

LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA
METROPOLITANA DE CALI: SU ORGANIZACIÓN ESPACIAL Y
PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

EMMANUEL ZAPATA CALDAS

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES
SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA
NOVIEMBRE DE 2021

LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA DEL ÁREA DE INFLUENCIA
METROPOLITANA DE CALI: SU ORGANIZACIÓN ESPACIAL Y
PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

EMMANUEL ZAPATA CALDAS

Tesis doctoral presentada como requisito parcial para optar al título de
Doctor en Ciencias Ambientales

Director:
Dr. Oscar Buitrago Bermúdez

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES
SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA
NOVIEMBRE DE 2021

DEDICATORIA

*«Oh Dios, mi Dios, mi Bienamado, el Deseo de mi corazón».
De los escritos bahá'ís.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Mi querida familia en Colombia y España. Desde lo más profundo de mi alma y mi corazón, nunca podré agradecerles de manera adecuada todo el apoyo, amor y guía incondicionales durante cada fase de este proceso formativo fueron determinantes para llevar esta investigación a buen puerto. Una mención especial para mi querida esposa, Leili, por su amor y solidaridad a lo largo de estos seis años, y a mis hijos, Gabriel y Alejandro, por su gran paciencia.

Mi apreciado profesor Oscar Buitrago Bermúdez, quien, como amigo, siempre estuvo a mi lado para bríndame su consejo académico y de vida.

Mis queridos compañeros y amigos del Doctorado y del Grupo Territorios de la Universidad del Valle. La dinámica de apoyo mutuo y la amistad que forjamos contribuyeron enormemente al logro de nuestros objetivos.

Mis supervisores de estancia doctoral en el Instituto de Ciencias y Tecnología Ambientales (ICTA) de la Universidad Autónoma de Barcelona, España, por acogerme como uno más en el grupo de investigación durante los ocho meses de mi experiencia académica en Europa.

Todos los docentes y personal administrativo del Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad del Valle. Gracias por su dedicación y contribución a la formación de doctores con perspectiva de servicio a la sociedad.

Minciencias y Colfuturo por financiar y administrar los fondos que me permitieron realizar los estudios doctorales, y a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle por financiar los recursos utilizados en el trabajo de campo y la compra de insumos de investigación.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO	V
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE IMÁGENES	IX
LISTA DE TABLAS	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT	XII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. OBJETIVOS	27
1.2.1. <i>General</i>	27
1.2.3. <i>Específicos</i>	27
1.3. JUSTIFICACIÓN	27
1.4. ESTRUCTURA DE LA TESIS	31
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	34
2.1. ESTADO DEL ARTE	34
2.1.1. <i>Escala internacional: Tendencias y problemáticas más recurrentes asociadas con la valoración de servicios ecosistémicos alrededor del mundo</i>	35
2.1.2. <i>Escala nacional: Colombia y la triada «servicios ecosistémicos, estructuras ecológicas y áreas metropolitanas»</i>	39
2.2. MARCO TEÓRICO.....	42
2.2.1. <i>El enfoque crítico</i>	42
2.2.2. <i>El concepto central a la luz del enfoque crítico: La estructura ecológica o infraestructura verde</i>	50
CAPÍTULO III: PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	55
3.1. PRIMERA FASE: IDENTIFICACIÓN DE LOS LÍMITES DEL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	55
3.2. SEGUNDA FASE: CAPACIDAD DE LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	58
3.2.1. <i>Primer subproceso: Clasificación de las coberturas de la tierra a escala 1:25 000</i>	59
3.2.2. <i>Segundo subproceso: Valoración de las coberturas de la tierra y establecimiento de la estructura ecológica</i>	61
3.2.3. <i>La estructura ecológica: el primer y segundo nivel</i>	70
3.3. TERCERA FASE: CAPACIDAD POTENCIAL DE LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	71
CAPÍTULO IV: EL ÁREA DE INFLUENCIA METROPOLITANA DE CALI DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS	74
4.1. EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO «ÁREA DE INFLUENCIA METROPOLITANA DE CALI»	74
4.1.1. <i>Trabajo de campo</i>	74
4.1.3. <i>Delimitación del sistema socioecológico</i>	79

4.2.	LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA Y SU CAPACIDAD, AL 2016, PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	85
4.2.1.	<i>Capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos</i>	90
4.2.2.	<i>Capacidad para demandar servicios ecosistémicos</i>	95
4.2.3.	<i>Establecimiento de la estructura ecológica: Matriz y mapa de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos</i>	99
4.3.	SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ORGANIZACIÓN ESPACIAL	111
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN		125
5.1.	LA DEFINICIÓN DE ÁREAS METROPOLITANAS: ¿CÓMO HACERLO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA SUSTENTABILIDAD ECOLÓGICA?.....	125
5.2.	DE LO ANTROPOCÉNTRICO A LO ECOCÉNTRICO PARA IDENTIFICAR LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA	132
5.3.	LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA DE PRIMER NIVEL FRENTE A CATEGORÍAS DE PROTECCIÓN NACIONAL Y REGIONAL: ¿REALMENTE OPERAN DE MANERA CORRECTA ESPACIALMENTE?	134
5.4.	POSIBILIDADES QUE OFRECE LA SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE ORGANIZACIÓN ESPACIAL ...	138
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		143
REFERENCIAS		147
ANEXOS		162
ANEXO 1. ESTRUCTURA DEL SCRIPT EN PYTHON PARA EL MUESTREO ESTRATIFICADO		162
ANEXO 2. ESTRUCTURA DEL SCRIPT EN PYTHON PARA LA CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS.....		163
ANEXO 3. ENCUESTA DE <i>GOOGLE DOCS</i> Y EJEMPLO DEL FORMATO DILIGENCIADO POR LOS EXPERTOS.		164
ANEXO 4. MUESTRA DE MAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA EN ARCGIS ONLINE USADO COMO INSUMO LA CONSULTA A EXPERTOS.....		169
ANEXO 5. DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE APROVISIONAMIENTO. ADAPTADO DE HAINES-YOUNG Y POTSCHIN (2013) Y TABARES-MOSQUERA & GAITÁN-IDÁRRAGA (2018)		170
ANEXO 6. DESCRIPCIÓN DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA «TERRITORIOS AGRÍCOLAS». ADAPTADO DE IDEAM (2010) Y TABARES-MOSQUERA & GAITÁN-IDÁRRAGA (2018).....		177
ANEXO 7. GLOSARIO DE TÉRMINOS USADO POR EXPERTOS PARA LA VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS. ADAPTADO TABARES-MOSQUERA & GAITÁN-IDÁRRAGA (2018)		189
ANEXO 8. MATRIZ DE CAPACIDAD PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CON LOS VALORES CONSTANTES DE MULTIFUNCIONALIDAD Y SINGULARIDAD UTILIZADOS PARA GENERAR ESAS DOS MATRICES.....		190
ANEXO 9. LA IMPORTANCIA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CULTURALES PROPORCIONADOS POR LAS ZONAS VERDES URBANAS		192
ANEXO 10. MATRIZ DE BALANCE DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR COBERTURA DE LA TIERRA.....		196
ANEXO 11. MATRIZ DE MULTIFUNCIONALIDAD DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR COBERTURA DE LA TIERRA		198
ANEXO 12. MATRIZ DE SINGULARIDAD DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR COBERTURA DE LA TIERRA		200
ANEXO 13. VALLE DEL CAUCA. MAPAS DE ÁREAS APTAS PARA CULTIVOS PERMANENTES Y TRANSITORIOS PARA CADA CUENCA HIDROGRÁFICA		202
ANEXO 14. CAUCA. MAPAS DE ÁREAS APTAS PARA CULTIVOS PERMANENTES Y TRANSITORIOS PARA CADA CUENCA HIDROGRÁFICA		204
ANEXO 15. REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LAS ONCE CATEGORÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL CON JURISDICCIÓN EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO		206
ANEXO 16. CATEGORÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL CON JURISDICCIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO		207

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. A. VALLE GEOGRÁFICO DEL RÍO CAUCA. LA DELIMITACIÓN SE REALIZÓ CON BASE EN LA ZONIFICACIÓN HIDROGRÁFICA DEL INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM) DE 2013. B. MAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA PARA EL PERÍODO 2010–2012	17
FIGURA 2. BOSQUE NATURAL EN EL VALLE GEOGRÁFICO DEL RÍO CAUCA ENTRE 1990 Y 2015	20
FIGURA 3. ÁRBOL DE PROBLEMAS COMPUESTO POR LOS DOS PROCESOS QUE CONFIGURAN EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN (<i>I. E.</i> , DESARROLLO URBANO Y DESARROLLO AGROINDUSTRIAL), LOS INSUMOS QUE ESTOS GENERAN, SUS CAUSAS DIRECTAS E INDIRECTAS, Y SUS EFECTOS	26
FIGURA 4. ESQUEMA DE LOS TEMAS ABORDADOS EN EL ESTADO DEL ARTE DE LA INVESTIGACIÓN	34
FIGURA 5. APLICACIÓN DEL ENFOQUE CRÍTICO A TRAVÉS DE LA TEORÍA DE SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS.....	49
FIGURA 6. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO DE LA TESIS.....	56
FIGURA 7. UBICACIÓN DEL EMBALSE LA SALVAJINA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA	75
FIGURA 8. RECORRIDO POR EL RÍO CAUCA PARA ENTENDER DINÁMICAS DE LA RELACIÓN SOCIEDAD-NATURALEZA AL ORIENTE ENTORNO DE CALI.....	77
FIGURA 9. EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO «ÁREA DE INFLUENCIA METROPOLITANA DE CALI».....	80
FIGURA 10. EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO EN SURAMÉRICA	84
FIGURA 11. MOSAICO EN COLOR NATURAL (BANDAS 3, 2, 1)	86
FIGURA 12. MOSAICO CLASIFICADO (ÍNDICE DE KAPPA DE 84%)	86
FIGURA 13. MAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA RESULTADO DE LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES RAPIDÉYE.....	87
FIGURA 14. PORCENTAJE DE ÁREA OCUPADA POR LAS CATEGORÍAS DE COBERTURAS DE LA TIERRA CLASIFICADAS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	87
FIGURA 15. CAPACIDAD PROMEDIO POR GRUPO TEMÁTICO PARA PROPORCIONAR LOS VEINTIÚN SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EVALUADOS: A) ÁREAS ARTIFICIALIZADAS; B) ÁREAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA; C) BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES; D) ÁREAS HÚMEDAS CONTINENTALES (HUMEDALES); Y F) SUPERFICIES DE AGUA	92
FIGURA 16. CAPACIDAD PROMEDIO POR GRUPO TEMÁTICO PARA DEMANDAR LOS VEINTIÚN SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EVALUADOS: A) ÁREAS ARTIFICIALIZADAS; B) ÁREAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA; C) BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES; D) ÁREAS HÚMEDAS CONTINENTALES (HUMEDALES); Y F) SUPERFICIES DE AGUA	96
FIGURA 17. ESTRUCTURA ECOLÓGICA: CAPACIDAD TOTAL DE SUS ELEMENTOS (COBERTURAS DE LA TIERRA NATURALES Y SEMINATURALES) PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO. REPRESENTACIÓN DE LAS SEIS CLASES DE LA ESCALA <i>LIKERT</i>	104
FIGURA 18. ESTRUCTURA ECOLÓGICA: CAPACIDAD TOTAL DE SUS ELEMENTOS (COBERTURAS DE LA TIERRA NATURALES Y SEMINATURALES) PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO. REPRESENTACIÓN DE LOS DOS NIVELES QUE COMPOENEN LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA: PRIMER Y SEGUNDO NIVEL.....	106
FIGURA 19. ESTRUCTURA ECOLÓGICA DE PRIMER NIVEL: COBERTURAS DE LA TIERRA CON CAPACIDAD MEDIANA, ALTA Y MUY ALTA PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	107
FIGURA 20. ÁREA DE COBERTURAS DE LA TIERRA DE LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA DEL PRIMER NIVEL.....	108
FIGURA 21. ESTRUCTURA ECOLÓGICA DE SEGUNDO NIVEL: COBERTURAS DE LA TIERRA CON CAPACIDAD BAJA Y MUY BAJA PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO.	109
FIGURA 22. ÁREA DE COBERTURAS DE LA TIERRA DE LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA DE SEGUNDO NIVEL	110
FIGURA 23. ÁREA DE COBERTURAS DE LA TIERRA QUE NO HACEN PARTE DE LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA	111

FIGURA 24. COBERTURAS SELECCIONADAS TRAS LA APLICACIÓN DEL CRITERIO DE UBICARSE POR ENCIMA DE TERCER CUARTIL DE PORCENTAJE DE ÁREA EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	112
FIGURA 25. COBERTURAS SELECCIONADAS TRAS LA APLICACIÓN DEL CRITERIO DE UBICARSE POR DEBAJO DEL PRIMER CUARTIL DE CAPACIDAD TOTAL PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO.....	113
FIGURA 26. APTITUD ALTA PARA CULTIVOS TRANSITORIOS VS. MAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA	114
FIGURA 27. APTITUD ALTA PARA CULTIVOS PERMANENTES VS. MAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA.....	115
FIGURA 28. PORCENTAJE DE ÁREA APTA PARA CULTIVOS TRANSITORIOS COINCIDIENDO CON LOS DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	116
FIGURA 29. PORCENTAJE DE ÁREA APTA PARA CULTIVOS PERMANENTES COINCIDIENDO CON LOS DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	116
FIGURA 30. PORCENTAJE DE CAMBIO ESTIMADO EN LA PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS TRAS LA SIMULACIÓN DE ÁREAS CON CULTIVOS PERMANENTES Y TRANSITORIOS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	121
FIGURA 31. PORCENTAJE DE CAMBIO ESTIMADO EN LA PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS TRAS LA SIMULACIÓN DE ÁREAS CON CULTIVOS PERMANENTES Y TRANSITORIOS EN LAS CUENCAS DEL VALLE DEL CAUCA	122
FIGURA 32. PORCENTAJE DE CAMBIO ESTIMADO EN LA PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS TRAS LA SIMULACIÓN DE ÁREAS CON CULTIVOS PERMANENTES Y TRANSITORIOS EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA	124
FIGURA 33. TERRITORIOS URBANO-RURALES HOMOGÉNEOS DEL VALLE DEL CAUCA	131
FIGURA 34. GRUPOS RESULTANTES DEL CRUCE ENTRE CATEGORÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL NACIONALES Y REGIONALES CON JURISDICCIÓN EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO Y LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA DE PRIMER NIVEL.....	136
FIGURA 35. NÚMERO DE FOTOGRAFÍAS POR COBERTURA DE LA TIERRA EN LA CIUDAD DE CALI	193

LISTA DE IMÁGENES

IMAGEN 1. PANORÁMICA DEL EMBALSE LA SALVAJINA Y LAS COBERTURAS DE LA TIERRA PREDOMINANTES EN EL ENTORNO. LA IMAGEN HACE REFERENCIA AL EXTREMO NORTE DEL EQUIPAMIENTO.	76
IMAGEN 2. VISUAL DEL CENTRO DE OPERACIONES DEL EMBALSE LA SALVAJINA. LA IMAGEN HACE REFERENCIA AL ÁREA DE AGUAS DEBAJO DE LA MURALLA DE CONTENCIÓN, UBICADA EN EL EXTREMO NORTE DEL EQUIPAMIENTO.....	76
IMAGEN 3. TIPO DE COBERTURAS DE LA TIERRA EN EL NORORIENTE DEL EMBALSE LA SALVAJINA. PREDOMINAN LOS PASTOS LIMPIOS Y LA VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN.....	76
IMAGEN 4. TIPO DE COBERTURAS DE LA TIERRA EN EL NOROCCIDENTE DEL EMBALSE LA SALVAJINA. PREDOMINAN LOS PASTOS LIMPIOS Y LA VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN.....	76
IMAGEN 5. PUNTO DE EMBARQUE PARA INICIAR EL RECORRIDO DESDE EL CORREGIMIENTO DEL HORMIGUERO, VALLE DEL CAUCA. BOTES UTILIZADOS EN LA ACTIVIDAD DE LA MINERÍA DE ARENA PARA LA CONSTRUCCIÓN. MARGEN IZQUIERDA.....	78
IMAGEN 6. ASENTAMIENTOS HUMANOS UBICADOS A MENOS DE CUATRO METROS DEL CAUCE DEL RÍO CAUCA. MARGEN IZQUIERDA.	78
IMAGEN 7. VEGETACIÓN PRIMARIA QUE EVIDENCIA POCA O NULA INTERVENCIÓN HUMANA. MARGEN DERECHA.	78
IMAGEN 8. VERTIMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS DE LA CIUDAD SOBRE EL RÍO CAUCA A LA ALTURA DEL CANAL DE AGUAS SUCIAS DENOMINADO «SUR». MARGEN IZQUIERDA.....	78

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CRECIMIENTO DE ÁREAS CONSTRUIDAS ENTRE 1961 Y 2019	23
TABLA 2. PRINCIPALES TENDENCIAS Y PROBLEMÁTICAS ASOCIADAS CON LA VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ALREDEDOR DEL MUNDO	35
TABLA 3. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EVALUADOS	63
TABLA 4. CÁLCULO DE VALORES CONSTANTES PARA LA CREACIÓN DE LAS MATRICES DE MULTIFUNCIONALIDAD Y SINGULARIDAD	65
TABLA 5. FACTORES PARA CADA UNA DE LAS MATRICES DE ACUERDO CON LOS VALORES DEL RECORRIDO	67
TABLA 6. CLASIFICACIÓN DE CATEGORÍAS QUE COMPONEN LAS ESTRUCTURAS ECOLÓGICAS DE PRIMER Y SEGUNDO NIVEL	71
TABLA 7. CUENCAS HIDROGRÁFICAS COMPRENDIDAS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	81
TABLA 8. MUNICIPIOS COMPRENDIDOS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	83
TABLA 9. ÁREA DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA CLASIFICADAS	88
TABLA 10. RESUMEN DEL PROCESO DE CONSULTA A EXPERTOS EN SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	90
TABLA 11. MATRIZ DE CAPACIDAD PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR COBERTURA DE LA TIERRA	93
TABLA 12. MATRIZ DE CAPACIDAD PARA DEMANDAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR COBERTURA DE LA TIERRA	97
TABLA 13. MATRIZ DE CAPACIDAD TOTAL PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	100
TABLA 14. RESULTADO DE LA CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS DE LA TIERRA EN ESTRUCTURA ECOLÓGICA DE PRIMER Y SEGUNDO NIVEL, Y COBERTURAS QUE NO SON ESTRUCTURA ECOLÓGICA	102
TABLA 15. ESTIMACIÓN DEL INDICADOR GLOBAL DE CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE CADA COBERTURA A LA CAPACIDAD TOTAL PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO.	105
TABLA 16. CAPACIDAD PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR COBERTURA DE LA TIERRA EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO. COMPARACIÓN DE LAS COBERTURAS DE «CAÑA DE AZÚCAR» Y «PASTOS LIMPIOS» FRENTE A OTROS «CULTIVOS PERMANENTES»	118
TABLA 17. CAPACIDAD PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR COBERTURA DE LA TIERRA EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO. COMPARACIÓN DE LAS COBERTURAS DE «CAÑA DE AZÚCAR» Y «PASTOS LIMPIOS» FRENTE A OTROS «CULTIVOS TRANSITORIOS»	119
TABLA 18. VARIABLES URBANO-FUNCIONALES Y BIOFÍSICAS PARA LA DELIMITACIÓN DE LOS TERRITORIOS URBANO-RURALES HOMOGÉNEOS DEL POTD.....	130
TABLA 19. VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CULTURALES EN EL SISTEMA SOCIOECOLÓGICO	192

RESUMEN

Con base en el soporte conceptual y teórico del enfoque crítico, la presente tesis propone alternativas para la organización espacial de la estructura ecológica (infraestructura verde) en el área de influencia metropolitana de Cali, Colombia, de modo tal que pueda aumentar su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos.

Para lograr este objetivo, fue necesaria la aplicación de una metodología mixta que combinó aspectos cuantitativos y cualitativos. De esa manera, fue posible i) establecer criterios para identificar los límites del área de influencia metropolitana de Cali —más adelante denominada «sistema socioecológico»—; ii) valorar, a partir de la opinión de expertos, la capacidad de las coberturas de la tierra del sistema socioecológico para proporcionar servicios ecosistémicos al año 2016, e indicar una posible estructura ecológica; y, finalmente, iii) simular las alternativas de organización espacial de la estructura ecológica para aumentar dicha capacidad en el sistema socioecológico.

Esta investigación confirmó que, mediante una serie de cambios en la organización espacial de las coberturas de la tierra denominadas «cultivos transitorios» y «cultivos permanentes», es posible aumentar la capacidad total de la estructura ecológica del sistema socioecológico para proporcionar servicios ecosistémicos. Esto significaría mayores beneficios para la especie humana, así como para los elementos no humanos —vivos e inertes— que componen el sistema socioecológico. Las alternativas de organización espacial aquí presentadas invitan a visualizar las transiciones basadas en un marco epistemológico desde el que se reconozca la estructura ecológica no solo por los beneficios que ofrece —es decir, por su valor instrumental— sino desde el respeto y el cuidado que merece —por su valor intrínseco—. Solo así será posible avanzar en el mediano y largo plazo hacia la materialización de un área de influencia metropolitana de Cali ecológicamente sustentable.

PALABRAS CLAVE: SISTEMA SOCIOECOLÓGICO, ÁREA DE INFLUENCIA METROPOLITANA DE CALI, ESTRUCTURA ECOLÓGICA, INFRAESTRUCTURA VERDE, SERVICIOS ECOSISTÉMICOS, ALTERNATIVAS DE ORGANIZACIÓN ESPACIAL.

ABSTRACT

Based on the conceptual and theoretical foundation of the critical approach, this thesis proposes alternatives for the spatial organization of the green infrastructure in the metropolitan area of influence of Cali, Colombia, in order to increase its capacity to provide ecosystem services.

To achieve this objective, it was necessary to apply a mixed methodology that combined quantitative and qualitative aspects. It was thus possible to i) establish criteria to identify the limits of the metropolitan area of influence of Cali—herein after referred to as the “socio-ecological system”—; ii) assess, based on expert opinion, the capacity of the land covers in the socio-ecological system to provide ecosystem services as of 2016, and indicate a possible green infrastructure; and, finally, iii) simulate alternatives for the spatial organization of the green infrastructure to increase such capacity in the socio-ecological system.

