.d.). Pensando la Geografía Ambiental. In *Geografía y Ambiente* (pp. 21–44).
- Romero, H., & Opazo, D. (2011). Ecología Política De Los Espacios Urbanos Metropolitanos: Geografía De La Injusticia Ambiental. *Revista Geográfica de América Central*, 2, 1–15.
- Sanderson, E. W., Jaiteh, M., Levy, M. A., Redford, K. H., Wannebo, A. V., & Woolmer, G. (2002). The human footprint and the last of the wild. *BioScience*, 52(10), 891–904. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0891:THFATL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0891:THFATL]2.0.CO;2)
- Shen, F., Yang, L., He, X., Zhou, C., & Adams, J. M. (2020). Understanding the spatial–temporal variation of human footprint in Jiangsu Province, China, its anthropogenic and natural drivers and potential implications. *Scientific Reports*, 10(1).  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-70088-w>
- Strassburg, B. B. N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A. E., Oliveira Filho, F. J. B., De Scaramuzza, C. A. M., Scarano, F. R., Soares-Filho, B., & Balmford, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology and Evolution*, 1(4), 1–3.  
<https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>
- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., & Draper Munt, D. (2017). Spatio-temporal analysis of the human footprint in South Ecuador: Influence of human pressure on ecosystems and effectiveness of protected areas. *Applied Geography*, 78, 22–32.  
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.10.007>
- Toro, J., Duarte, O., Requena, I., & Zamorano, M. (2012). Determining Vulnerability Importance in Environmental Impact Assessment. The case of Colombia. *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), 107–117.

- <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.06.005>
- Turner, B. L. (2010). Vulnerability and resilience: Coalescing or paralleling approaches for sustainability science? *Global Environmental Change*, 20(4), 570–576. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.07.003>
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matsone, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensene, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14), 8074–8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- Urquijo, P. S., & Bocco, G. (2011). Los estudios de paisaje y su importancia en México , 1970-2010. *Journal of Latin American Geography*, 10(2), 37–63. <https://doi.org/10.1353/lag.2011.0025>
- Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., Possingham, H. P., Laurance, W. F., Wood, P., Fekete, B. M., Levy, M. A., & Watson, J. E. M. (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications*, 7, 1–11. <https://doi.org/10.1038/ncomms12558>
- Williams, B. A., Grantham, H. S., Watson, J. E. M., Alvarez, S. J., Simmonds, J. S., Rogéliz, C. A., Da Silva, M., Forero-Medina, G., Etter, A., Nogales, J., Walschburger, T., Hyman, G., & Beyer, H. L. (2020). Minimising the loss of biodiversity and ecosystem services in an intact landscape under risk of rapid agricultural development. *Environmental Research Letters*, 15(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5ff7>
- Williams, B. A., Venter, O., Allan, J. R., Atkinson, S. C., Rehbein, J. A., Ward, M., Di Marco, M., Grantham, H. S., Ervin, J., Goetz, S. J., Hansen, A. J., Jantz, P., Pillay, R., Rodríguez-Buriticá, S., Supples, C., Virnig, A. L. S., & Watson, J. E. M. (2020). Change in Terrestrial Human Footprint Drives Continued Loss of Intact Ecosystems. *One Earth*, 3(3), 371–382. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.08.009>
- Woolmer, G., Trombulak, S. C., Ray, J. C., Doran, P. J., Anderson, M. G., Baldwin, R. F., Morgan, A., & Sanderson, E. W. (2008). Rescaling the Human Footprint: A tool for conservation planning at an ecoregional scale. *Landscape and Urban Planning*, 87(1), 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.04.005>
- Wu, J., & Hobbs, R. (2002). Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology Landsc. Ecol.*, 17, 355–365. <http://www.scopus.com/scopus/inward/record.url?eid=2-s2.0-0036033445&partnerID=40&rel=R7.0.0%5Cnpapers3://publication/uuid/4A229E7B-2438-4927-8D5F-A74BF12D6E2A>