This research confirmed that, through a series of changes in the spatial organization of land covers known as “transitional crops” and “permanent crops”, it is possible to increase the overall capacity of the green infrastructure of the socio-ecological system to provide ecosystem services. This would mean greater benefits for the human species, as well as for non-human elements—living and non-living—that make up the socio-ecological system. The alternatives of spatial organization presented here allow for a vision of transitions based on an epistemological framework, by which the significance of the green infrastructure is recognized not only for the benefits it offers—that is, for its instrumental value—but for the respect and care it deserves—for its intrinsic value. Only then will it be possible to advance in the medium and long term towards the materialization of an ecologically sustainable metropolitan area of influence of Cali.

KEYWORDS: SOCIO-ECOLOGICAL SYSTEM, METROPOLITAN AREA OF INFLUENCE OF CALI, GREEN INFRASTRUCTURE, ECOSYSTEM SERVICES, SPATIAL ORGANIZATION ALTERNATIVES.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Para investigar la relación denominada «sociedad-naturaleza» a partir de la perspectiva de las ciencias y los estudios ambientales, resulta crucial hacerlo desde una perspectiva histórica. De esta manera, es posible entender mejor las causas y posibles soluciones a los problemas de escala planetaria que la humanidad enfrenta en la actualidad. En el contexto occidental, se pueden encontrar interpretaciones de la relación sociedad-naturaleza en la filosofía griega de la Antigüedad. En aquel entonces, esta era entendida como la «totalidad»: un organismo dotado de vida, movimiento, inteligencia y razón (Collingwood, 1945; Gudynas, 2011a). En decir, no existía una dualidad, pues el ser humano era considerado también parte de la totalidad. No obstante, más adelante, particularmente en la Modernidad (siglo XVII), predominó la idea de que la naturaleza no era más que un ente sujeto a las fuerzas cuantitativas (Collingwood, 1945). En otras palabras, a los ojos de la sociedad, se convirtió en (i) el objeto de análisis científico para el ser humano —de ahí que se estableciera una profunda división entre el «ser humano» y «todo lo demás»— y (ii) la fuente inagotable de recursos para el consumo y la supervivencia humana.

Esta visión moderna de la relación en mención persiste en la Edad Contemporánea y es, en gran medida, la responsable de la crisis ambiental¹ planetaria —también entendida como una crisis de conocimiento o civilizatoria (Escobar, 2015a; Leff, 2012)—. Detrás de este fenómeno se encuentra la aplicación de un marco epistemológico mecanicista (Castells, 2014; Delgado-Mahecha, 2003b; Escobar, 2011) que ha dado vida a una interacción supremamente asimétrica en favor de un pequeño grupo de seres humanos frente a los demás de su especie y otros elementos no humanos —orgánicos e inorgánicos— que habitan el planeta Tierra. Ante la magnitud de este problema, surge una pregunta trascendental: ¿bajo qué marco epistemológico deben emerger alternativas que permitan establecer una relación armoniosa entre los seres humanos y no humanos que habitan el planeta? Claramente, esta pregunta es muy compleja y su

¹ Es importante indicar que el concepto de «ambiente» aplicado en esta tesis es el de «un campo de análisis interdisciplinario que estudia las relaciones entre las formaciones sociales y los ecosistemas» (Ángel-Maya, 2013). Por tanto, «lo ecológico» hace referencia a los elementos físico-bióticos del ambiente.

respuesta se aclarará en la medida en que la humanidad alcance niveles cada vez más elevados de consciencia (Lample, 2004). Su respuesta también requerirá reconocer que, así como el cuerpo humano es una entidad estrechamente integrada y coherente —a pesar de estar compuesto por diferentes miembros y órganos— igualmente la estructura del mundo físico es «un solo ser», cuyos elementos están inseparablemente unidos entre sí (BIC, 1989).

En esta línea de ideas, tiene sentido plantear la siguiente hipótesis: existe una clara necesidad de aplicar un marco epistemológico basado en el pensamiento sistémico —desde la perspectiva ecológica (Capra, 1998)— que permee todas las interacciones entre los seres humanos y de estos con las diferentes formas no humanas, con el fin de alcanzar la armonía necesaria en el planeta (Díaz et al., 2015; Escobar, 2015b; Gudynas, 1999, 2017; Kallis et al., 2018; Pascual et al., 2017). En consecuencia, se alcanzaría así la tan necesaria «sustentabilidad ecológica» —una visión del mundo que reconoce el valor inherente de la vida no humana y que trae como resultado la aparición de un sistema ético radicalmente nuevo (Capra, 1998)— de la cual depende el bienestar y la supervivencia humana (Díaz et al., 2015) pero también de «toda la riqueza y diversidad de la vida en la Tierra» (Naess, 2005, p. 65).

Demostrar la anterior hipótesis en contextos urbanos y urbano-rurales —donde actualmente se concentra más del 50% de la población mundial (Banco Mundial, 2019)— es uno de los grandes desafíos para las ciencias ambientales, pues son las ciudades los espacios geográficos en los que se produce y reproduce la superestructura político-administrativa e industrial de la sociedad (Albet & Benejam, 2000), muchas veces, a expensas de la riqueza natural que ofrecen los ecosistemas. En palabras de Soja (2008):

Desde el principio, las ciudades son consideradas como centros de innovación, lugares donde la proximidad densa y la copresencia interdependiente constituyen importantes rasgos modeladores de la vida cotidiana, del desarrollo humano y de la continuidad social. Las ciudades representan una forma muy particular de hábitat y asentamiento humano, en el cual la vida social se encuentra estructurada por, y es materialmente manifiesta a través del continuo proceso de producción de la espacialidad urbana. (p. 60)

Lo preocupante de la «producción de la espacialidad urbana» descrita por Soja (2008) es que, actualmente —por lo menos en el contexto latinoamericano—, está dominada por la lógica de planificación ambiental urbana impulsada por modelos neoliberales y el capital privado. Esto puede observarse, por ejemplo, cuando el ordenamiento territorial entra en conflicto con los intereses de los inversores por obtener ubicaciones más rentables para sus proyectos inmobiliarios (Sager, 2011).

Ante tal panorama, resulta cada vez más importante identificar escenarios de transición hacia ciudades ecológicamente sustentables; ciudades que dejen de caracterizarse por ser solo centros de crecimiento económico y de consumo (Elmqvist et al., 2013) y avancen hacia un modelo que entrelace coherentemente los valores instrumentales e intrínsecos la naturaleza (Harvey, 2018; Pascual et al., 2017). Como se mencionó anteriormente, un marco epistemológico basado en el pensamiento sistémico probablemente sea el mejor punto de partida para encontrar las respuestas que tanto se necesitan. Con las anteriores ideas en mente, a continuación, se presenta el problema de investigación de la presente tesis, sus objetivos, justificación y una descripción general de la estructura del presente documento.

1.1. Planteamiento del problema

Uno de los principales responsables de la actual crisis ambiental es el marco epistemológico mecanicista predominante (Delgado-Mahecha, 2003b; Roldán-Charria et al., 2014). Este se basa en la percepción y concepción de los ecosistemas como fuentes infinitas de bienes y servicios (Bottazzi, 2019; Chapin et al., 2011; Martín-López & Montes, 2009). Lo que se observa en muchas áreas del mundo son paisajes altamente homogeneizados por la acción de procesos de expansión urbana y la dedicación de extensas áreas con vocación agrícola a actividades agroindustriales (Altieri & Bravo, 2007; Correa-García et al., 2018; Uribe-Castro, 2014; Xu & Wu, 2016). Como es de esperar, entre los impactos más graves de estas dinámicas antrópicas —muchas veces asociadas a las actividades agropecuarias— están la pérdida de biodiversidad, por un lado, (Marull et al., 2018) y, por otro, de la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios ecosistémicos (Costanza et al., 2017; Millennium

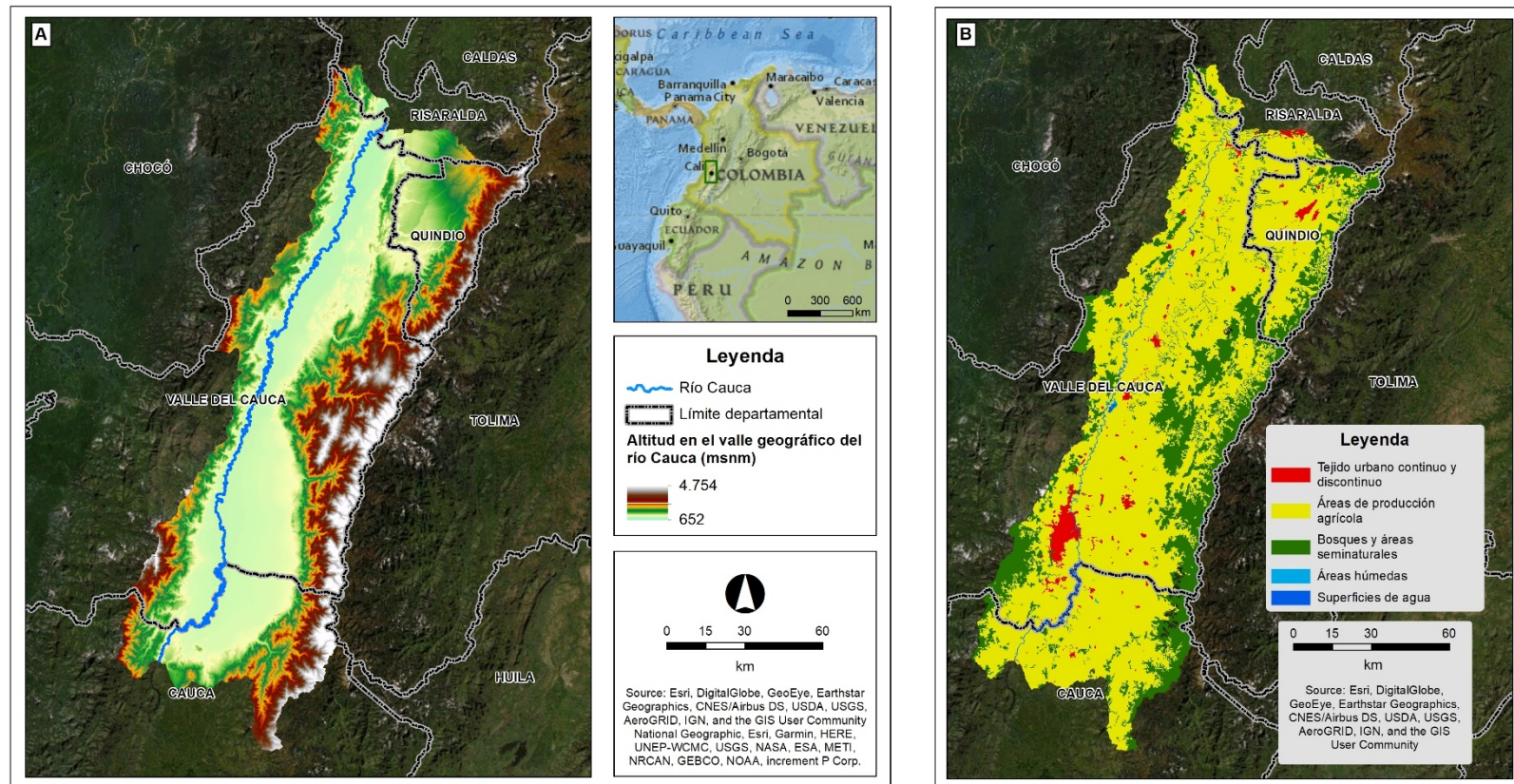
Ecosystem Assessment, 2005) —o bienes de la naturaleza para el ser humano (Díaz et al., 2015), como lo interpreta la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, por sus siglas en inglés)—.

El valle geográfico del río Cauca (Figura 1-A), sobre el cual se expande el proceso de metropolización de Cali² (Figura 1-B, mancha urbana [color rojo] de mayor tamaño al sur del mapa) —la tercera ciudad más importante de Colombia por su aporte al Producto Interno Bruto (PIB) nacional (Galvis, 2014)— expresa las dinámicas de crecimiento económico promovidas por el capitalismo (Rostow, 1959). A finales del siglo XIX, la actividad predominante en este valle se basaba en «la economía hacendaria y de pequeños propietarios» (Perafán, 2002, p. 4); sin embargo, con el paso de los años la zona se convirtió en un eje de crecimiento económico e industrial del país, por lo cual empezó a experimentar cambios en el uso de la tierra asociados a la promoción del Cali como capital del departamento del Valle del Cauca (Perafán, 2002). La producción agrícola con fines de exportación se proyectó como el medio más directo para el progreso de ese departamento. Esta visión abanderó el proceso de transformación de un valle geográfico caracterizado, hasta ese entonces, por ser un mosaico de ríos, humedales y bosques secos tropicales, mezclado con haciendas ganaderas de baja rentabilidad (Perafán, 2002). La actividad agrícola predominante era la producción de café (Vásquez-Benítez, 1990; Vásquez-Benítez, 2001), localizada principalmente en los municipios montañosos del norte del departamento del Valle del Cauca. Esta producción era transportada por el río Cauca³ —desde Viterbo (Risaralda) hasta Cali— para luego ser llevado por vía terrestre al puerto de Buenaventura en el océano Pacífico. En 1915, la puesta en funcionamiento del ferrocarril —el cual permitió una comunicación comercial mucho más eficiente entre Cali y Buenaventura, e impulsó aún más el crecimiento y la articulación económica con el exterior (Centro Nacional de Productividad Colombiana, 2002)— le dio mayor fuerza a la idea de que los recursos naturales del valle geográfico tenían que ser explotados a través de la agricultura y la industria.

² Cali es un distrito especial, deportivo, cultural, turístico, empresarial y de servicios. Según cifras oficiales de la Dirección Nacional de Estadística de Colombia (DANE), al 2018 contaba con una población de 2 445 405 habitantes (DANE, 2018).

³ Aunque la importancia del transporte fluvial disminuyó con el funcionamiento del ferrocarril y la construcción de carreteras (Cali-Cartago; Ibagué-Armenia, la cual conectó al Valle con el centro del país).

Figura 1. A. Valle geográfico del río Cauca. La delimitación se realizó con base en la zonificación hidrográfica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de 2013. B. Mapa de coberturas de la tierra para el periodo 2010–2012



Fuente: Elaboración propia con base en Datos Abiertos (2013) y SIAC (2020a)

Cali se convirtió entonces en un nodo indispensable para el desarrollo de la industria y el proceso de producción de bienes de consumo, como bebidas, productos de cuero, madera, caucho y tabaco (Vásquez-Benítez, 1990; Vásquez-Benítez, 2001). En palabras de Vásquez-Benítez (1990), el ferrocarril dio el impulso necesario para el establecimiento a largo plazo de la industria dentro de Cali:

La vía férrea jugó un papel fundamental en la localización industrial. A su alrededor se crearon zonas industriales importantes en busca de acceso al transporte, a las bodegas y a las actividades de cargue y descargue: el ramal que se desprende hacia Palmira incentivó la ubicación industrial en la carrera Octava (Bavaria, industria Tres Estrellas, Textiles de Colombia, gaseosas Posada Tobón, Fábrica Nacional de Oxígeno y Productos Metálicos FANO, fábrica Lloreda de clavos, alambre de púas y velas, etc.). El área industrial de la carrera Primera hacia Palmira presentaba un fácil acceso a la vieja estación del ferrocarril y sus bodegas (Liscano Hermanos, Industrias Fraile, fábrica de Licores del Valle, Fabrica de bolsas y rollos de papel de M. Trujillo, Relieves «Farves», Relieves «Bueno», fábrica de pilas *Eveready*, «El Gaucho», etc.). (p. 24)

En 1929, la visita de una misión puertorriqueña liderada por Charles Chardon tuvo como resultado un diagnóstico del esquema agrícola y pecuario del área, a partir del cual resultaron varias propuestas que debían implementarse (Centro Nacional de Productividad Colombiana, 2002; Motta-González & Perafán, 2010; Perafán, 2002; Zuluaga-Ramírez et al., 2011). Según Perafán (2002), el estudio realizado por Chardon sugería, entre otros, el establecimiento del cultivo de la «caña de azúcar en la zona plana, dadas las excelentes condiciones ecológicas para su explotación, así como la posibilidad de zafra permanente, las facilidades en la siembra, el regadío y el transporte del producto» (Perafán, 2002, p. 6). No obstante, fue unos años más tarde, hacia la década de los sesenta, que se consolidó la actividad azucarera y la producción de insumos agrícolas para la agroindustria, como resultado de la ruptura de relaciones entre Estados Unidos y Cuba, y la consecuente la cuota de suministro de caña de azúcar asignada por los Estados Unidos a Colombia después de efectuar el embargo Cuba (Zuluaga-Ramírez et al., 2011) —.

Más adelante, en 1954, surgió la corporación para el desarrollo integral del Valle Alto del río Cauca (CVC, por tener bajo su jurisdicción parte los departamentos del Cauca, Valle y el antiguo Caldas)⁴. Esta institución fue establecida bajo el asesoramiento de David Lilienthal, a partir de la experiencia adquirida por la Autoridad Regional del Valle del Tennessee (TVA) (Martínez-Toro, 2018). Con la materialización del denominado «Plan Lilienthal», la CVC realizó la adecuación de tierras para el desarrollo agropecuario a gran escala en el sur del Valle del Cauca y el norte del Cauca, y estableció como propósitos adicionales la conservación de los recursos naturales y el desarrollo eléctrico interdepartamental (Sinisterra-O’Byrne, 2013).

Entre 1960 y 1980, el uso del suelo agrícola del valle geográfico tuvo una importante expansión, principalmente debido al establecimiento de la agroindustria azucarera. En este período, la caña de azúcar duplicó su área cultivada, pasando de 61 600 ha a 133 187 ha, respectivamente (Perafán, 2002). Este cultivo ha continuado su crecimiento en la zona plana del valle geográfico, a tal punto de que en el año 2015, de un total de 376 000 ha, alrededor de 232 000 (el 62%) se encontraban ocupadas por caña de azúcar (Perafán, 2002; Uribe-Castro, 2017). Esta dinámica responde a los intereses económicos de la élite del departamento y el país, a pesar de que limita la capacidad del valle geográfico para ofrecer una mayor variedad de servicios ecosistémicos, especialmente aquellos asociados a la provisión de alimentos con un enfoque en la seguridad alimentaria.

Una consecuencia de la expansión acelerada del cultivo de caña de azúcar y la actividad ganadera en los piedemontes, ha sido la fragmentación de coberturas de la tierra como bosques densos y ribereños. Como es bien sabido, estas coberturas garantizan la provisión de servicios ecosistémicos asociados a la provisión de agua y la generación de oxígeno, la

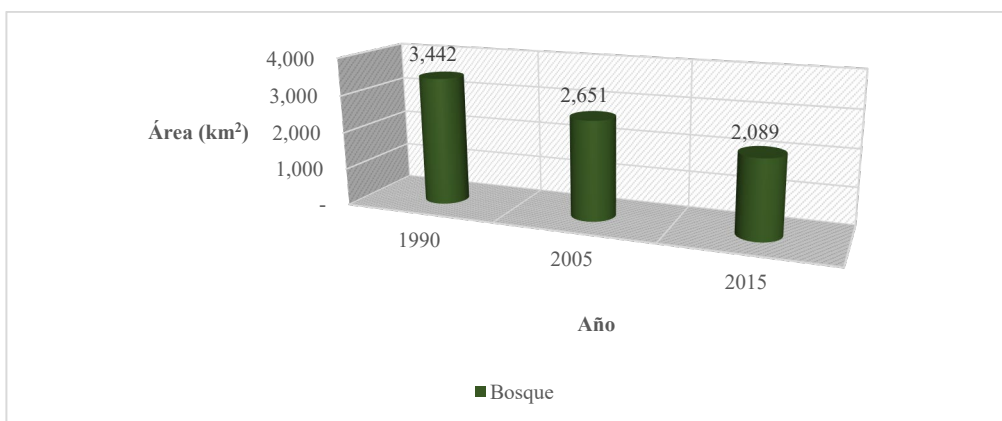
⁴ Hoy en día conocida como la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. En cuanto al departamento de Caldas, en ese entonces se hacía referencia a su antigua división político-administrativa, puesto que en la actualidad dicha área se divide entre los departamentos de Quindío, Risaralda y Caldas. La parte del valle geográfico del antiguo Caldas corresponde al departamento de Risaralda. En 1993, cuando entró en vigor la Ley 99, la CVC —desde aquel año conocida como la «Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca»— pasó a ser una de las 32 autoridades ambientales del país (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

regulación de flujos de masa y líquido, entre otros. De acuerdo con Cardona-Arcila et al. (2012), un estudio realizado por la CVC en 1990:

... cuantificó el cambio en la cobertura boscosa en la cuenca alta del río Cauca entre 1957 y 1986. Con base en fotografías aéreas y datos de campo, se estimó que en el norte del departamento del Cauca y en el departamento del Valle del Cauca, ocurrió una reducción del 66% de los bosques en ese período. (pág. 87)

Adicionalmente, a partir del análisis de datos del sistema de monitoreo de bosques y carbono para Colombia (IDEAM, 2019) para el periodo 1990–2015, se encontró una disminución constante de los bosques en el valle geográfico del río Cauca; pasando de 3442 km² en 1990 a 2089 km² en 2015 (Figura 2). Esto se tradujo en una reducción del 40% del área en bosques respecto a 1990. La afectación sobre esta cobertura de la tierra evidencia la fragmentación a la cual se encuentra expuesta por causa de las actividades agropecuarias predominantes en el valle geográfico.

Figura 2. Bosque natural en el valle geográfico del río Cauca entre 1990 y 2015



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del (IDEAM, 2019)

El encadenamiento agroindustrial, las decisiones políticas de la élite y las inversiones públicas en el valle geográfico contribuyeron al crecimiento demográfico de Cali⁵. Aunque,

⁵ Los movimientos migratorios asociados a fenómenos sociales y naturales también contribuyeron al aumento poblacional, específicamente de Cali. En el caso de los fenómenos sociales, se pueden mencionar las

según Vásquez-Benítez (1990), este crecimiento se hizo más evidente a partir de la década de los cuarenta, cuando se aceleró el proceso de industrialización y el desarrollo económico de la ciudad:

Cali creció demográficamente a una de las tasas más altas de su historia: en el período intercensal 1938–1951 pasó de 101 883 a 284 186 habitantes, es decir, creció a una tasa anual de 8,21, mayor que la de Bogotá, Medellín y Barranquilla. Ya en 1951 la población de Cali excedía a la de Barranquilla, y la diferencia relativa frente a Bogotá y Medellín se hacía menor. (p. 21)

Como era de esperar, el incremento de la actividad industrial vallecaucana generó a su vez un proceso de desarrollo urbano que se fue fortaleciendo con el tiempo (Cuervo-González & González, 1997), evidenciado en Cali⁶ y en un sistema de ciudades de menor tamaño, como Palmira, Buga, Tuluá, Jamundí y Yumbo (Motta-González & Perafan-Cabrera, 2010; Perafán, 2002). Con el acelerado aumento poblacional en el sistema de ciudades en mención y la presión política ejercida a los gobiernos por la actividad agroindustrial, mejoró la infraestructura vial y de servicios públicos, lo que posteriormente sería de gran importancia para el continuo fortalecimiento de la industria y redundaría en el desarrollo urbano de la región y, en especial, de Cali como capital departamental (Perafán, 2002).

Lo que empezó a evidenciarse en la década de los cuarenta se consolidó con El Plan General de Desarrollo de 1970 (Oficina de Planeación Municipal de Cali, 1970). En ese documento Cali fue reconocida como parte de una estructura metropolitana mayor junto con Yumbo y

migraciones provenientes de algunos departamentos del nororiente y centro del país, como consecuencia de la violencia asociada a conflictos agrarios (Motta-González & Perafan-Cabrera, 2010). En cuanto a los fenómenos naturales, se puede destacar el caso de terremoto de Tumaco de 1979 —en el pacífico Colombiano—, el cual generó un movimiento poblacional considerable alrededor de la laguna de El Pondaje y Aguablanca, ubicadas al oriente de Cali (Velázquez, 1996).

⁶ Cali es una ciudad que, aun sin contar con un área metropolitana jurídicamente establecida, ha logrado establecer fuertes relaciones sociales y económicas —como por ejemplo el gobierno y sus servicios, centros de comercio y equipamientos de salud, educación, recreación e investigación científica— e impulsar el crecimiento de un entramado de ciudades en el sur del departamento del Valle del Cauca y norte del departamento del Cauca (Martínez-Toro & Buitrago-Bermúdez, 2011; Martínez-Toro & Patiño-Gómez, 2015).

Jamundí. Además, la realización de los VI Juegos Panamericanos que tuvieron lugar en la ciudad en 1971, contribuyeron de manera considerable al crecimiento de la ciudad hacia el sur, donde se localizaron escenarios deportivos y residencias para la celebración de los juegos (Martínez-Toro, 2018). El Plan General de Desarrollo también «promovió la definición y reglamentación del suelo urbano y suburbano, formalizó la estrategia de liberalización de la urbanización y calificó el suelo residencial, determinando las densidades, y tipologías arquitectónicas y urbanísticas que propiciaron procesos de segmentación socioeconómica» (Martínez-Toro, 2018, p. 16)

A partir de 1997 hasta nuestros tiempos, la Ley 388 de 1997 (Congreso de Colombia, 1997) jugó un papel trascendental en el crecimiento urbano de Cali y los municipios del área de influencia metropolitana. Esta Ley benefició a las empresas constructoras con capital privado, dado que, al regular la aprobación de planes parciales para la urbanización «permitió el desarrollo urbano por segmentos, porque propició la urbanización a partir de células claramente delimitadas como proyectos de intervención y unidades funcionales, soportadas en tipologías habitacionales de conjuntos residenciales cerrados en condominio y centros comerciales, funcionalmente recíprocos». (Martínez-Toro, 2018, p. 17)

A partir de la dinámica descrita anteriormente, lo que se observa en la actualidad es un desarrollo urbano segmentado y guiado por el capital privado; un sector de la economía que aprovecha las posibilidades que le brinda la Ley 388 de 1997 para impulsar el desarrollo inmobiliario en Cali y sus municipios vecinos, y generando lo que (Martínez-Toro (2018) denomina el «archipiélago inmobiliario».

Una prueba evidente del crecimiento de las áreas construidas en los municipios del área de influencia metropolitana de Cali lo presenta la Tabla 1. En ella se puede observar que Cali tuvo un crecimiento del 674% entre 1961 y el 2019, lo que significa que aumentó su tamaño siete veces; mientras que Jamundí creció 3860% en el mismo periodo, aumentando treinta y

nueve veces su tamaño; y Yumbo 2289%, lo que implica que creció veintitrés veces. Los demás municipios tuvieron un aumento mínimo del 577% de sus áreas construidas⁷.

Es importante resaltar que a pesar de que Cali siempre ha sido el área urbana con mayor área construida, ha motivado un fuerte crecimiento de los municipios más cercanos; en este caso, Jamundí (con su oferta de vivienda) y Yumbo (con su área dedicada al desarrollo industrial).

Tabla 1. Crecimiento de áreas construidas entre 1961 y 2019

Municipio / Año	Área construida (ha)				Porcentaje de crecimiento (%)			N° de veces que creció		
	1961	1986	1999	2019	1986	1999	2019	1986	1999	2019
Cali	2297	7344	10 481	15 484	320	456	674	3	5	7
Candelaria	138	460	556	1359	334	404	987	3	4	10
Jamundí	67	194	837	2578	291	1254	3860	3	13	39
Palmira	377	1072	2312	5420	284	613	1438	3	6	14
Yumbo	143	689	1237	3283	480	863	2289	5	9	23
Puerto Tejada	61	95	204	349	157	338	577	2	3	6

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Buitrago-Bermúdez et al.(2021)

Desde luego, los fenómenos hasta ahora descritos han conducido o a que los ecosistemas del valle geográfico del río Cauca sufrieran grandes transformaciones a lo largo del siglo XX. La idea de «inagotabilidad» promocionada por el proyecto de modernidad basado en la acumulación de riquezas y de corte antropocéntrico —cuyo legado ha sido una clase de organización espacial de las coberturas de la tierra ajustada a las necesidades de la sociedad bajo la fuerte influencia del modelo mecanicista de desarrollo (Delgado-Mahecha, 2003b)— ha propiciado que la gestión y planificación públicas se centren en la creación y adopción de instrumentos de protección y conservación ambientales para los reductos de los ecosistemas que deja a su paso la materialización del modelo en mención⁸. Ejemplos de ello son el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), que constituye «el elemento central para la conservación de la biodiversidad del país» (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo

⁷ Es el caso de Puerto Tejada, el único de los municipios de la tabla ubicado en el norte del departamento del Cauca, a una distancia de aproximadamente 30 km.

⁸ Se ha dado por sentado que no hay soluciones más allá de proteger y conservar los reductos existentes, sin el reconocimiento de que tales ecosistemas podrían incluso ampliarse para garantizar la salud de los mismos y, con ella, la de la misma especie humana.

Territorial, 2010, p. 5), y la «estructura ecológica de soporte de la Nación»⁹ (de ahora en adelante «estructura ecológica») —término de amplio uso en el contexto colombiano para hacer referencia a «la expresión territorial de los ecosistemas naturales, agro-ecosistemas y sistemas urbanos y construidos que soportan y aseguran a largo plazo los procesos, sustentan la vida humana, la biodiversidad, el suministro de servicios ambientales y la calidad de la vida»— (van der Hammen & Andrade, 2003, p. 2). En su definición original, la «estructura ecológica de soporte» está compuesta por lo que van der Hammen & Andrade (2003) denominaron «estructura ecológica principal» (para una escala 1:500 000) e «infraestructura ecológica» (para una escala entre 1:100 000 y 1:10 000). La primera fue definida como «el conjunto de ecosistemas naturales y seminaturales que tienen una localización, extensión, conexiones y estado de salud tales que garantiza el mantenimiento de la integridad de la biodiversidad, la provisión de servicios ambientales (agua, suelos, recursos biológicos y clima), como medida para garantizar la satisfacción de las necesidades básicas de los habitantes y la perpetuación de la vida» (p. 1).

La segunda es «el conjunto de relictos de vegetación natural y seminatural, corredores y áreas a restaurar en los agroecosistemas y otras áreas intervenidas del país (centros urbanos y otros sistemas construidos) que tienen una funcionalidad en la conservación de la biodiversidad, la productividad y la calidad de la vida de la población» (p. 1). Así, aunque en su definición la estructura ecológica descrita por van der Hammen habla de elementos concretos de la realidad (*i. e.*, ecosistemas naturales, agro-ecosistemas, etc.), en la práctica, el Decreto 3600 de 2007, que establece los criterios para identificar estructuras ecológicas a escala municipal, indica que estas son un «conjunto de elementos bióticos y abióticos que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales del territorio» (Presidencia de Colombia, 2007, p. 1). De ahí que en el contexto de la administración pública sea común mezclar —y, por lo tanto, confundir— elementos tangibles de la realidad (*i. e.*, bosques, humedales o ríos) con

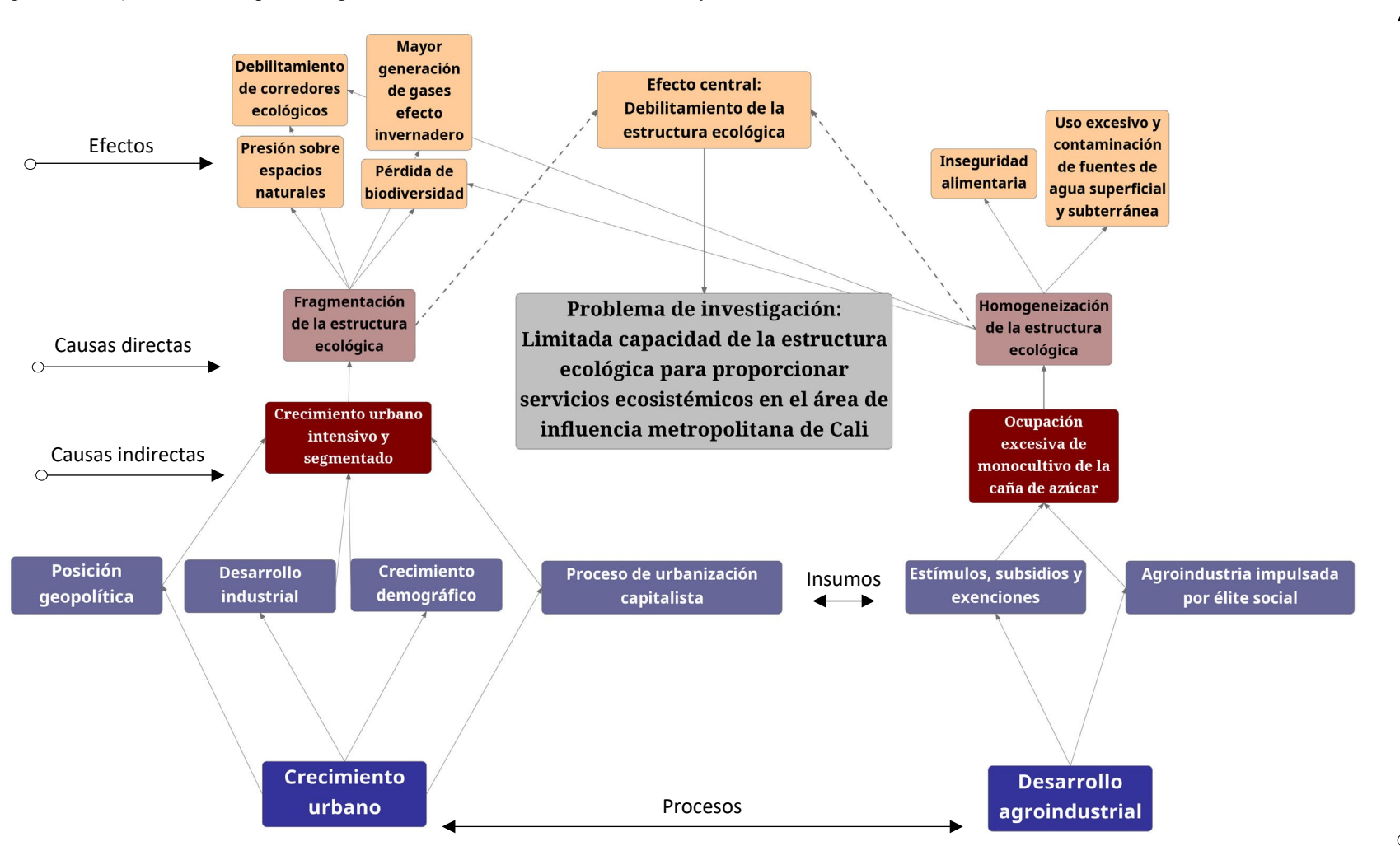
⁹ El concepto de estructura ecológica desarrollado en Colombia tiene su símil en el contexto europeo con «infraestructura verde» (EEA, 2011), que se entiende como la «red de áreas naturales y seminaturales estratégicamente planeadas junto con otras características ambientales diseñadas y administradas para ofrecer un amplio rango de servicios ecosistémicos. Incorpora espacios verdes (así como ecosistemas acuáticos) y otras características físicas en áreas terrestres y marinas. En áreas terrestres, la infraestructura verde está presente en contextos rurales y urbanos». (p. 32)

categorías de protección ambiental (*i. e.*, ecosistemas estratégicos, áreas protegidas, etc.). Este es un ingrediente más de la problemática ambiental observada en Colombia.

A partir de lo expuesto en los párrafos anteriores, queda claro que son dos los procesos que configuran el problema de investigación de la presente tesis: *(i) el crecimiento urbano* acelerado de un sector inmobiliario eminentemente de carácter privado que se expande intensiva y segmentadamente mediante el proceso de metropolización de Cali (Martínez-Toro, 2018), y *(ii) el desarrollo agroindustrial* basado en la expansión excesiva del monocultivo de la caña de azúcar (Correa-García et al., 2018; Tabares-Mosquera et al., 2020) —el cual, a su vez, ha propiciado la expansión urbana y dado paso a la homogeneización de la estructura ecológica (Figura 3), —principalmente en la zona plana del valle geográfico (Figura 1-B)—. Por lo tanto, la primera aproximación al problema de la presente tesis tiene que ver con entender la estructura ecológica como el reducto resultado de la fragmentación y destrucción de ecosistemas por efecto de los dos procesos antes citados. En este sentido, el efecto central tratado en esta tesis es el debilitamiento de la estructura ecológica y, por tanto, el alcance de la investigación es *evidenciar su limitada capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos en el área de influencia metropolitana de Cali* (Figura 3). Aunque existen otros efectos asociados a los dos procesos en mención, estos no son abordados en esta tesis (*i. e.*, pérdida de biodiversidad, presión sobre los espacios naturales, debilitamiento de los corredores ecológicos, generación de gases efecto invernadero, inseguridad alimentaria, y uso excesivo y contaminación de fuentes de agua superficial y subterránea).

En consecuencia, la pregunta de investigación es: ante un escenario de transición que propenda por la armonización gradual de las relaciones entre el ser humano y las formas de vida no humanas con las que interactúa, ¿qué alternativas de la organización espacial de la estructura ecológica se pueden proponer con el fin de aumentar su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos en el área de influencia metropolitana de Cali? Para hacer frente a esta pregunta, fue necesario el uso del enfoque crítico (Cebotarev, 2003; Gudynas, 1999, 2011b; Horkheimer & Adorno, 2002; McLaughlin, 1999; Naess, 1973; Neilson, 2014), ya esbozado en la introducción, cuya relación con el propósito de la tesis se explica en el marco teórico.

Figura 3. Árbol de problemas compuesto por los dos procesos que configuran el problema de investigación (*i. e.*, desarrollo urbano y desarrollo agroindustrial), los insumos que estos generan, sus causas directas e indirectas, y sus efectos



Fuente: Elaboración propia

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Proponer alternativas de organización espacial de la estructura ecológica que contribuyan al aumento de su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos en el área de influencia metropolitana de Cali.

1.2.3. Específicos

- Identificar los límites del área de influencia metropolitana de Cali a partir de criterios urbano-funcionales (estructura metropolitana construida) y biofísicos (cuencas hidrográficas).
- Establecer, al año 2016, la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos en el área de influencia metropolitana de Cali.
- Simular la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos en el área de influencia metropolitana de Cali.

1.3. Justificación

La presente tesis, denominada *La estructura ecológica del área de influencia metropolitana de Cali: su organización espacial y provisión de servicios ecosistémicos* se desarrolla en el marco del Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad del Valle. Específicamente, se vincula con el área de énfasis *Gestión Ambiental y Territorio*, desde la cual se promueven estudios que amplíen el entendimiento sobre la interacción *ser humano-sociedad-naturaleza* (Doctorado en Ciencias Ambientales, 2008). Es justamente ahí donde adquiere relevancia esta investigación, pues sus resultados permiten entender cómo se podrían mejorar la gestión y planificación ambiental a escala metropolitana. Para ello, la transición hacia la

sustentabilidad ecológica es fundamental, ya que implica una interacción más coherente entre la sociedad y la naturaleza —expresada especialmente en el reconocimiento del equilibrio que debe existir entre los valores instrumentales e intrínsecos de la naturaleza (Chan et al., 2016; Díaz et al., 2015)—.

En las últimas décadas, los estudios desarrollados desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos han ganado gran importancia en la planificación ambiental y, en consecuencia, en la creación de políticas públicas asociadas con la protección y conservación de la naturaleza (Baró et al., 2016; Burkhard et al., 2009; Feria Toribio & Ramos, 2000; Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Langemeyer et al., 2018; Ramírez-Gómez et al., 2015; Rojas et al., 2019). Esto ha sido, en parte, una respuesta a los impactos del crecimiento urbano acelerado¹⁰ y las prácticas agroindustriales —cada vez más comunes en las diferentes latitudes del planeta (Aldana-Domínguez et al., 2019; Dupras et al., 2016; Marull et al., 2007; Marull & Mallarach, 2005; Wilhelm, 1987)—. Por lo tanto, estudiar el área de influencia metropolitana de Cali desde esta perspectiva contribuye a llenar un vacío en la investigación colombiana relacionado con la valoración de servicios ecosistémicos en contextos municipales y supramunicipales.

A escala metropolitana, la investigación propone una metodología que pondera por igual los aspectos urbano-funcionales y ecológicos para identificar estructuras ecológicas supramunicipales —algo que hasta el momento no se ha podido materializar en ejercicios prácticos desde la planificación ambiental en el país—. También realiza aportes para la planificación ambiental a escala departamental¹¹, pues contribuye con insumos teóricos, conceptuales y metodológicos para complementar los alcances del Plan de Ordenamiento

¹⁰ Materializado en intensos procesos de metropolización. Este crecimiento ha contribuido en gran medida a la homogeneización de los ecosistemas y a su pérdida de biodiversidad (Colding, 2011; Marull et al., 2018; McDonald et al., 2010; McKinney, 2002), exacerbando la relación asimétrica entre el ser humano frente al resto de la naturaleza —claramente a favor del ser humano, aunque esto resulta contradictorio, dado que supervivencia de la especie humana se encuentra íntimamente ligada a la salud del entorno con el que interactúa—.

¹¹ Tal como se define más adelante en la sección sobre el desarrollo del primer objetivo, el área de influencia metropolitana, o sistema socioecológico, comprende áreas de los departamentos de Valle del Cauca y Cauca.

Territorial Departamental (POTD) del Valle del Cauca (Gobernación del Valle del Cauca & Universidad de San Buenaventura, 2014), el cual se basó en el trabajo realizado en 2011 sobre los Lineamientos Territoriales para la Articulación Regional y Subregional del Valle del Cauca (LOTVC) (Gobernación del Valle del Cauca & Universidad del Valle, 2011). Además, la investigación se encuentra en estrecha relación con los artículos del Plan de Desarrollo Departamental asociados a un territorio sostenible para la competitividad —específicamente el 32 y el 33 (Gobernación del Valle del Cauca, 2016)— en lo relativo a la importancia que se le da a la estructura ecológica principal para convertirla en «eje estructurante de todos los instrumentos de planificación sectorial y de las actuaciones de los entes públicos en el territorio» (Gobernación del Valle del Cauca, 2016, p. 155), así como en un determinante ambiental de superior jerarquía cuyo cumplimiento sea obligatorio para «la construcción, seguimiento y articulación de los Planes, Planes Básicos y Esquemas de Ordenamiento Territorial, y demás instrumentos de planificación y ordenamiento del territorio» (CVC, 2015, p. 5).

En cuanto al departamento del Cauca, la tesis realiza aportes a lo planteado por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en su análisis del componente «Biodiversidad» del *Plan integral de gestión de cambio climático territorial del Cauca – 2040*. Allí se indica que las instituciones del departamento deben «valorar en conjunto toda su estructura ecológica con el fin de determinar la capacidad de sus suelos y establecer acciones que permitan la sostenibilidad de los ecosistemas» (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p. 26). En esta misma línea, el componente *Ordenamiento Territorial y Gestión del Riesgo*, referenciado en el diagnóstico de las *capacidades habilitantes del territorio para afrontar el cambio climático*, señala que «se requiere avanzar en la modelación de la estructura ecológica principal, en coherencia con los cambios esperados del clima, mejorar las escalas y períodos de retorno de los análisis de riesgo, así como analizar los cambios de las aptitudes climáticas para el desarrollo agropecuario» (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p. 7).

Estas propuestas, aunque basadas en la importancia de la estructura ecológica desde el punto de vista político-administrativo de los departamentos en mención, también pueden verse a la luz de las dinámicas urbano-regionales y de escala metropolitana igualmente reconocidas por su importancia para el desarrollo regional.

Asimismo, en el marco nacional, esta investigación tiene relación con el programa Nacional de Investigación denominado *Programa Nacional en Ambiente, Biodiversidad y Hábitat*, en lo relativo a la investigación dirigida a la búsqueda del desarrollo sustentable de Colombia (Colciencias, 2019). Esto se enmarca en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018–2022 en lo que respecta a los pactos del Plan, específicamente el cuarto, denominado «Pacto por la sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo» (DNP, 2018).

Finalmente, a escala internacional, esta tesis tiene una relación directa con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (United Nations, 2015); especialmente con el objetivo 11 (ciudades y comunidades sostenibles) —en lo relativo a «reconocer que el desarrollo y la gestión urbana sostenible son cruciales para la calidad de vida de la humanidad» (p. 13)— y 15 (vida de ecosistemas terrestres) —respecto a «asegurar la conservación de los ecosistemas montañosos, incluida su diversidad biológica, a fin de aumentar su capacidad para proporcionar beneficios que son esenciales para el desarrollo sostenible» (p. 29).

Por otro lado, el público al que está dirigido este trabajo es amplio. Se espera que: i) sirva de inspiración para estudiantes de pregrado y posgrado en sus esfuerzos por desarrollar trabajos de profundización e investigación sobre alternativas al orden establecido en la temática de la planificación ambiental; ii) sea un insumo para tomadores de decisiones a escala departamental y municipal en lo concerniente a la generación de políticas públicas metropolitanas que promuevan decididamente la sustentabilidad ecológica y, iii) que lo propuesto en la tesis se convierta en una alternativa viable para la población del área de influencia metropolitana de Cali. Se espera que este último actor tome los resultados de la investigación como propios e impulse el redescubrimiento del potencial de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos. Además, si el conocimiento producto

de esta tesis se materializa en algún lineamiento ambiental, se espera que pueda influir positivamente sobre la justicia y equidad social del área de influencia metropolitana.

A este respecto, y dado el alcance esperado de la presente tesis, resulta apenas obvio reconocer el riesgo al que está expuesta. Al ser una investigación que plantea alternativas de organización espacial de las coberturas de la tierra que componen la estructura ecológica sobre la que se ha desplegado el modelo de producción agroindustrial de la caña de azúcar, es de esperar que los resultados sean vistos como utópicos¹² por ciertos sectores de la sociedad. No obstante, las condiciones actuales del área de influencia metropolitana de Cali ameritan un enfoque sistémico que permita proponer una mejor organización de la estructura ecológica. A favor se tiene un creciente número de teorías sobre transiciones sociales (Escobar, 2015a, 2016; Frantzeskaki & de Haan, 2009) más coherentes con la sustentabilidad ecológica (Gligo, 1995; Jabareen, 2008; López-Pardo, 2012). Además, las dificultades para la producción y distribución de alimentos que la pandemia del nuevo coronavirus «SARS-CoV-2» ha puesto al descubierto (Galanakis, 2020) —con su respectivo impacto económico (Nicola et al., 2020)— exponen claramente los vacíos del marco epistemológico mecanicista predominante. Esto hace que aquellos escenarios considerados utópicos pasen a ser necesarios, pues su materialización garantizaría la salud de los ecosistemas y la supervivencia del ser humano ante dificultades de orden global. Desde esa perspectiva, este es un riesgo que vale la pena tomar y, por tanto, se asume con convicción.

1.4. Estructura de la tesis

La presente tesis está compuesta por cinco capítulos. Como se pudo observar, el Capítulo I se trata de la «Introducción», en la que se expuso el planteamiento del problema de investigación, los objetivos, la justificación y la estructura de la tesis (actual apartado).

¹² Según la Real Academia Española, la palabra utopía tiene dos acepciones, ninguna de las cuales indica que se trate de logros imposibles: «1. f. Plan, proyecto, doctrina o sistema deseables que parecen de muy difícil realización. 2. f. Representación imaginativa de una sociedad futura de características favorecedoras del bien humano». Tomado de <http://dle.rae.es/?id=bCnqw2G> el 24 de septiembre de 2018. Para mayor referencia, ver (Rutger, 2017)

El Capítulo II se trata del «Estado del arte y marco teórico». El apartado acerca del estado del arte presenta, por un lado, los hallazgos de la revisión de literatura internacional relacionada con las dos categorías de análisis o procesos que configuran el problema de investigación, a saber, el desarrollo urbano y el desarrollo agroindustrial y, por otro, indaga lo que se ha denominado en la tesis *la tríada «servicios ecosistémicos, estructuras ecológicas y áreas metropolitanas»*. De esa manera se abarcan integradamente los principales conceptos que estructuran la investigación.

Por su parte, en la sección sobre el marco teórico se hace una revisión a la interpretación del concepto central de la tesis: «estructura ecológica» o «infraestructura verde» —como se le denomina en Europa y Norteamérica—. Esto se logra por medio del análisis de las raíces del concepto en Colombia para entender su dualidad como categoría de protección ambiental y elemento tangible de la realidad, y se propone una nueva manera de interpretarlo a partir de una visión centrada en el valor intrínseco de la naturaleza y desligada de las concepciones predominantes basadas en el utilitarismo y la instrumentalidad. En ese sentido, la adopción del enfoque crítico es crucial para entender las razones que soportan esta manera alternativa, pero necesaria, de interpretar el significado de la estructura ecológica. Así, se revisan los postulados relevantes de autores que acuden al enfoque crítico y a la ecología política para evaluar la dinámica actual de la relación sociedad-naturaleza, y se introduce el marco teórico de los sistemas socioecológicos como herramienta para presentar una alternativa que conduzca hacia la sustentabilidad ecológica del área de influencia metropolitana de Cali.

Por otro lado, el Capítulo III describe el proceso metodológico seguido para realizar la simulación de alternativas de organización espacial de la estructura ecológica que permitan aumentar su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos. Allí se describen i) los métodos y criterios para identificar los límites del área de influencia metropolitana; ii) el protocolo para realizar la clasificación de coberturas de la tierra que sirvió de insumo para la posterior consulta a expertos con el fin de valorar la capacidad de las coberturas de la tierra e identificar la estructura ecológica; y, finalmente, iii) el procedimiento seguido para simular las alternativas de organización espacial.

El Capítulo IV describe los resultados de la investigación. Este es un reflejo de los tres procesos metodológicos descritos en el Capítulo III. Los títulos escogidos para describir los hallazgos son: i) El sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali», ii) la estructura ecológica y su capacidad, al 2016, para proporcionar servicios ecosistémicos, y iii) simulación de alternativas de organización espacial para aumentar la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico.

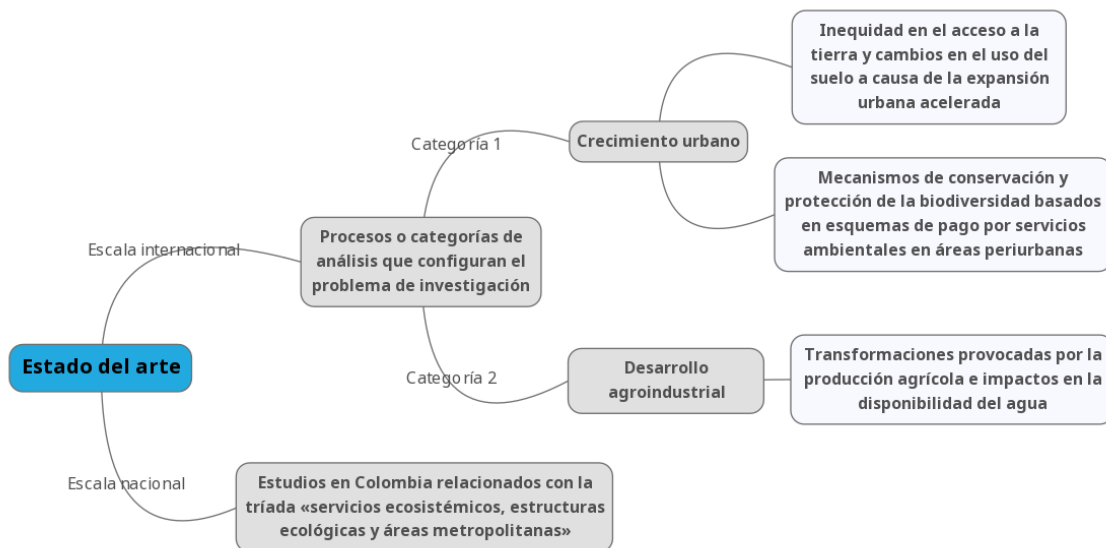
Finalmente, el Capítulo V presenta la discusión de cada uno de los resultados de la investigación y las conclusiones de la tesis. Al final del documento se encuentran las conclusiones y recomendaciones, las referencias y los anexos que sirven de soporte para algunos de los resultados del Capítulo IV. Entre estos se debe destacar el Anexo 9, puesto que describe de manera resumida los hallazgos de una investigación realizada durante la estancia doctoral realizada en el Instituto de Ciencias y Tecnología Ambientales (ICTA) de Barcelona, España. El tema se enmarca en el uso de datos obtenidos de las redes sociales —en este caso particular, Flickr— para identificar patrones de flujo de servicios ecosistémicos culturales en el contexto del área de influencia metropolitana de Cali.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

Tal como indica la Figura 4, el estado del arte de la presente tesis tiene dos componentes. Por un lado, la escala internacional abarca los procesos o categorías de análisis que configuran el problema de investigación (*i. e.*, el crecimiento urbano y el desarrollo agroindustrial). Así fue posible identificar las tendencias y las problemáticas más recurrentes relacionados con la valoración de servicios ecosistémicos alrededor del mundo, a saber: (i) inequidad en el acceso a la tierra y cambios en el uso del suelo a causa de la expansión urbana acelerada; (ii) mecanismos de conservación y protección de la biodiversidad basados en esquemas de pago por servicios ambientales; y (iii) transformaciones provocadas por la producción agrícola e impactos en la disponibilidad del agua. Por otra parte, la escala nacional se basó en la revisión de estudios acerca de la tríada «servicios ecosistémicos, estructuras ecológicas y áreas metropolitanas».

Figura 4. Esquema de los temas abordados en el estado del arte de la investigación



Fuente: Elaboración propia

2.1.1. Escala internacional: Tendencias y problemáticas más recurrentes asociadas con la valoración de servicios ecosistémicos alrededor del mundo

Como se aprecia en la Tabla 2, la valoración de servicios ecosistémicos alrededor del mundo presenta varias tendencias y problemáticas. Para identificarlas, se partió de la revisión de estudios que abarcan desde la escala global hasta la continental, finalizando en Latinoamérica. En ese sentido, esta primera parte del estado del arte se enfocó en establecer un paralelo entre el problema de investigación de la presente tesis —la limitada capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos en el área de influencia metropolitana de Cali— y diferentes problemáticas que se enfrentan en otras latitudes del mundo, a partir del enfoque de servicios ecosistémicos.

Tabla 2. Principales tendencias y problemáticas asociadas con la valoración de servicios ecosistémicos alrededor del mundo¹³

Área geográfica	Tendencias y problemáticas estudiadas
Global	Valoración monetaria y no monetaria de los ecosistemas y capital natural, valoraciones basadas en principios antropocéntricos (Costanza et al., 2017; Gómez-Baggethun et al., 2010); reconocimiento reciente en la política pública del valor intrínseco de los ecosistemas (Chan et al., 2016; Díaz et al., 2015; Pascual et al., 2017).
Europa	Conservación de la biodiversidad y el desarrollo sustentable (EEA, 2011); servicios ecosistémicos y procesos de planificación ambiental urbana (Baró et al., 2016, 2017; Burkhard et al., 2009; Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Laforteza et al., 2013; Langemeyer et al., 2018; Mascarenhas et al., 2016); desarrollo urbano sustentable local y regional (Capotorti et al., 2017; Larondelle et al., 2016; Peña et al., 2018).
Norteamérica (Estados Unidos)	Planificación ambiental urbana de las principales ciudades del país (Young, 2011); inequidad en el acceso a la tierra (Young & McPherson, 2013); multifuncionalidad de los ecosistemas y capacidad para gobernar infraestructuras verdes de carácter metropolitano (Lovell & Taylor, 2013; Young & McPherson, 2013).
Oceanía (Australia)	Disminución de la polinización y su impacto ecológico y económico en la producción agrícola (Smith & Sullivan, 2014); reducción de la disponibilidad de agua y pérdida de biodiversidad, entre otros efectos negativos (Pittock et al., 2012).

¹³ Aunque no se puede asegurar que estos sean las únicas tendencias y problemáticas relacionadas con la valoración de los ecosistemas, sí se pueden considerar como algunos de los temas más recurrentes en los estudios revisados.

Área geográfica	Tendencias y problemáticas estudiadas
Asia (China)	Degradación de los ecosistemas, impactos del proceso de expansión urbana (Hasan et al., 2020); transformaciones provocadas por la producción agrícola intensiva (Song et al., 2017); impactos de la urbanización sobre la calidad del agua (Mei et al., 2017).
África	Servicios ecosistémicos proporcionados por las cuencas hidrográficas para afrontar la escasez de agua (Wangai et al., 2016); impacto del crecimiento demográfico y los cambios en el uso de suelo sobre la provisión de servicios ecosistémicos (Leh et al., 2013; Wangai et al., 2016).
Latinoamérica	Pago por servicios ambientales (Balvanera et al., 2012); efectos de los cambios en el uso del suelo sobre los servicios ecosistémicos (Aldana-Domínguez et al., 2019; Balvanera et al., 2012; Montoya-Tangarife et al., 2017).

Para empezar, resulta indispensable señalar que los primeros ejercicios de valoración de servicios ecosistémicos fueron realizados por Costanza et al. (1997). Los autores afirmaban que los servicios ecosistémicos y el capital natural del cual provienen deben ser considerados parte del sistema económico del planeta, puesto que contribuyen directa e indirectamente al bienestar de los seres humanos (Costanza et al., 1997). Estas investigaciones, aunque basadas en valores monetarios, tenían como propósito aumentar la consciencia conservacionista de la sociedad, en particular la de los tomadores de decisiones. Para alcanzar este objetivo, presentaron cifras realmente sorprendentes sobre el valor económico estimado de diecisiete servicios ecosistémicos, el cual, se calculaba, equivalía a un promedio de treinta y tres trillones de dólares al año —un poco menos que el doble del producto interno bruto global en la década de los noventa (dieciocho trillones de dólares al año)— (Costanza et al., 1997). Esta es una visión propia de la economía ecológica.

A partir de esa fecha, numerosos estudios han dado cuenta tanto del valor monetario como no monetario de los ecosistemas (Costanza et al., 2017; Gómez-Baggethun et al., 2010). Estos esfuerzos han permitido que la valoración de servicios ecosistémicos ocupe un lugar central en la agenda de organizaciones internacionales y gobiernos nacionales y que, en consecuencia, los esfuerzos por conservar los ecosistemas se hayan ampliado a escala planetaria (Díaz et al., 2015; Pascual et al., 2017). Además, a pesar de que estas valoraciones

parten de supuestos antropocéntricos, es cada vez más clara la inclusión del valor intrínseco de los ecosistemas en la toma de decisiones (Chan et al., 2016; Díaz et al., 2015; Pascual et al., 2017).

En Europa, la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, por sus siglas en inglés) estableció lo que se denominó *infraestructura verde y cohesión territorial*. Mediante esta iniciativa, se vinculó de manera estratégica la provisión de servicios ecosistémicos con la infraestructura verde, logrando unidad de visión en lo que respecta a la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sustentable (EEA, 2011). En ese sentido, se han realizado estudios que resaltan la importancia de los servicios ecosistémicos en los procesos de planificación ambiental urbana (Baró et al., 2016, 2017; Burkhard et al., 2009; Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Laforteza et al., 2013; Langemeyer et al., 2018; Mascarenhas et al., 2016). En consecuencia, la valoración de los servicios ecosistémicos en la planificación —que, como se ha observado, se vale de métodos y enfoques cuantitativos y cualitativos— se ha convertido en un elemento esencial para promover el desarrollo urbano sustentable a niveles local, regional y nacional (Capotorti et al., 2017; Larondelle et al., 2016; Peña et al., 2018).

Por su parte —y similar a lo realizado en Europa— en los Estados Unidos la valoración de servicios ecosistémicos también ha jugado un papel transcendental en la planificación ambiental urbana de las principales ciudades del país (Young, 2011). Incluso temas como la pérdida de espacios verdes y la inequidad en el acceso a la tierra han sido revisados a la luz del enfoque de servicios ecosistémicos (Young & McPherson, 2013). Como respuesta a estos desafíos, algunos de los esfuerzos de investigación en este campo han consistido en estudios sobre la multifuncionalidad de los ecosistemas y la capacidad para gobernar infraestructuras verdes de carácter metropolitano (Lovell & Taylor, 2013; Young & McPherson, 2013).

En Oceanía, específicamente en Australia, a través de ejercicios de percepción aplicados al sector agrícola, se ha observado una preocupación creciente por la disminución de servicios ecosistémicos relacionados con la polinización, la cual ha generado un impacto ecológico y, en consecuencia, económico sobre los agricultores (Smith & Sullivan, 2014). También se

han desarrollado estudios acerca de la gran reducción en la disponibilidad de agua a causa del desarrollo extensivo de la agricultura basada en el riego y sus consecuencias negativas sobre los humedales (*i. e.* desecación) y la biodiversidad, entre otros (Pittock et al., 2012).

En el contexto asiático, se puede observar que los estudios realizados en la China sobre la provisión de servicios ecosistémicos han sido impulsados por temas como la degradación de los ecosistemas —debido a los grandes impactos del proceso de expansión urbana (Hasan et al., 2020)— y las transformaciones provocadas por la producción agrícola intensiva (Song et al., 2017). También se pueden encontrar estudios acerca de evaluaciones específicas de servicios ecosistémicos, como por ejemplo, la medición de los impactos de la urbanización sobre la calidad del agua (Mei et al., 2017).

Por otro lado, en África, una considerable cantidad de ejercicios de valoración de servicios ecosistémicos están centrados en aquellos proporcionados por las cuencas hidrográficas; esto debido principalmente a problemas de escasez de agua para atender las diferentes necesidades de la agricultura, la industria y las actividades domésticas (Wangai et al., 2016). También se encuentran estudios sobre impacto del crecimiento demográfico y los cambios en el uso de suelo en la provisión de servicios ecosistémicos (Leh et al., 2013; Wangai et al., 2016).

Lo observado en Asia y África —continentes categorizados por el modelo económico capitalista como subdesarrollados— presenta similitudes entre sí y también con Latinoamérica. Problemas asociados con la degradación de los suelos debido al predominio de monocultivos (Correa-García et al., 2018; Song et al., 2017; Wangai et al., 2016) y la fragmentación ocasionada por el mercado inmobiliario de origen privado que impulsa el proceso de planificación ambiental urbana (Hasan et al., 2020; Martínez-Toro, 2018), también pueden identificarse en esta parte del continente. No obstante, aunque en Latinoamérica la valoración de servicios ecosistémicos es un campo aún incipiente, una característica distintiva evidenciada en los últimos años es un fuerte protagonismo por parte de las administraciones públicas nacionales, regionales y locales en lo que respecta a la protección de ecosistemas llamados «estratégicos», con el establecimiento de mecanismos

de pago por servicios ambientales (Balvanera et al., 2012). Por su parte, la valoración y el mapeo de servicios ecosistémicos ha venido tomado fuerza en la última década como mecanismo para entender los efectos de los cambios en el uso del suelo sobre ecosistemas de países como Argentina, Chile, Colombia y México (Aldana-Domínguez et al., 2019; Balvanera et al., 2012; Montoya-Tangarife et al., 2017; Tabares-Mosquera et al., 2020).

En términos generales, la literatura consultada en esta investigación indica que los continentes «subdesarrollados» se encuentran en el camino hacia la construcción de una línea base que soporte la utilidad de la valoración de servicios ecosistémicos en los procesos de planificación ambiental urbana, tal como ya sucede en Europa y Norteamérica en la actualidad. Lo que se puede intuir es que, de momento, los ejercicios de valoración surgidos en África, Asia y Latinoamérica tienen un carácter «correctivo»; es decir, emergieron como respuesta a los problemas de expansión urbana acelerada, degradación de suelos y fragmentación de la estructura ecológica, y no necesariamente como una herramienta «preventiva» que refuerce una interacción más armoniosa entre las dimensiones social y ecológica de las ciudades y áreas metropolitanas.

2.1.2. Escala nacional: Colombia y la tríada «servicios ecosistémicos, estructuras ecológicas y áreas metropolitanas»

Colombia ha sido un país reconocido por tener un marco normativo ambiental alineado con las tendencias internacionales sobre la conservación de los recursos naturales y el desarrollo sustentable (Ramírez-Hernández & Antero-Arango, 2013). Desde 1974, con la creación y aplicación del Decreto 2811 —relativo a los recursos naturales renovables y la protección del medio ambiente (Presidencia de Colombia, 1974) e inspirado por los principios promulgados por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano de Estocolmo (Naciones Unidas, 1972)— el país ha realizado considerables esfuerzos por establecer figuras de protección y conservación de los ecosistemas en todas las escalas político administrativas. Ese trabajo se fortaleció con el establecimiento del Sistema Nacional Ambiental (Congreso de Colombia, 1993), fruto de la Ley 99 de 1993, a su vez considerada

como un resultado de la aplicación de los principios establecidos en la Cumbre para la Tierra de Río de Janeiro (Naciones Unidas, 1992).

No obstante, solo en las últimas dos décadas se han empezado a reconocer los beneficios del enfoque de servicios ecosistémicos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) como insumo para la creación de instrumentos de gestión y planificación ambiental en el país. Los pioneros han sido los capitalinos, quienes desde inicios del año 2000 ya hacían esfuerzos por integrar la estructura ecológica con el área metropolitana de Bogotá en el marco de su plan de ordenamiento territorial (POT) (Andrade et al., 2013).

En este sentido, a la fecha, son escasos los ejercicios de valoración de servicios ecosistémicos que incorporan la tríada «servicios ecosistémicos, estructuras ecológicas y áreas metropolitanas» en la que se apoya la presente tesis doctoral. En la literatura académica evaluada por pares resulta clave resaltar dos trabajos: por un lado, el estudio sobre la valoración de servicios ecosistémicos para la identificación de la estructura ecológica de Cali (Tabares-Mosquera et al., 2020) —fruto de la presente tesis de investigación— cuyo propósito fue aportar elementos conceptuales para «fortalecer los procesos de formulación de lineamientos para la planificación y gestión ambiental de los sistemas socioecológicos de carácter metropolitano a partir de la combinación de información espacial y conocimiento experto» (Tabares-Mosquera et al., 2020); y, por el otro, el análisis acerca de los efectos de los cambios de la cubierta terrestre sobre los servicios ecosistémicos y la biodiversidad en Barranquilla (Aldana-Domínguez et al., 2019), el cual tuvo como objetivo contribuir a la comprensión de los efectos en los cambios de coberturas de la tierra en contextos metropolitanos para aportar al mejoramiento de los instrumentos de planificación del uso del suelo.

Otros estudios de alcance similar, pero que no se enmarcan en el contexto metropolitano, son los desarrollados por Monsalve-Cuartas (2014) sobre redes ecológicas para identificar los servicios ecosistémicos de soporte en la estructura urbana de Medellín; Rubiano-Calderón (2019), en relación con el servicio ecosistémico de regulación térmica, usando como base las coberturas verdes públicas de Bogotá; Cortés Ballén (2018), cuyo propósito fue investigar el

servicio ecosistémico de provisión de agua y otros servicios culturales asociados a la protección de humedales comprendidos en el contexto urbano como ecosistemas estratégicos; Ramírez-Gomez et al. (2015) en lo relativo a la identificación de servicios ecosistémicos de la Amazonia colombiana mediante técnicas de investigación y cartografía participativas; Angarita-Baéz et al. (2017), cuyo objetivo fue valorar y mapear servicios ecosistémicos culturales en el corregimiento de La Pedrera, ubicado en la región baja del río Caquetá; y Tovar-Tique et al., (2020) y su evaluación de servicios para entender dinámicas socioculturales en el municipio de Coyaima, Tolima.

Adicionalmente, al indagar sobre la identificación de estructuras ecológicas metropolitanas asociadas a las seis áreas metropolitanas formalizadas del país (i. e., Barranquilla, Bucaramanga, Centro-Occidente, Cúcuta, Valle del Cacique de Upar y Valle de Aburrá), se encontró que estas se limitan a adoptar la definición del Decreto 3600 de 2007, haciendo énfasis en que la estructura ecológica es un determinante del ordenamiento del suelo rural y el desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación. Sin embargo, no hay claridad sobre propuesta de mecanismos de gestión y planificación ambiental para garantizar la provisión de servicios ecosistémicos para el área de su jurisdicción.

En conclusión, solo los trabajos de Tabares-Mosquera et al. (2020) y Aldana-Domínguez et al. (2019) responden de manera directa a la tríada analizada aquí: «servicios ecosistémicos, estructuras ecológicas y áreas metropolitanas». Aunque existe un número considerable y creciente de investigaciones basadas en el enfoque de servicios ecosistémicos, la carencia de estudios que analicen la tríada a la luz de lo que se puede aportar a los procesos de gestión y planificación ambiental en contextos metropolitanos demuestra un vacío científico que necesita ser llenado, principalmente teniendo en cuenta la necesidad de evaluar el papel de las grandes ciudades y metrópolis en el futuro de un mundo que se esfuerza por encontrar caminos hacia la sustentabilidad ecológica.

2.2. Marco teórico

2.2.1. El enfoque crítico

La presente tesis doctoral se desarrolla desde una perspectiva geográfica, haciendo énfasis en la manera como se produce la espacialidad humana (Ortega-Varcárcel, 2000). Dicha espacialidad «conlleva que el espacio forme parte inseparable de la práctica social» (Ortega-Varcárcel, 2000, p. 339), en otras palabras, el espacio y la práctica social se influyen y moldean mutuamente, generando diferentes formas de organización espacial. En esta línea de ideas, analizar cómo se ha producido la espacialidad humana en el «área de influencia metropolitana de Cali» —traducida en la actual organización espacial de su estructura ecológica— permite comprender, por un lado, las implicaciones ecológicas que tendría la perpetuación del modelo actual de organización espacial en la provisión servicios ecosistémicos y, por el otro, las posibilidades que ofrece la transición hacia un tipo de organización espacial más coherente con la tan necesaria sustentabilidad ecológica.

En palabras de Delgado-Mahecha (2003a), citando a Harvey (2000), es necesario creer en la utopía de la transformación del orden soci ecológico actual con el fin de establecer relaciones cada vez más armónica que redunden en la tan necesaria sustentabilidad ecológica:

En *Space[s] of Hope* (Harvey, 2000) plantea la necesidad de —sin olvidar que no hemos elegido las condiciones histórico-geográficas de nuestra existencia, y sin desconocer las restricciones para nuestro desarrollo como seres sociales— construir una nueva utopía centrada en el interés por la transformación, y que dirija la práctica política hacia la creación de un nuevo orden socio-ecológico y de producción, que permita reconstruir nuestras relaciones con la sociedad y con la naturaleza, en un marco de democracia y justicia social, más allá de las meras expectativas redistributivas. Se trata de una utopía que reconfigure la combinación del repertorio de potencialidades humanas de competitividad, aclimatación, cooperación, adaptación al medio, y de ordenamiento temporal y espacial, como alternativa

al sesgo del darwinismo social que fundamenta su proyecto en la exaltación del individualismo y en la competencia. (p. 93)

En tal sentido, instrumentalizar un ejercicio de simulación espacial —que no es otra cosa que alterar modelos de la realidad en la búsqueda de alternativas a problemas específicos— requiere de la adopción del enfoque crítico (Cebotarev, 2003). Mediante su aplicación, es posible identificar y proponer cambios en algunos aspectos de dichos modelos y, así, demostrar las ventajas y desafíos de su materialización. Es precisamente el pensamiento crítico el que permite afirmar que procesos como la expansión desmedida de las áreas construidas y de los agronegocios corresponden a una realidad que debe ser revertida si se quiere aumentar la probabilidad de permanencia de la vida en la superficie terrestre. Sin embargo, es evidente la dificultad que representa tal reversión, dado que los procesos antes mencionados son parte del modelo económico imperante en el planeta.

No obstante, una simulación en la que las áreas afectadas por tales procesos sean ocupadas por otros menos destructores puede evidenciar el aumento de la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos, incluso en el contexto de una sociedad en la que predomina el modelo epistemológico mecanicista (Aledo, 2001; Leff, 1998) —responsable del dualismo sociedad-naturaleza y, en consecuencia, de la crisis ecológica actual—. Este modelo epistemológico, que se ha materializado a través de lo que Aníbal Quijano ha denominado una «matriz colonial de poder» (Mignolo, 2007), no es otra cosa que un orden mundial policéntrico basado en la economía capitalista (Mignolo, 2011) y cuyas bases se encuentran en las ideas dominantes de la Modernidad, las cuales ubican al ser humano como ente dominador de todo lo demás (Mignolo, 2007; Robles, 2012).

El pensamiento crítico permite, entonces, revisar las dinámicas de «los sistemas socioeconómicos y políticos insensibles existentes (tanto el capitalista como lo que queda del socialista) y la posición excluyente de la ciencia positivista, que reclama ser la única fuente de conocimiento legítima y válida» (Cebotarev, 2003). En tal sentido, cuestiona el uso de la «razón» como el instrumento generador del dualismo entre el ser humano y la naturaleza,

promoviendo actitudes y acciones de dominación de ciertos grupos de seres humanos sobre otros y, por supuesto, de los seres humanos sobre la naturaleza (Horkheimer & Adorno, 2002).

En esta línea de ideas, la mirada crítica tiene puntos de encuentro importantes con la ecología política, puesto que esta última tiende puentes entre diferentes clases de epistemologías y saberes que propenden hacia otras alternativas basadas en una visión integral y no de dominación de los seres humanos frente a la no-humano (Escobar, 2010; Gudynas, 2011b; Leff, 2003; Martínez-Alier, 2009).

Con base en lo anterior, los referentes teóricos revisados para sustentar la pertinencia del pensamiento crítico en la presente tesis plantean que la concepción de naturaleza debe comprender más allá de su valor instrumental (Harvey, 2018), poniendo de relieve la existencia de senderos más claros —aunque con tránsitos más dolorosos— hacia una sociedad ecológicamente sustentable (Capra, 2002; Lélé, 1991). Así, por ejemplo, Chan et al., (2016) explican que, a pesar de que los valores intrínsecos e instrumentales dados a la naturaleza son críticos para su conservación, pensar en ellos de manera separada puede dejar muchos vacíos, pues en cierta manera significa aplicar la visión mecanicista dualista a la naturaleza. Más bien, proponen pensar en términos de valores relacionales, los cuales no están presentes en los elementos que observamos, sino que se derivan de las relaciones y responsabilidades para con ellos (Chan et al., 2016).

Algunos ejemplos de cómo el pensamiento crítico analiza los efectos del marco epistemológico mecanicista en la llamada relación ser humano-naturaleza, se pueden encontrar en autores como Leff (2012), que materializa su análisis crítico a través de lo que denomina «imaginarios sociales». Él declara que estos imaginarios describen la relación entre lo real y lo simbólico y que, en relación con la sustentabilidad, los imaginarios sociales se «enfrentan a la racionalización del mundo, especialmente a las prácticas inducidas por la racionalidad teórica e instrumental de la modernidad», convirtiéndose así en «estrategias de poder para la emancipación. No son solo trincheras de resistencia a la racionalización de la

vida, sino potenciales de creatividad para la construcción de mundos alternativos sostenibles» (Leff, 2012, p.19).

Por su parte, Escobar (2014) usa el concepto de «territorio» para explicar que las relaciones instrumentales son solo un componente de la existencia y que, de hecho, lo que da sentido al territorio, como antes lo explicaba Chan et al., (2016), son las relaciones entre humanos y no-humanos:

El territorio se concibe como algo más que una base material para la reproducción de la comunidad humana y sus prácticas. Para poder captar ese algo más, el atender a las diferencias ontológicas es crucial. Cuando se está hablando de la montaña como ancestro o como entidad sintiente, se está referenciando una relación social, no una relación de sujeto a objeto. Cada relación social con no-humanos puede tener sus protocolos específicos, pero no son (o no solo) relaciones instrumentales y de uso. Así, el concepto de comunidad, en principio centrado en los humanos, se expande para incluir a no-humanos (que pueden ir de animales a montañas pasando por espíritus, todo dependiendo de los territorios específicos). Consecuentemente, el terreno de la política se abre a los no-humanos. (p. 103)

En este mismo sentido, Santos (2012) resalta la pertinencia del pensamiento crítico para entender la realidad más allá de lo que existe; una realidad definida como «un campo de posibilidades donde tienen cabida opciones que fueron marginadas o que ni siquiera se intentaron» (p. 38). Y continúa explicando que:

... la función de las prácticas y del pensamiento emancipadores consiste en ampliar el espectro de lo posible por medio de la experimentación y de la reflexión sobre proposiciones que representen formas de sociedad más justas. Al apuntar más allá de lo que existe, estas formas de pensamiento y de práctica ponen en duda la separación entre realidad y utopía y formulan propuestas lo suficientemente utópicas para representar un desafío al *statu quo*, y suficientemente reales para no ser descartadas con facilidad por inviables. (p. 38)

También hay postulados críticos frente a los efectos que el marco epistemológico mecanicista ha tenido en la «ciencia» y la visión antropocéntrica que se desprende de ella. Por ejemplo, Gudynas (2000) plantea que la «ciencia contemporánea se ha convertido en una pieza clave en la dominación y apropiación de la Naturaleza» (p. 81) por parte del ser humano. Esta visión claramente ha destruido las concepciones holísticas, cuyas raíces se encuentran en Antigüedad (Collingwood, 1945) y bajo las cuales el ser humano era considerado un organismo inmerso en la naturaleza misma y unido a ella (Capra, 1998; Gudynas, 2000; Naess, 1973).

Grosso modo, el resultado de la aplicación del marco conceptual mecanicista no es otra cosa que la realidad actual; una crisis ambiental de proporciones nunca vistas: una crisis civilizatoria (Escobar, 2015b). Ante tal escenario, una respuesta basada en una visión ecológica de la vida —que considere al ser humano como parte integral del sistema en el cual vive— es más que pertinente: necesaria. Tal visión, según la Comunidad Internacional Bahá'í (1995), promueve un marco epistemológico en el que:

... la relación más importante que mantiene unido el mundo del ser se encuentra dentro de la esfera de las mismas cosas creadas, y [...] la cooperación, la ayuda mutua y la reciprocidad son características esenciales del cuerpo unificado del mundo del ser, en cuanto que todas las cosas creadas están relacionadas estrechamente entre sí y cada una es influida por la otra o saca algún beneficio de ella, sea directa o indirectamente (p. 3)

En otras palabras, todo lo que existe es parte de una misma realidad, de un mismo cuerpo constituido por relaciones que le dan vida y sentido, y se manifiesta a través de una red de elementos interconectados en el ecosistema mundo (Capra, 1998, 2002; Naess, 1973). De ahí que la búsqueda de la sustentabilidad ecológica deba basarse en un marco epistemológico que reconozca esta forma de ver la realidad y no continúe buscando soluciones a los problemas mediante el uso de los mismos instrumentos conceptuales que los han creado.

Dicho esto, un nuevo marco epistemológico que propenda hacia la sustentabilidad ecológica puede materializarse en áreas específicas de la superficie terrestre a través de la aplicación del enfoque de los sistemas socioecológicos —entendido como un sistema integrado entre seres humanos y otros no-humanos (Chapin et al., 2011; Cumming, 2011). Este marco se sustenta en la idea de que los sistemas socioecológicos son adaptativos y complejos (Folke, 2006), lo cual implica que hay cabida para la búsqueda de diferentes opciones de organización espacial y relaciones sociales. Es plausible reconocer que el concepto de sistema socioecológico tiende a deconstruir la escisión ideológica del ser humano de la naturaleza. En consecuencia, los sistemas socioecológicos son orgánicos, puesto que cada parte tiene incidencia sobre las demás; es decir, las relaciones de sus componentes funcionan en doble vía: por un lado, las intervenciones y actividades de carácter cultural, político, social y económico producen cambios y transformaciones en los sistemas socioecológicos; por otro, las dinámicas de los ecosistemas influyen la cultura, las relaciones de poder y las actividades económicas de los seres humanos (Salas-Zapata et al., 2012).

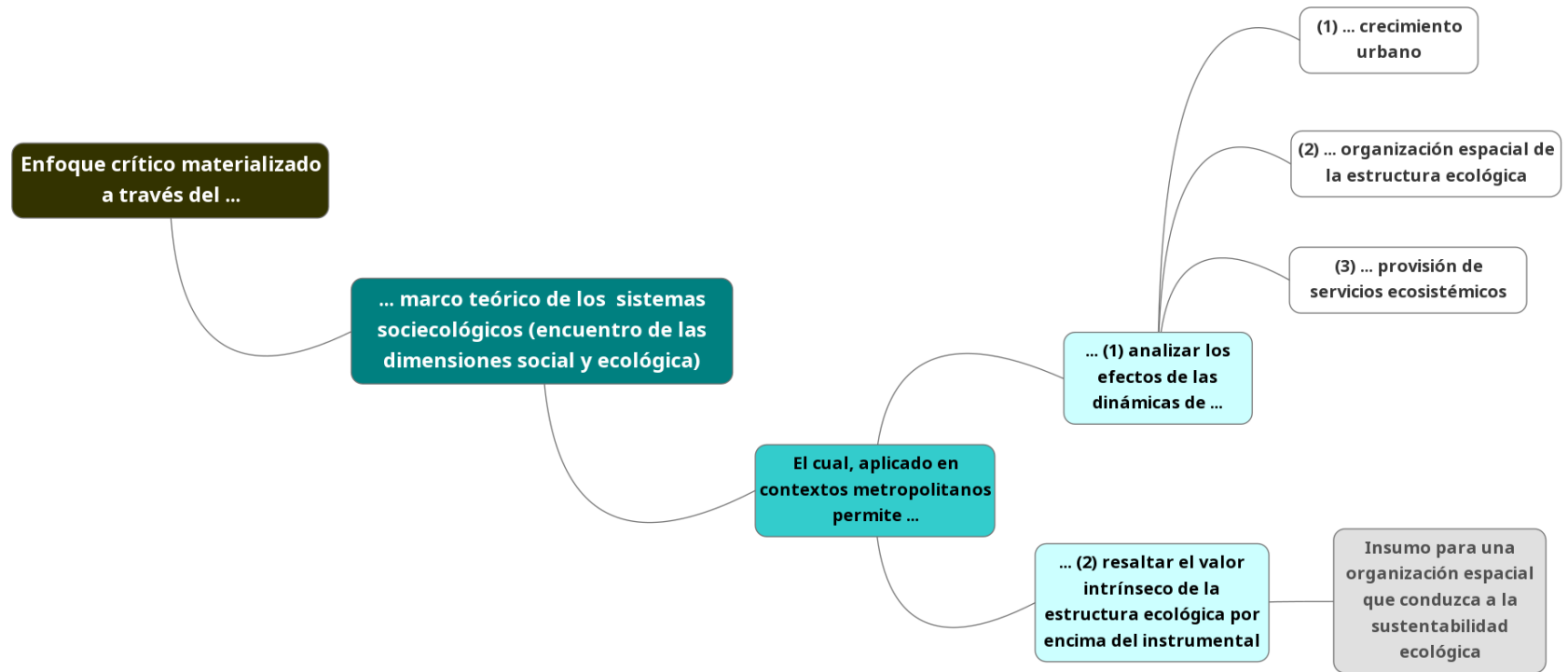
Aplicar el marco teórico del sistema socioecológico al contexto metropolitano permite, en primer lugar, analizar los efectos de las dinámicas asociadas al crecimiento urbano, la organización espacial de la estructura ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos; y, además, resaltar el valor intrínseco de la estructura ecológica por encima del instrumental como insumo básico para una planificación ambiental urbana que apunte a la sustentabilidad ecológica¹⁴ (Figura 5). Es importante señalar, entonces, que la visión de sustentabilidad ecológica propuesta en la presente tesis no es aquella que surge como una estrategia del capitalismo —lo que actualmente está ocurriendo a partir de la visión de «hombre verde» y «economías verdes»—. Más bien, se trata de un pensamiento que conduzca a nuevas formas de organización social en las que primen las relaciones sistémicas y las propiedades emergentes de la Tierra —relaciones basadas en el reconcomiendo de que la existencia humana se

¹⁴ De la cual depende el sistema social —considerando el sistema económico como un subsistema del social— (Bunge, 1999).

encuentra íntimamente asociada a la existencia del entorno no humano—. En palabras de Capra (1998a), una sustentabilidad ecológica que se basa en un nuevo sistema ético:

Es una visión del mundo que reconoce el valor inherente de la vida no humana. Todos los seres vivos son miembros de comunidades ecológicas vinculados por una red de interdependencias. Cuando esta profunda percepción ecológica se vuelve parte de nuestra vida cotidiana, emerge un sistema ético radicalmente nuevo. (p. 32)

Figura 5. Aplicación del enfoque crítico a través de la teoría de sistemas socioecológicos



2.2.2. El concepto central a la luz del enfoque crítico: La estructura ecológica o infraestructura verde

El concepto central de esta investigación es la «estructura ecológica» o «infraestructura verde», como se denomina ampliamente en Europa y Norteamérica. Ambas denominaciones promueven los mismos propósitos: crear condiciones favorables para la provisión de servicios ecosistémicos que redunden en el bienestar común (EEA, 2011; van der Hammen & Andrade, 2003). Ambos tienen al menos dos significados: por un lado, el relacionado con la denominación de elementos tangibles y, por otro, el que los asocia con una realidad jurídica, es decir, un instrumento de gestión y planificación.

Al observar el detalle de cada definición se puede validar lo expresado anteriormente. La «infraestructura verde», según la EEA, es una «red de áreas naturales y seminaturales estratégicamente planeadas junto con otras características ambientales diseñadas y administradas para ofrecer un amplio rango de servicios ecosistémicos. Incorpora espacios verdes (así como ecosistemas acuáticos) y otras características físicas en áreas terrestres y marinas. En áreas terrestres, la infraestructura verde está presente en contextos rurales y urbanos» (EEA, 2011, p. 32). Por su parte, la «estructura ecológica», cuyos autores seminales en Colombia fueron los investigadores Thomas van der Hammen y Germán Andrade, está descrita como «la expresión territorial de los ecosistemas naturales, agroecosistemas y sistemas urbanos y construidos que soportan y aseguran a largo plazo los procesos, sustentan la vida humana, la biodiversidad, el suministro de servicios ambientales y la calidad de la vida» (van der Hammen & Andrade, 2003, p. 18). Claramente, ambas denominaciones hacen énfasis en que sus elementos deben tener una localización específica y conformar una red de áreas que brinden servicios ecosistémicos.

En el caso específico de Colombia, vale la pena agregar que la definición de van der Hammen y Andrade fue interpretada por la administración pública a partir de una lógica marcadamente antropocéntrica y ambigua, la cual se materializó en el Decreto 3600 de 2007 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, 2007). En esta norma, se definió la estructura ecológica

como «el conjunto de elementos bióticos y abióticos que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales del territorio, cuya finalidad principal es la preservación, conservación, restauración, uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, los cuales brindan la capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones» (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, 2007, p. 1). La inclusión del concepto de estructura ecológica en el mencionado decreto dio paso a que los planes de ordenamiento territorial (POT) incluyeran la estructura ecológica en la determinación de las áreas de protección del suelo rural, como una estrategia de conservación y protección ambiental que, además, debe considerar las áreas ya establecidas por la legislación vigente, como son las del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las de reserva forestal, las de manejo especial y, por último, las de especial importancia ecosistémica —tales como páramos y subpáramos, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos, rondas hidráulicas de los cuerpos de agua, humedales, pantanos, lagos, lagunas, ciénagas, manglares, y reservas de flora y fauna—. En la elaboración de los POT, tal vez por el desconocimiento de cómo establecer una estructura ecológica, los municipios han terminado por llamar «estructura ecológica» a los instrumentos de planificación y gestión ambiental, cayendo en la denominada «realidad ingenua», pues se confunde la realidad ambiental municipal con las figuras jurídicas de conservación. Ejemplos de ello se observan en la inclusión de parques naturales, reservas forestales, resguardos indígenas, entre otros.

A partir de lo anterior, se puede concluir que, en Colombia, la estructura ecológica ha sido utilizada como una estrategia del ambientalismo capitalista —«la teoría o la práctica de una economía de libre mercado en la que los recursos naturales se consideran capital y los beneficios dependen en parte de la protección del medio ambiente y la sostenibilidad» (Dictionary, 2021, p.1). Esto se observa en los esfuerzos por proteger y conservar únicamente los relictos naturales y seminaturales que son considerados importantes debido a la singularidad de servicios ecosistémicos que ofrecen —como la regulación climática o captura de dióxido de carbono—, lo cual se enmarca en una lógica mecanicista y antropocéntrica que prioriza ampliamente el valor instrumental de los recursos naturales por encima de los intrínsecos. En esa línea de ideas, la gestión y planificación ambiental actuales se encuentran

bajo la «concepción estándar» de la gestión ambiental del capitalismo (Harvey, 2018). Esta concepción es correctiva y no preventiva y, como lo indica Harvey (2018), es una estrategia que se basa parcialmente en:

... la creencia de que ninguna preocupación medioambiental general debe interponerse en el camino del «progreso» (más exactamente en el de la acumulación del capital) y que, si es necesario, cualquier dificultad medioambiental puede solucionarse adecuadamente «después del acontecimiento». (p. 481)

En ese orden de ideas, se acepta que el modelo económico capitalista genere externalidades que afecten tanto al entorno natural como a las poblaciones más vulnerables, siempre y cuando garantice la continuidad del funcionamiento del modelo. Sobra decir que esto se debe a los beneficios que obtiene el capital (y, por supuesto, quienes están detrás de él). En ese sentido, la planificación y gestión ambientales se llevan a cabo bajo la premisa de que estas se hagan a favor de:

... la acumulación de capital, la eficiencia económica y el crecimiento. Desde este punto de vista, los efectos de las externalidades negativas (incluyendo los que afectan a la salud y al bienestar) merecen ser contrarrestados (siempre que no se creen barreras graves para la acumulación posterior) y hay que prestar una seria atención a la adecuada conservación y a la utilización prudente de los recursos. (Harvey, 2018, p. 483)

Insistir en una clase de planificación y gestión ambientales sostenidas por supuestos como los mencionados anteriormente no permitirá la supervivencia de la especie humana en el planeta. En ese sentido, resulta urgente la materialización de un marco epistemológico basado en el pensamiento sistémico, el cual incluya al ser humano como uno de los elementos que conforma la red de relaciones del sistema mundo (Naess, 1973, 2005), y no como su agente dominador y explotador; un marco epistemológico en el que la conservación se fundamente en los valores relacionales (instrumentales e intrínsecos) que dan significado a la existencia

de todas y cada una de las complejas relaciones que conforman el planeta y, por tanto, esté a favor de la sustentabilidad ecológica.

A la luz de lo anterior, el concepto de estructura ecológica propuesto en la presente tesis busca avanzar hacia la consecución de la sustentabilidad ecológica en el área de influencia metropolitana de Cali. Se alinea con la definición seminal de «estructura ecológica de soporte de la Nación» propuesta por van der Hammen & Andrade (2003) al identificar aquellos elementos naturales y seminaturales que «soporta[n] y asegura[n] a largo plazo los procesos que sustentan la vida humana, la biodiversidad, el suministro de servicios ambientales y la calidad de la vida» (p. 18). No obstante, al tratarse de un estudio metropolitano, en el cual se podrían identificar distintos componentes de la estructura ecológica a partir de una misma escala de análisis¹⁵, esta investigación propone la siguiente definición:

La estructura ecológica garantiza la provisión de servicios ecosistémicos en un sistema socioecológico determinado, en este caso, uno metropolitano. Está compuesta por todos los elementos naturales y seminaturales del sistema, independientemente de su grado de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos.

La anterior definición permite hablar de una sola estructura ecológica, y no de una principal y una infraestructura. Identificarla en términos de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos permite entender que un humedal, un bosque ripario o una zona verde urbana ubicados en un área urbana —a los cuales se les asigna la categoría de infraestructura ecológica desde la perspectiva de van der Hammen & Andrade (2003) y el Decreto 3600 (Presidencia de Colombia, 2007)— pueden llegar a tener una capacidad similar para proporcionar servicios ecosistémicos que un herbazal de páramo, un río o un bosque ribereño, ubicados en áreas rurales —a los cuales se les asigna la categoría de estructura ecológica principal bajo la perspectiva de los autores antes mencionados—.

¹⁵ Y no desde dos diferentes, para lo cual van der Hammen y Andrade propusieron la estructura ecológica principal y la infraestructura ecológica, más adelante materializada a escala municipal a la luz del Decreto 3600 de 2007.

Por tanto, enfocarse en la capacidad para la provisión servicios ecosistémicos de los elementos y no en la selección de categorías de protección ambiental que los protegen, permite reconocer el amplio rango de capacidad que tienen los elementos de la estructura ecológica y no solo aquellos que, desde la perspectiva antropocéntrica, deberían componerla por ser los menos intervenidos al estar ubicados lejos de los centros urbanos.¹⁶

Habiendo dicho esto, queda claro que a partir del aporte teórico y conceptual que ofrece la definición de estructura ecológica desarrollada en esta tesis, no se propone dividirla en dos categorías con el fin de jerarquizarla en una estructura principal y otra secundaria (o infraestructura, como se conoce). Lo que se plantea es analizar la estructura ecológica a partir de dos grupos basados en la capacidad de sus elementos para proporcionar servicios ecosistémicos: una estructura ecológica de primer nivel —que hace referencia a los elementos con mayor capacidad— y una de segundo nivel —compuesta por los elementos con menor capacidad¹⁷—. Este ejercicio permite entender si los elementos con mayor capacidad están siendo protegidos efectivamente, o no, por las categorías de protección ambiental existentes para las escalas nacional y departamental y, por otro lado, analizar críticamente cómo podría ampliarse la capacidad de las áreas ocupadas por elementos con baja capacidad. En el Capítulo III se detalla el proceso metodológico seguido para identificar los elementos que hacen parte de uno y otro grupo.

¹⁶ Este punto puede entenderse con el siguiente ejemplo: En la estructura ecológica definida por van der Hammen y Andrade a escala 1:100.000, y más tarde instrumentalizada en el Decreto 3600 para la escala de municipal, los bosques densos, normalmente ubicados en la periferia o zonas netamente rurales de los municipios, siempre harán parte de la estructura ecológica principal, y los corredores ecológicos presentes en las riberas de los ríos siempre serán parte de la infraestructura ecológica. Sin embargo, desde la perspectiva de esta tesis, ambos serán parte de la estructura ecológica de primer nivel debido a su considerable capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos.

¹⁷ Como se explicó anteriormente, los elementos que constituyen estos dos grupos pueden encontrarse tanto en áreas naturales no intervenidas por la acción humana como en el mismo corazón de Cali, dado que su inclusión en la estructura ecológica depende únicamente de su capacidad de provisión de servicios ecosistémicos y no de otros criterios de tipo espacial.

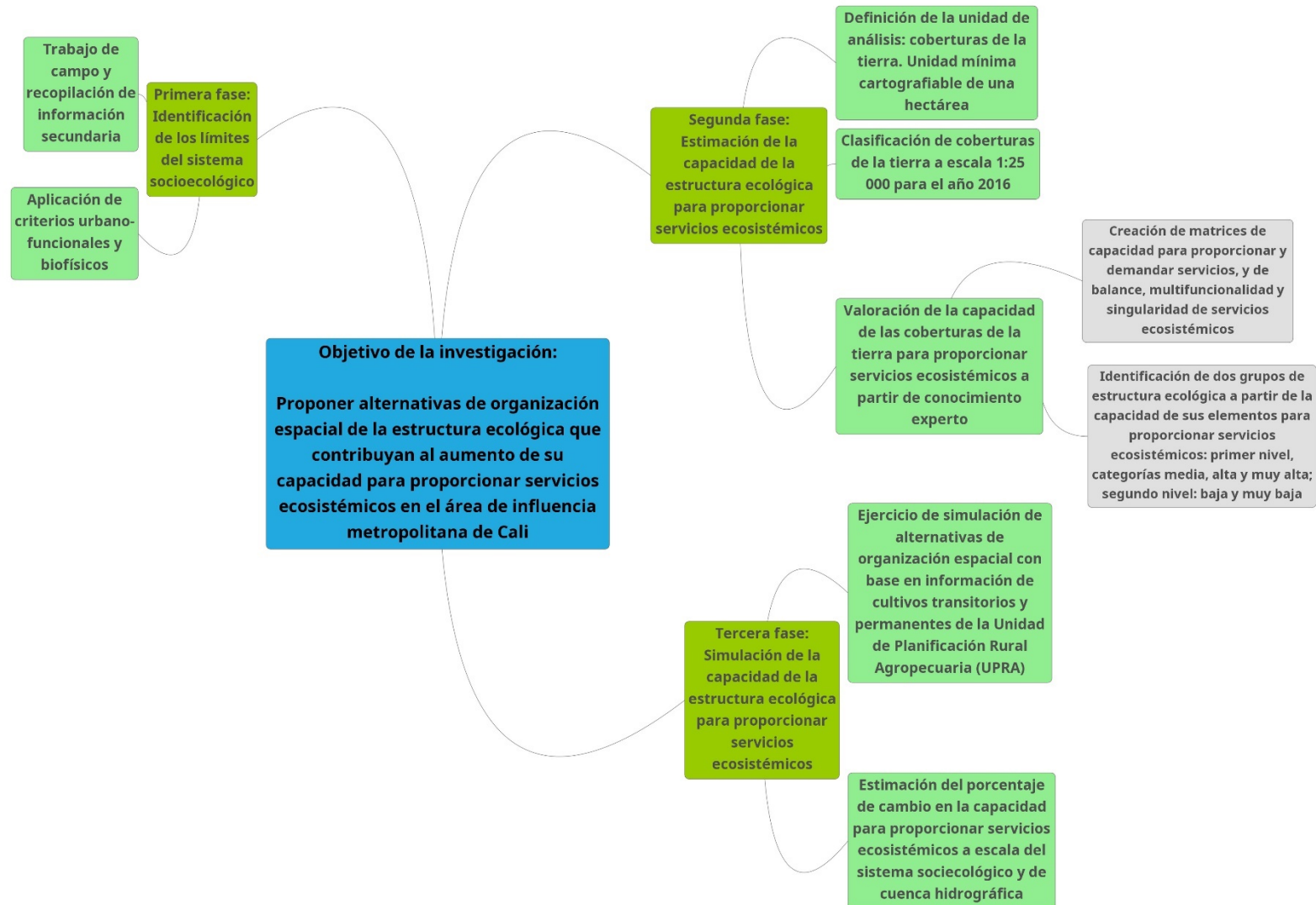
CAPÍTULO III: PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El procedimiento metodológico de la presente tesis implicó una variedad de análisis cualitativos y cuantitativos. Este procedimiento permitió alcanzar el objetivo central de la investigación: «Proponer alternativas para la organización espacial de la estructura ecológica en el área de influencia metropolitana de Cali que contribuyan al aumento en la provisión de servicios ecosistémicos», a partir de una serie de fases metodológicas secuenciales que, a su vez, están asociadas a cada uno de los objetivos específicos de la investigación (Figura 6).

3.1. Primera fase: Identificación de los límites del sistema socioecológico

La primera fase metodológica consistió en identificar los límites del área de influencia metropolitana de Cali, la cual, a partir de lo expuesto en el marco teórico de la presente tesis, se entenderá como el sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali» compuesto por la «estructura metropolitana construida» y las «cuencas hidrográficas» que le proporcionan servicios ecosistémicos. En un inicio, mediante *trabajo de campo* se recopiló información espacial secundaria de soporte para la delimitación del área de estudio. Para esto, se visitó la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) con el propósito de obtener de primera mano la información biofísica disponible (p. ej., delimitación de cuencas hidrográficas, coberturas de la tierra, ecosistemas, áreas protegidas, tipos de suelos, geomorfología, red hídrica, etc.).

Figura 6. Procedimiento metodológico de la tesis



También se realizaron dos recorridos de campo para ampliar el entendimiento de algunos fenómenos funcionales del sistema socioecológico que tienen que ver, en primer lugar, con la relación de polarización entre Cali y los municipios del departamento del Cauca y, en segundo, las evidencias de que la estructura construida metropolitana ejerce presión directa sobre la red hídrica y, por lo tanto, sobre los ecosistemas que ofrecen servicios ecosistémicos. El primer recorrido se desarrolló en el sur del área de estudio y consistió en, por un lado, visitar el embalse La Salvajina a fin de conocer su funcionamiento y la manera como regula las aguas del río Cauca para permitir la actividad agropecuaria del valle geográfico del río Cauca y, por otro, transitar el trayecto que une las capitales de los departamentos del Valle del Cauca y el Cauca —Cali y Popayán, respectivamente—. El segundo recorrido se realizó en la parte central del sistema socioecológico, recorriendo en bote el río Cauca desde el sur de Cali, pasando por el límite del municipio de Candelaria, hasta el norte de la Cali, sobre el límite con el municipio de Palmira. En esta ocasión se contó con el acompañamiento de funcionarios de la CVC.

Posteriormente, mediante un ejercicio de *análisis espacial*, se realizó la delimitación del sistema socioecológico teniendo en cuenta criterios urbano-funcionales y biofísicos. El criterio urbano-funcional consistió en la selección de los municipios ubicados dentro de la tercera corona metropolitana establecida por Martínez-Toro & Patiño-Gómez (2015). La lógica de esta selección se basó en que esta corona incluye los municipios adyacentes a Cali, cuyos centros urbanos se ubican a una distancia de 60 km de distancia de la capital vallecaucana. Por su parte, el criterio biofísico fue la selección de las cuencas hidrográficas que abarcaban los municipios ubicados dentro de la tercera corona —a los cuales estas cuencas proporcionan servicios ecosistémicos, especialmente el aprovisionamiento de agua—. La información del límite de las cuencas hidrográficas (a escala 1:25 000) fue obtenida de la CVC y la CRC. No se utilizó la zonificación hidrográfica del país realizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), debido a que esta se desarrolló a escala 1:500 000 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), lo cual implica poco detalle para el propósito de esta investigación.

En esta selección de cuencas hidrográficas resultó incluida la cuenca del río Dagua, que vierte sus aguas al Océano Pacífico; sin embargo, debido a que la parte baja de la misma aún tiene débil relación con Cali en términos urbano-funcionales, fue necesario no incluirla en su totalidad y, por lo tanto, ajustar el límite del sistema socioecológico con base en la curva de nivel mínima a partir de la cual se localizan los centros urbanos de los municipios ubicados de la tercera corona metropolitana. Esta curva correspondió a la cota 800 msnm (cálculo a partir de datos la NASA Jet Propulsion Laboratory [2009] usando ArcGIS 10 [ESRI, 2020a]). De igual manera, aunque el embalse La Salvajina se encuentra por debajo de la cota de los 800 msnm, fue incluida en el punto más al sur del sistema socioecológico, donde se halla el embalse; esto se debió a la importancia que este equipamiento representa para el desarrollo de la actividad económica y agropecuaria del área de influencia metropolitana de Cali y a su función reguladora del río Cauca para evitar desbordamientos en la planicie aluvial (Tabares-Mosquera et al., 2020).

En conclusión, con la aplicación de estos dos criterios se aseguró la identificación de los elementos de la estructura metropolitana construida (estructura urbana) y la estructura ecológica con mayor grado de interacción dentro del sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali».

3.2. Segunda fase: Capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos

La segunda fase consistió en «establecer, al año 2016, la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos en el área de influencia metropolitana» a partir de la clasificación de imágenes satelitales y consulta a expertos. Para ello, se llevaron a cabo dos subprocesos que consistieron en: i) identificar las coberturas de la tierra que representan las estructura ecológica y construida del sistema socioecológico, y ii) estimar la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos. Es necesario indicar que en principio se partió de la base de considerar todas las coberturas de la tierra distintas a áreas construidas como estructura ecológica. La capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos

se hizo a partir de los valores promedio que resultaron de la valoración de expertos sobre dicha capacidad de las coberturas de la tierra en el sistema socioecológico¹⁸.

3.2.1. Primer subproceso: Clasificación de las coberturas de la tierra a escala 1:25 000

El primer subproceso consistió en la clasificación de coberturas de la tierra —unidad de análisis—. Las razones para usar las coberturas de la tierra como unidad de análisis fueron dos. La primera, que el concepto es ampliamente usado en distintos ejercicios de valoración de servicios ecosistémicos y en la creación de balances ecosistémicos (Burkhard et al., 2009, 2014; Koschke et al., 2012; Nedkov et al., 2015). De ahí que se facilitara la instrumentalización de la metodología en el sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali». La segunda razón responde a que, como resultado del uso de herramientas de percepción remota, las coberturas de la tierra pueden ser identificadas en tiempos relativamente cortos —en comparación con otras metodologías— permitiendo así la observación de elementos reales de la superficie terrestre. En otras palabras, esta unidad de análisis permite observar claramente, y para un período dado, hechos naturales, seminaturales y antrópicos, así como su configuración espacial —localización, orientación, extensión y distribución— (Gulinck et al., 2001).

Adicionalmente, haber valorado los servicios ecosistémicos a partir «ecosistemas» hubiera implicado definir parcelas de monitoreo para establecer índices y, posteriormente, extrapolarlos al área total del ecosistema en cuestión, limitando así el alcance de la valoración a un número reducido de servicios ecosistémicos identificados en la parcela. Fue por esto por lo que se llevó a cabo la identificación de las coberturas de la tierra como unidad de análisis para establecer la estructura ecológica, tarea que se hizo considerando dos criterios: i) la escala espacial de trabajo apropiada para el análisis supramunicipal y ii) el establecimiento de una leyenda de coberturas de la tierra para dicha escala.

¹⁸ Ver detalles en el segundo subproceso.

Con respecto al primer criterio, teniendo en cuenta que la escala espacial de trabajo para la planeación urbana detallada en Colombia es 1:5000 (IGAC, 2018) y que el análisis realizado obedecía al ámbito supramunicipal —abarcando una gran cantidad de áreas rurales—, se concluyó que la escala 1:25 000 era apropiada para las dimensiones de esta investigación. De acuerdo con Salitchev (1979), la unidad mínima cartografiable (UMC) recomendada para esta escala es una hectárea (10 000 m²).

En cuanto al segundo criterio, con el objetivo de identificar los elementos de la estructura ecológica y la estructura metropolitana construida a escala 1:25 000, se trabajó a partir de la leyenda *Coordination of Information on the Environment (CORINE) Land Cover* adaptada para Colombia (IDEAM, 2010). Se seleccionaron las categorías tres y cuatro¹⁹ de la leyenda, debido a que permiten observar elementos con niveles de precisión medios a altos —en otras palabras, fenómenos supramunicipales—. Para identificar las coberturas, se utilizaron imágenes satelitales de la constelación RapidEye (Planet, 2016), cuya resolución espacial es de cinco metros cuadrados por píxel, y se conformó un mosaico con treinta y dos cuadrantes correspondientes al período 2013–2016: cinco cuadrantes para el año 2013, cuatro para el 2014, veintiún para el 2015 y dos para el 2016.

Luego, utilizando el software ENVI 5.1 (ENVI, 2020), se realizaron las tareas primarias de procesamiento de las imágenes: correcciones radiométricas y atmosféricas; en tanto que con el software ArcGIS 10 se generó el mosaico y se extrajeron de él las áreas cubiertas por nubes. Paso seguido, se procedió a calibrar²⁰ el modelo de clasificación siguiendo un proceso basado en el uso de herramientas de ArcGIS 10. El paso a paso consistió en segmentar las

¹⁹ Para el nivel cuatro se seleccionó únicamente la cobertura de caña de azúcar. Esto se hizo teniendo en cuenta la facilidad para identificarla con el uso de imágenes satelitales de resolución media, dada su gran extensión en la parte plana del sistema socioecológico. Otros tipos de cultivos no son fácilmente identificables con esta clase de imágenes, a menos que se realice trabajo de campo como instrumento de validación del levantamiento de coberturas de la tierra.

²⁰ Para la calibración del modelo de clasificación se procesaron siete de los treinta y dos cuadrantes (22% del total), los cuales incluyeron los diferentes tipos de cobertura presentes en el sistema socioecológico. De esa manera se aseguró una calibración óptima del modelo.

imágenes, muestrear las coberturas a partir del ráster segmentado²¹, entrenar el modelo de calibración a partir del muestreo, realizar la clasificación con la herramienta *Random Trees* (ESRI, 2017; Şatır & Berberoğlu, 2012) y validar los resultados a partir de una matriz de confusión (ESRI, 2020b).

Para la obtención del mapa final de coberturas de la tierra a partir de la calibración del modelo, se desarrollaron *Scripts* (ver Anexos 1 y Anexo 2) en el lenguaje de programación *Python*. De esa manera, se realizaron cincuenta iteraciones del modelo con el fin de seleccionar aquella que mejor representara la realidad espacial de las coberturas de la tierra en el sistema socioecológico. Esta fase metodológica se completó con: i) la digitalización de las coberturas que no se clasificaron correctamente de forma automática con la aplicación del modelo, debido a la UMC (p. ej. red vial, zonas de extracción minera, etc.); ii) el etiquetado para editar manualmente los errores identificables contrastando la capa clasificada con el mosaico de imágenes original; y 3) la corrección topológica del mapa vectorial resultante.

3.2.2. Segundo subproceso: Valoración de las coberturas de la tierra y establecimiento de la estructura ecológica

El segundo subproceso consistió en la valoración de la capacidad de las coberturas de la tierra para proporcionar o demandar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico²². Así, a partir de la definición de estructura ecológica propuesta en el marco teórico²³, la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos permitió establecer la estructura ecológica

²¹ Este paso consistió en extraer la información espectral característica de cada cobertura. Dadas las características del ejercicio, se usó un muestreo no probabilístico, en este caso «por cuotas». El muestreo por cuotas presupone un buen conocimiento de la forma como las coberturas están distribuidas, y asume que el investigador tiene un buen conocimiento de ellas (Páramo-Bernal, 2018).

²² Vale la pena aclarar que el nivel de demanda de servicios ecosistémicos se valoró únicamente en las coberturas de la tierra artificializadas.

²³ «La estructura ecológica garantiza la provisión de servicios ecosistémicos en un sistema socioecológico determinado, en este caso, uno metropolitano. Está compuesta por todos los elementos naturales y seminaturales del sistema, independientemente de su grado de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos». (p. 52)

al asignar el grado de capacidad a las coberturas de la tierra clasificadas en el primer subproceso de la metodología.

Para realizar la valoración, se tuvo en cuenta la tipología *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES) v4.3 (Haines-Young & Potschin-Young, 2013; Haines-Young & Potschin, 2017). Estos servicios, veintiún en total, se clasifican en tres categorías: aprovisionamiento, regulación y cultura (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) (Tabla 3).

Posteriormente, se realizó la selección de expertos, según las diversas temáticas asociadas a las coberturas de la tierra, que valorarían la capacidad para proporcionar y demandar servicios ecosistémicos (Jacobs & Burkhard, 2017; Kaczorowska *et al.*, 2018). Para ello, se recurrió al método de *muestreo intencional* (Páramo-Bernal, 2018), que permitió identificar a personas que estuvieran en capacidad de suministrar información precisa y relevante sobre el asunto de estudio. Este método orientó la aplicación de criterios de selección de expertos para cada uno de los grupos temáticos —relacionados con las categorías de coberturas de la tierra de *Corine Land Cover*. A saber: i) áreas de producción agrícola, ii) bosques y áreas seminaturales, iii) áreas húmedas —para la valoración de la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos— y iv) áreas artificializadas —para la valoración del nivel de demanda de servicios ecosistémicos—. La selección de los expertos tuvo bajo consideración los siguientes criterios: i) ser especialistas en al menos uno de los grupos; ii) ser conocedores del área de influencia metropolitana de Cali; y iii) estar afiliados a instituciones públicas administrativas (alcaldías y gobernaciones), universidades y/o centros privados de investigación. Por lo tanto, el perfil incluyó profesionales de ciencias naturales aplicadas, humanidades, ingeniería y socioeconomía.

Tabla 3. Servicios ecosistémicos evaluados

#	Categorías	División de los servicios ecosistémicos	Nombre del servicio ecosistémico
1	Aprovisionamiento	Nutrición	Biomasa
2			Agua
3		Materiales	Biomasa
4			Agua
5			Materiales abióticos metálicos y no metálicos
6		Energía	Biomasa
7			Fuente abiótica renovable
8			Fuente abiótica no renovable
9	Regulación	Regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias	Mediación por sistemas vivos
10		Regulación de flujos	Flujos de masa
11			Flujos de líquido
12			Flujos de gases/aire
13		Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética
14			Control de plagas y enfermedades
15			Formación y composición del suelo
16			Mantenimiento de la composición química del agua
17			Composición atmosférica y regulación del clima
18	Cultural	Interacción física e intelectual	Experiencia física
19			Intelectual y representativa
20		Interacción simbólica y espiritual	Espiritual y/o emblemática
21			Existencia y valor intrínseco natural

Fuente: Elaboración propia a partir de Haines-Young & Potschin-Young (2013)

La participación de los expertos se hizo a través de una encuesta de opción múltiple, usando una escala de cero a cinco, donde cero (0) es no relevante y cinco (5) es muy alto, por cada grupo temático, la cual se apoyó en la plataforma gratuita de *Google Docs* (Google, 2017); un ejemplo de la encuesta y el formato diligenciado por los expertos se muestra en el Anexo 3. La plataforma permitió recopilar las respuestas de los expertos de manera sistemática y ordenada en hojas de cálculo. Además, como parte de la información de soporte de la consulta, se incluyeron los siguientes enlaces virtuales: 1) al [mapa de coberturas de la tierra del sistema socioecológico](#), el cual se hospedó en la plataforma de ArcGIS Online (Anexo 4); 2) a la descripción de los servicios ecosistémicos adaptado de Haines-Young & Potschin-Young (2013) (Anexo 5); 3) a la descripción de las coberturas de la tierra asociadas a cada grupo temático (Anexo 6); y 4) al glosario de términos usados en la investigación (Anexo 7).

Los expertos respondieron acerca de la capacidad de una determinada cobertura para proveer determinados servicios ecosistémicos a partir de una escala *Likert* (Albert et al., 2016; Boone & Boone, 2012; Clason & Dormody, 1994; Jacobs et al., 2015; Koschke et al., 2012) de seis categorías (*i. e.*, no relevante (0), muy bajo (1), bajo (2), medio (3), alto (4) y muy alto (5) (Jacobs et al., 2015). Vale la pena resaltar que la clase cero (no relevante) indica que existe una oferta o demanda «insignificante» del servicio ecosistémico. En ese sentido, la categoría «muy bajo» define una capacidad «significativa pero mínima» de un servicio ecosistémico (Jacobs et al., 2015). En cuanto al contenido de la encuesta, la valoración de los servicios ecosistémicos fue desarrollada a partir de dos tipos de formularios: uno de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos y otro para el nivel de demanda de los mismos (ver Anexo 3).

Posteriormente, usando la Ecuación 1, las respuestas de los expertos sobre la capacidad para proporcionar y demandar servicios ecosistémicos fueron promediadas para obtener el valor final de un servicio ecosistémico frente a una cobertura determinada, y así obtener las matrices de capacidad para proporcionar²⁴ y demandar servicios ecosistémicos en la escala *Likert*.

Ecuación 1:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde $\bar{x}$ es el promedio, $\sum x_i$ es la suma de las respuestas de los expertos y n es el número total de respuestas de los expertos.

Como se mencionó al inicio de la sección del segundo subproceso, la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos ya permitía establecer la estructura ecológica. Sin embargo, con el propósito de obtener un resultado más refinado de dicha capacidad, se tuvo en cuenta lo propuesto por Burkhard et al. (2014), quienes sugieren que a fin de aprovechar

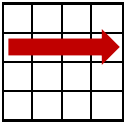
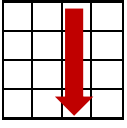
²⁴ Vale la pena indicar que, para la creación esta matriz, se partió del entendimiento de que las únicas coberturas de la tierra del grupo temático «áreas artificializadas» que tienen la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos son aquellas que cuentan con áreas naturales o seminaturales, de ahí que solo fueran consultadas las coberturas «zonas verdes urbanas» e «instalaciones recreativas». Las restantes fueron valoradas en la matriz de capacidad para demandar servicios ecosistémicos.

el potencial de la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos, es posible analizar en mayor detalle las filas de la matriz —*i. e.*, coberturas de la tierra— para identificar la multifuncionalidad de una cobertura de la tierra, y las columnas —*i. e.*, servicios ecosistémicos— para identificar los servicios ecosistémicos que son proporcionados por un mayor número de coberturas de la tierra, lo cual resalta el valor las mismas.

En esta investigación, el cálculo de las matrices de multifuncionalidad y singularidad se materializó de la siguiente manera. Primero se calcularon los valores constantes de multifuncionalidad en cada fila y singularidad en cada columna (ver Tabla 4 y Anexo 8). En ambos conteos se tuvieron en cuenta las celdas cuya valoración promedio fue mayor a uno (1), quedando por fuera la categoría cero (0) o no relevante (ver Ecuaciones 2 y 3). Esto permitió diferenciar las celdas con valores no relevantes (*i. e.*, ≤ 1) de las relevantes (*i. e.*, ≥ 1).

Posteriormente, ambos conteos fueron divididos por el número máximo tanto de servicios ecosistémicos como de coberturas evaluadas para asegurar que el resultado se mantuviera en el rango de cero (0) a uno (1). En este caso, el valor fue veintiuno, tanto para multifuncionalidad como para singularidad (ver Ecuación 2 y 3).

Tabla 4. Cálculo de valores constantes para la creación de las matrices de multifuncionalidad y singularidad

Constante	Descripción	Cálculo de factor	Ilustración operativa
Multifuncionalidad de las coberturas	Conteo de servicios ecosistémicos que presta una misma cobertura	$x = \text{Conteo horizontal de SE} > 1 / 21$	
Singularidad de las coberturas	Conteo de coberturas que ofrecen un mismo servicio ecosistémico	$x = \text{Conteo vertical de coberturas} > 1 / 21$	

*Además de las categorías de coberturas de la tierra cuyos elementos son enteramente naturales y seminaturales, el conteo tuvo en cuenta dos coberturas de la tierra de la categoría de «áreas artificializadas»: zonas verdes urbanas e instalaciones recreativas, para un total de veintiún coberturas.

Fuente: elaboración propia a partir de Tabares-Mosquera et al. (2020)

Ecuación 2:

$$MCCt = \frac{C x_{i>1}}{n}$$

Donde $MCCt$ es la constante de conteo para multifuncionalidad, $C x_{i>1}$ es el conteo de las celdas cuyo valor es mayor a uno (1) y n es el número total de servicios ecosistémicos o cubiertas de la tierra.

Ecuación 3:

$$SCCt = \frac{C x_{i>1}}{n}$$

Donde $SCCt$ es la constante de conteo para singularidad, $C x_{i>1}$ es el conteo de las celdas cuyo valor es mayor a uno (1) y n es el número total de servicios ecosistémicos o cubiertas de la tierra.

Por último, se multiplicó el valor de cada celda de la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos por el valor de la constante de conteo multifuncionalidad y singularidad (ver Ecuación 4 y 5).

Ecuación 4:

$$M = MCCt * x_i$$

Donde M es el cálculo de la multifuncionalidad, $MCCt$ es la constante de conteo para multifuncionalidad y x_i es valor de cada celda de la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos.

Ecuación 5:

$$S = SCCt * x_i$$

Donde S es el cálculo de la singularidad, $SCCt$ es la constante de conteo para multifuncionalidad y x_i es valor de cada celda de la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos.

En cuanto a la matriz de balance, esta fue el resultado de la diferencia entre la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos y la de demandar (ver Ecuación 6).

Ecuación 6:

$$B = MCPSE - MCDSE$$

Donde B es el cálculo del balance, $MCPSE$ es la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos y $MCDSE$ es la matriz de capacidad para demandar servicios ecosistémicos

Seguidamente, para hacer comparables los valores de la matriz de balance (en la que algunos valores fueron negativos) con las de multifuncionalidad y singularidad en la escala de cero (0) a cinco (5), fue necesario crear una tabla de normalización. Esto se llevó a cabo dividiendo cada una de las seis (6) categorías de la escala *Likert* entre seis (6) (ver la columna «Fracción» de la Tabla 5 para obtener la columna «Valor de referencia» (Tabla 5).

Tabla 5. Factores para cada una de las matrices de acuerdo con los valores del recorrido

Categoría	Fracción	Valor de referencia	Categorías de normalización Para la matriz de balance
0	1/6	0,166666666666667	-3,3
1	2/6	0,333333333333333	-1,7
2	3/6	0,5	0,0
3	4/6	0,666666666666667	1,7
4	5/6	0,833333333333333	3,3
5	6/6	1,0	5,0

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos estos datos, se definieron los rangos a partir de los cuales se clasificaría la matriz de balance respecto a la escala *Likert*. Para ello, se multiplicó el valor del recorrido hipotético de la matriz de balance —en este caso, de menos cinco (-5) a cinco (5), es decir diez unidades²⁵— por el valor correspondiente de la columna «Valor de referencia» y se sumó el valor del extremo inferior del recorrido —*i. e.*, menos cinco— con el fin de mantener el rango de la columna «Categorías de normalización para la matriz de balance» (Tabla 5) entre menos cinco (-5) a cinco (5). De esa manera, cualquier valor de la matriz de balance menor a menos tres coma tres (-3,3) fue clasificado en la categoría cero (0), los valores mayores que menos tres coma tres (-3,3) y menores que menos uno coma siete (-1,7) fueron asignados a la categoría uno (1), y así sucesivamente (Tabla 5).

Paso seguido, con el fin de obtener la matriz de «capacidad total de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos al 2016», se sumaron las celdas de las matrices de multifuncionalidad, singularidad y balance. Cada valor de esta matriz fue dividido entre el resultado de la multiplicación del conteo de las celdas con valores mayores a cero (0) por cinco (5) —valor máximo que podía obtener una celda de cada una de las matrices evaluadas—. Este procedimiento permitió estandarizar el valor de cada celda de la matriz final de un rango de cero (0) a uno (1) y no afectar de manera desproporcionada el resultado final de coberturas artificializadas, las cuales no contaban con valoración en las matrices de multifuncionalidad y singularidad (ver Ecuación 7). Además, de esa manera, al sumar horizontalmente los valores obtenidos por cada una de las celdas, es decir, la sumatoria asociada a la capacidad de cada cobertura para proporcionar servicios ecosistémicos, el valor máximo que puede obtener una cobertura de la tierra es veintiuno (21) —justamente, el número de servicios ecosistémicos evaluados (ver Ecuación 8)—. La columna resultante de la anterior sumatoria sirvió de insumo

²⁵ El rango hipotético incluyó valores negativos debido a que, de la resta de las matrices de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos vs. la de capacidad para demandarlos, cabía la posibilidad de obtener celdas con valores mínimos hasta de -5. Un ejemplo de esto lo ofrecen las coberturas que solo demandan, pero no proporcionan servicios ecosistémicos; es el caso de los tejidos urbanos continuos y discontinuos. Al restar -5 de 0, el valor obtenido fue -5. Lo mismo ocurrió en el otro sentido: coberturas que solo proporcionan servicios ecosistémicos pero que no demandan. En esos casos, el valor máximo obtenido fue 5. Un ejemplo lo ofrece el bosque denso.

para crear el mapa —a escala 1:25 000— de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali».

Ecuación 7:

$$MCTSE = \frac{\sum(M S B)}{C (M S B) * x}$$

Donde $MCTSE$ es la matriz de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos, $\sum(M S B)$ es la sumatoria de las celdas de las matrices de multifuncionalidad, singularidad y balance, $C (M S B)$ es el conteo de las celdas de las matrices de multifuncionalidad, singularidad y balance con valores mayores a cero, y x es el valor máximo de cada una de las celdas de las matrices de multifuncionalidad, singularidad y balance (*i. e.*, cinco).

Ecuación 8:

$$VMCTSE = \sum x_i$$

Donde $VMCTSE$ hace referencia a los valores para el mapa de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos y $\sum x_i$ es la sumatoria de las celdas de la matriz de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos.

Finalmente, a partir de la sumatoria de la capacidad total de cada cobertura de la tierra para proporcionar servicios ecosistémicos, se generó un indicador porcentual de contribución de cada cobertura que permitiera estandarizar los resultados en una escala de cero (0) a cien (100) y establecer la línea base de contribución porcentual de servicios ecosistémicos de cada una. Este procedimiento se realizó para el área total del sistema socioecológico y también para cada una de las treinta cuencas hidrográficas que lo componen. Este resultado fue clave para estimar el aumento en la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos en el ejercicio de simulación de alternativas de organización espacial explicado en la tercera fase metodológica. Para realizar la estandarización se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Paso 1: Multiplicar el valor del área física de cada cobertura de la tierra por el valor obtenido en la columna de la sumatoria de la matriz de capacidad total.
- Paso 2: Sumar el valor obtenido en el paso 1 para todas las coberturas del sistema socioecológico. Este valor se convirtió en el umbral superior de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico, es decir, el 100% de la capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos.
- Paso 3: Retomar el valor obtenido en el paso 1 para multiplicarlo por 100 y dividirlo por el valor de referencia obtenido en el paso 2. De esa manera se consiguió estandarizar el resultado de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos en la escala de cero (0) a cien (100).

3.2.3. La estructura ecológica: el primer y segundo nivel

Bajo la perspectiva del valor intrínseco de la naturaleza, la estructura ecológica —un constructo social en sí mismo— no puede alinearse únicamente con los beneficios que genera a la sociedad. En el camino hacia la sustentabilidad ecológica, esta concepción debe necesariamente cambiar, de lo contrario, en lugar de interactuar de manera cada vez más armoniosa con las demás formas de vida no humana del entorno, el ser humano continuará degradando todo lo que le rodea a través del uso de tecnologías que, en última instancia, solo lo beneficiarán a él en el corto plazo —dado que, a la larga, los efectos sobre el ambiente también lo afectarán de manera negativa—. En este sentido, como se explicó en el marco teórico, la presente tesis plantea que la estructura ecológica debe incluir todas aquellas coberturas de la tierra que en el ejercicio de valoración de servicios ecosistémicos fueron calificadas con algún grado de capacidad para proporcionarlos; sin importar que el grado fuese bajo o alto. De ahí que surgieran dos grupos: *la estructura ecológica de primer nivel*, compuesta por las categorías media, alta y muy alta del mapa de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos al 2016 —o las categorías 3, 4 y 5 de la escala *Likert*, respectivamente—, y *la estructura ecológica de segundo nivel*, compuesta por las categorías muy baja y baja —o las categorías 1 y 2 de la escala *Likert*, respectivamente—. Claramente, las coberturas de la tierra que no se clasificaron en alguno de los dos niveles son aquellas que

no hacen parte de la estructura ecológica, puesto que su función es netamente de demanda de servicios ecosistémicos y no de provisión (Tabla 6). En el Capítulo IV se presenta de manera detallada cuáles fueron las coberturas de la tierra asociadas con cada una de estas categorías.

Tabla 6. Clasificación de categorías que componen las estructuras ecológicas de primer y segundo nivel

Escala <i>Likert</i>	Categoría	Descripción
0	Sin relevancia	No es estructura ecológica
1	Muy bajo	Estructura ecológica de <i>segundo nivel</i>
2	Bajo	
3	Medio	Estructura ecológica de <i>primer nivel</i>
4	Alto	
5	Muy alto	

Fuente: Elaboración propia

3.3. Tercera fase: Capacidad potencial de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos

Partiendo de la premisa de que los individuos y las sociedades son los que organizan —deciden, construyen y mantienen— estructuras y flujos en la superficie terrestre para ajustarlos a sus necesidades, la tercera fase de la investigación consistió en «simular alternativas de organización espacial que aumenten la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos en el área de influencia metropolitana de Cali».

Con el desarrollo de este objetivo se pretendió observar si, con un cambio hipotético de coberturas de la tierra, aumentaría la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico. Por lo tanto, se propuso cambiar, hipotéticamente, las coberturas que cumplieran con los siguientes criterios: i) que su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos se ubicase por debajo del primer cuartil respecto a la capacidad de todas las coberturas de la tierra evaluadas en la fase 2, y ii) que el valor de su área física ocupada estuviese por encima del tercer cuartil respecto al área de todas las coberturas del sistema socioecológico. En otras palabras, las coberturas seleccionadas para la simulación de alternativas de organización espacial fueron aquellas con

menor capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos y mayor área física ocupada en el sistema socioecológico, las cuales se cambiarían por otras de mayor capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos.

Una vez identificadas las coberturas de la tierra a considerar en el ejercicio de simulación, se establecieron los criterios para escoger el tipo de cobertura que las remplazaría. Se sopesó que una opción factible de convertirse en política pública, considerando el actual modelo de desarrollo colombiano, sería reemplazar tales áreas por cultivos transitorios y permanentes. Para ello, se tomó la evaluación de tierras realizada por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), la cual se basa en «criterios físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos» (UPRA, 2020a, p. 1). La UPRA es una institución del Estado colombiano que tiene como una de sus funciones «definir criterios y diseñar instrumentos para ordenamiento del suelo rural apto para el desarrollo agropecuario, que sirvan de base para la definición de Políticas a ser consideradas por las entidades territoriales en los Planes de Ordenamiento Territorial» (UPRA, 2020, p 1.)—.

Con la información de esta institución, se contó con un insumo confiable, disponible a una escala (1:100 000) que permitió comparaciones con el mapa de coberturas de la tierra generado en esta investigación y validado a partir de un riguroso proceso metodológico. Todas estas razones justificaron el uso de los datos de la UPRA para realizar la simulación de las diferentes alternativas de organización espacial.

El procedimiento para el uso de los datos consistió en descargar la información sobre la distribución espacial (capas o «Shapefiles») de cultivos transitorios (*i. e.*, ají tabasco, algodón, arroz seco, cebolla bulbo, fresa, maíz, papa, pimentón) y permanentes (*i. e.*, aguacate, banano, cacao, caucho, mango, palma de aceite, papaya, piña) disponibles en el geoservidor de la UPRA (Sistema Para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA): <https://sipra.upra.gov.co/>). Cada capa de cultivo contaba con cinco categorías: Exclusión legal —correspondiente principalmente a áreas protegidas—, no apta, aptitud baja, aptitud media y aptitud alta. Sin embargo, en esta investigación se seleccionó la categoría de «aptitud

alta», pues representa las áreas con mejores características para el crecimiento de los cultivos evaluados por la UPRA. La selección se realizó con la herramienta *Select* del programa ArcGIS.

Posteriormente, las categorías de «aptitud alta» de las capas de cultivos permanentes y transitorios de la UPRA fueron agrupadas con la herramienta de ArcGIS *Merge*. Con este resultado, se realizó un *Clip* de la capa de coberturas de la tierra obtenida de la primera fase metodológica con el fin de conocer las coberturas que se traslapaban con las áreas de «aptitud alta», y estimar el área física que haría parte del ejercicio de simulación de alternativas para la reorganización de la estructura ecológica en el sistema socioecológico. Este ejercicio también se realizó a escala de cuenca hidrográfica con el propósito de identificar aquellas unidades biofísicas que más se beneficiarían de la reorganización de coberturas según los resultados de la simulación.

Toda la información espacial producida en esta investigación fue almacenada y procesada dentro de una *Geodatabase*, cuyas capas se encuentran proyectadas al sistema de coordenadas planas «WGS84 World Mercator». Así, se evitaron errores en los cálculos de áreas.

CAPITULO IV: EL ÁREA DE INFLUENCIA METROPOLITANA DE CALI DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS

Los resultados de la aplicación de la metodología descrita anteriormente se presentan en este Capítulo de la siguiente manera: en la *primera parte*, se exponen los resultados de la identificación de los límites de área de influencia metropolitana de Cali —o sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali», como se explicó en la metodología—. En la *segunda parte* —denominada «La estructura ecológica y su capacidad, al 2016, para proporcionar servicios ecosistémicos»— se describe la clasificación de coberturas de la tierra y su posterior valoración por parte de un grupo de expertos para crear matrices de capacidad para proporcionar y demandar de servicios ecosistémicos. En la *tercera parte* —titulada «Simulación de alternativas de organización espacial»— se presenta la simulación de las alternativas de organización espacial de las coberturas de la tierra y su efecto sobre la capacidad total de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos.

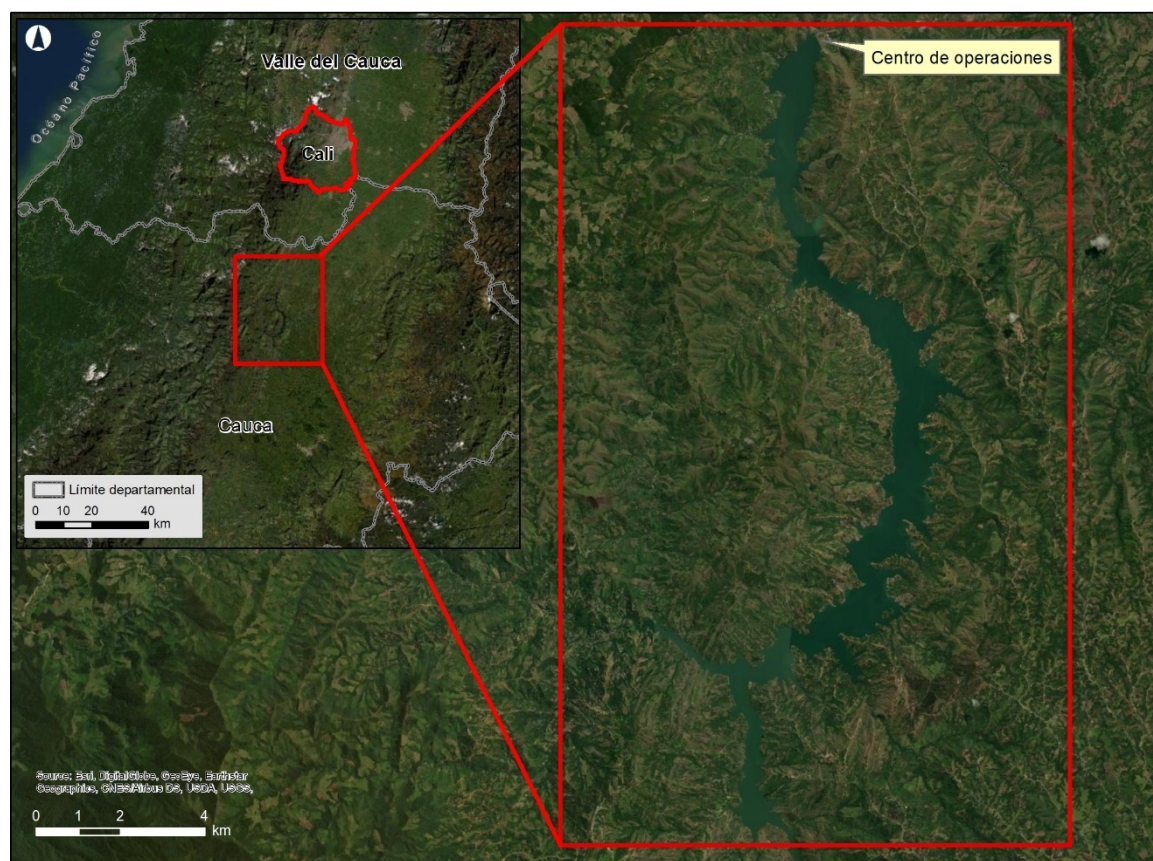
4.1. El sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali»

4.1.1. Trabajo de campo

Las salidas de campo durante la etapa de investigación permitieron ampliar el conocimiento de las dinámicas presentes en el sistema socioecológico y conocer de manera cercana el tipo de coberturas de la tierra predominantes en zonas donde la interacción de la sociedad con la naturaleza es intensa. En la visita al embalse La Salvajina (Figura 7) se pudo observar el fuerte impacto de este equipamiento sobre las coberturas naturales del municipio de Suárez, departamento del Cauca —donde se ubica el embalse—. Las coberturas predominantes identificadas fueron pastos limpios, pastos arbolados y vegetación secundaria o en transición (imágenes 1, 2, 3 y 4). El otro recorrido se realizó a lo largo de aproximadamente 30 km del río Cauca (Figura 8), partiendo desde el corregimiento El Hormiguero —al sur oriente del

municipio de Cali²⁶—, pasando por el límite con el municipio de Candelaria y terminando en el puente del Paso del Comercio —al nororiente del municipio de Cali, sobre la frontera con el municipio de Palmira—. En esta ocasión se pudo observar acciones propias de un proceso de planificación extremadamente desordenado, como, por ejemplo, el alto grado de contaminación del río a causa del lanzamiento de aguas residuales urbanas no tratadas y la ocupación indebida para uso habitacional en la franja protectora. Las imágenes 5, 6, 7 y 8 presentan algunos ejemplos de lo observado durante el recorrido por el río Cauca²⁷.

Figura 7. Ubicación del Embalse la Salvajina en el departamento del Cauca



Fuente: Elaboración propia

²⁶ Se diferencia entre el municipio de Cali y la ciudad de Cali, dado que el primero abarca tanto la parte urbana como la rural (incluyendo corregimientos y veredas), mientras que la ciudad de Cali se circunscribe al casco urbano principal del municipio.

²⁷ En ese trayecto, el río Cauca sirve de límite político-administrativo entre los municipios de Cali, al occidente, y los municipios de Puerto Tejada, Candelaria y Palmira, al oriente.

Imagen 1. Panorámica del Embalse La Salvajina y las coberturas de la tierra predominantes en el entorno. La imagen hace referencia al extremo norte del equipamiento.



Fuente: La República (2017)

Imagen 3. Tipo de coberturas de la tierra en el nororiente del embalse la Salvajina. Predominan los pastos limpios y la vegetación secundaria o en transición.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 2. Visual del centro de operaciones del embalse La Salvajina. La imagen hace referencia al área de aguas debajo de la muralla de contención, ubicada en el extremo norte del equipamiento.



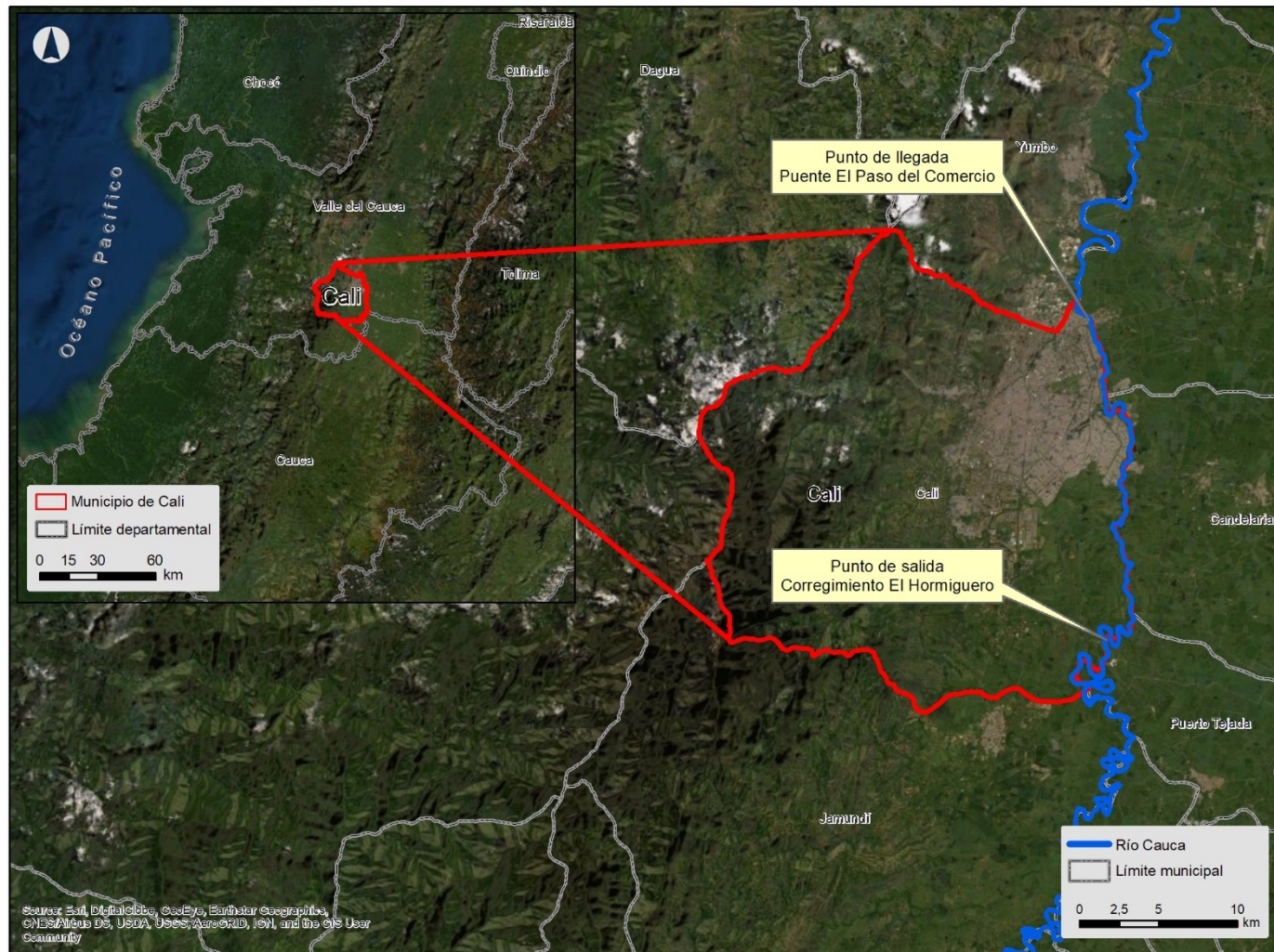
Fuente: Elaboración propia

Imagen 4. Tipo de coberturas de la tierra en el noroccidente del embalse la Salvajina. Predominan los pastos limpios y la vegetación secundaria o en transición.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Recorrido por el río Cauca para entender dinámicas de la relación sociedad-naturaleza al oriente entorno de Cali



Fuente: Elaboración propia

Imagen 5. Punto de embarque para iniciar el recorrido desde el corregimiento del Hormiguero, Valle del Cauca. Botes utilizados en la actividad de la minería de arena para la construcción. Margen izquierda.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 6. Asentamientos humanos ubicados a menos de cuatro metros del cauce del río Cauca. Margen izquierda.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 7. Vegetación primaria que evidencia poca o nula intervención humana. Margen derecha.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 8. Vertimiento de aguas contaminadas de la ciudad sobre el río Cauca a la altura del canal de aguas sucias denominado «Sur». Margen izquierda.



Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Delimitación del sistema socioecológico

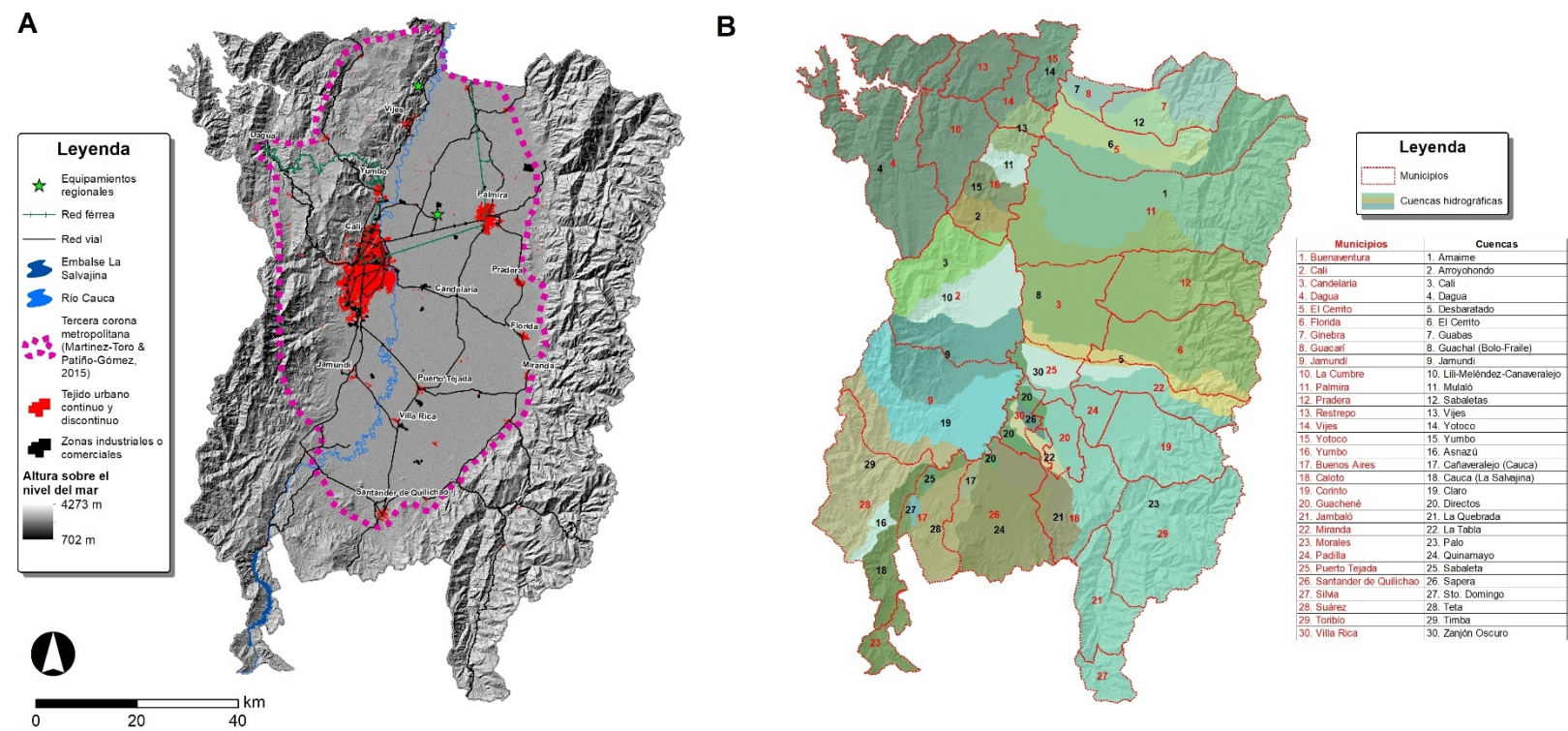
Una vez aplicados los criterios y procesos metodológicos expuestos en el Capítulo III para establecer el límite del sistema socioecológico, se estableció que este incorpora treinta cuencas hidrográficas, de las cuales veintinueve vierten al río Cauca y una al océano Pacífico. En la Figura 9-A se pueden apreciar los centros urbanos, los equipamientos regionales y las zonas industriales o unidades comerciales ubicados en él.²⁸ En términos de división político-administrativa, sobre esta área tienen jurisdicción dieciséis municipios del departamento del Valle del Cauca y catorce del departamento del Cauca (Figura 9-B). Con esta delimitación, la extensión total del sistema socioecológico correspondió a 8577 km², agrupando una población de 4 111 803 habitantes (DANE, 2020). En cuanto a los límites del sistema socioecológico, al norte se encuentra la cuenca del río Yotoco, al suroccidente, la del río Piendamó y, al suroriente, la del río Palo. Al oriente y al occidente, sus límites son las líneas divisorias de aguas de las cordilleras Central y Occidental, respectivamente.

La Tabla 7 presenta el área de cada cuenca hidrográfica, su vertiente y el nombre de la Corporación Autónoma Regional (CAR) (*i. e.*, autoridad ambiental departamental) que tiene jurisdicción sobre ella y que por tanto la administra²⁹. Trece cuencas se encuentran bajo la jurisdicción de la CRC y quince bajo la CVC, mientras que dos comparten áreas entre los departamentos del Cauca y el Valle del Cauca (*i. e.*, Desbaratado y Timba)—. Las cuencas de mayor extensión son la del río Palo con 1509 km², la del río Guachal con 1163 km² y la del río Dagua con 1104 km².

²⁸ Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, relleno sanitario Colomba-Guabal, estación de transferencia de residuos Palmaseca, embalse La Salvajina, entre otros.

²⁹ «Las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible son entes corporativos de carácter público, creados por la Ley 99 de 1993, integrados por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica, dotados de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargados por la ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio del Medio Ambiente» (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Figura 9. El sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali»



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Cuencas hidrográficas comprendidas en el sistema socioecológico

#	Cuenca hidrográfica	Vertiente	CAR	Área (km²)*
1	Asnazú	Cauca	CRC	34,1
2	Cañaveralejo			14,9
3	Cauca (Embalse Salvajina)			238,4
4	Directos			80,0
5	La Quebrada			161,1
6	Palo			1512,9
7	La Tabla			40,8
8	Sabaleta			6,0
9	Saperá			15,9
10	Quinamayó			290,3
11	Santo Domingo			9,9
12	Teta			180,0
13	Zanjón Oscuro			94,9
14	Desbaratado		CRC-CVC	165,9
15	Timba			420,5
16	Amaime		CVC	1046,7
17	Arroyohondo			65,1
18	Cali			216,0
19	Claro			323,6
20	Dagua (800 msnm)	Pacífico		1108,4
21	El Cerrito	Cauca		126,9
22	Guabas			239,0
23	Guachal (Bolo-Fraile)			1166,6
24	Jamundí			346,0
25	Lilí-Meléndez-Cañaveralejo			191,2
26	Mulaló			47,9
27	Sabaletas			173,2
28	Vijes			87,1
29	Yotoco			106,3
30	Yumbo			67,4
Total				8577,0

*Áreas calculadas con base en el sistema de proyección «WGS 1984 World Mercator»
Fuente: Elaboración propia

La Figura 9-B también permite observar la relación entre la división político-administrativa de los municipios y las cuencas hidrográficas del sistema socioecológico. Existe una clara diferencia entre estas unidades biofísicas y las jurisdicciones político-administrativas de los municipios. Un ejemplo de esta situación lo representa la cuenca con mayor área el sistema socioecológico, el río Palo, cuya área se encuentra bajo la administración de nueve municipios. Lo mismo ocurre con la cuenca de Guachal —la cual se encuentra repartida entre cuatro municipios— y la de Dagua —bajo la jurisdicción de cinco municipios—. Esta situación genera una gran dificultad para la protección y conservación de las cuencas y de la estructura ecológica de una manera integral. A pesar de que en la Ley 388 de Ordenamiento Territorial se dan indicaciones acerca de la necesidad de articular las estructuras y funciones municipales con la escala metropolitana o departamental, cada municipio gestiona su área jurisdiccional de manera independiente, sin necesariamente tener en cuenta el funcionamiento sistémico de las cuencas, las cuales tienen procesos y funciones que no se ajustan a los límites (muchas veces arbitrarios) que dividen unos municipios de otros.

Por su parte, la Tabla 8 presenta algunas características de los treinta municipios que tienen jurisdicción sobre el área del sistema socioecológico. Se puede observar que el casco urbano de tres de los municipios no se encuentra dentro del sistema socioecológico (i. e. Buenaventura, en el Valle del Cauca, y Morales y Silvia en el Cauca), y que Cali, en el Valle, es el municipio con mayor población (i. e., 2 394 925 habitantes; 59% del total) siendo Padilla, en el Cauca, el de menor población (7837 habitantes). Además, de los treinta municipios, diecisiete tienen el 100% de su área dentro del sistema socioecológico, cinco entre el 80 y el 99%; cuatro entre el 50 y el 79%; y los cuatro restantes menos del 20% —Buenaventura tiene únicamente el 1% de su área incluida—.

Tabla 8. Municipios comprendidos en el sistema socioecológico

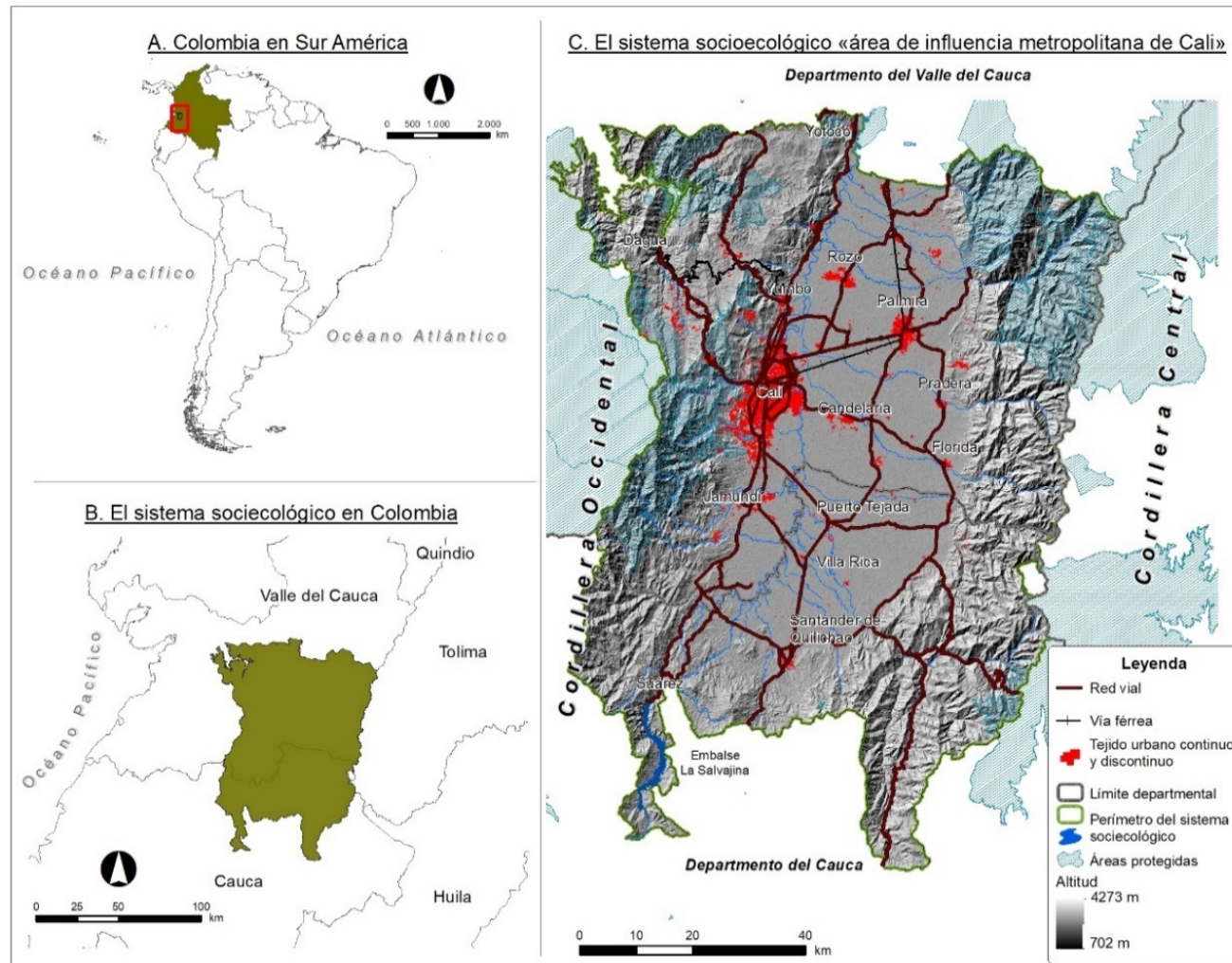
#	Municipio	Dpto.	Población total (2016)	Área total (km²)	Porcentaje en el sistema socioecológico (%)	Altitud del casco urbano (msnm)
1	Buenos Aires	Cauca	32 049	225	87	1220
2	Caloto		30 216	269	100	1102
3	Corinto		25 440	325	93	1066
4	Guachené		20 020	100	100	995
5	Jámbalo		18 568	234	83	2290
6	Miranda		32 082	189	99	1180
7	Morales		40 084	513	14	1677*
8	Padilla		9992	70	100	1001
9	Puerto Tejada		41 793	108	100	967
10	Santander de Quilichao		113 001	514	79	1055
11	Silvia		38 063	626	13	2508*
12	Suárez		32 526	594	76	1075
13	Toribío		36 694	493	100	1709
14	Villa Rica		21 328	80	100	971
15	Buenaventura	Valle del Cauca	311 827	6254	1	11*
16	Cali		2 252 616	570	100	960
17	Candelaria		94 211	292	100	976
18	Dagua		49 015	916	64	874
19	El Cerrito		57 133	440	100	992
20	Florida		57 961	404	100	1045
21	Ginebra		23 046	267	100	1035
22	Guacarí		33 578	162	51	971
23	Jamundí		167 147	618	100	971
24	La Cumbre		16 509	255	100	1575
25	Palmira		354 285	1003	100	1009
26	Pradera		48 165	356	100	1063
27	Restrepo		15 304	135	98	1407
28	Vijes		12 884	112	100	970
29	Yotoco		16 197	316	40	958
30	Yumbo		110 069	233	100	967
Total de población			4 111 803			

*Cascos urbanos no comprendidos en el perímetro del área de estudio

Fuente: Adaptado de Tabares-Mosquera & Gaitán-Idárraga (2018). Datos de población del DANE (2020)

Finalmente, la Figura 10 contextualiza espacialmente la ubicación del sistema socioecológico en Suramérica.

Figura 10. El sistema socioecológico en Suramérica



Fuente: Elaboración propia

4.2. La estructura ecológica y su capacidad, al 2016, para proporcionar servicios ecosistémicos

Como ya se indicó en el Capítulo III, a fin de establecer la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos, se partió de la elaboración de un mosaico de imágenes a partir de los treinta y dos cuadrantes debidamente corregidos atmosférica y radiométricamente³⁰ (Figura 11), con el cual se obtuvo un mapa de veintisiete coberturas de la tierra a escala 1:25 000. Para obtener el mapa, se seleccionó la iteración número dieciséis de las cincuenta realizadas en el ejercicio de clasificación que usó el algoritmo *Random Trees* (Figura 12). Con la iteración dieciséis se obtuvo una precisión de 84% según el índice de kappa³¹, lo cual mostró un porcentaje de precisión confiable, considerando el número de coberturas clasificado. Después de realizar las correcciones manuales necesarias para ajustar el resultado del mapa obtenido con el algoritmo antes mencionado, se obtuvo el mapa final de coberturas de la tierra, al año 2016 (Figura 13).

En términos generales, la categoría de áreas artificializadas³² ocupó el 3,8% del área del sistema socioecológico; el área de producción agrícola el 58,5%; la de bosques y áreas seminaturales el 36,9%; y la de áreas húmedas y superficies el 0,8% (Figura 14). La Tabla 9 muestra las coberturas asociadas a cada uno de estos grupos temáticos.

³⁰ La corrección atmosférica corresponde al ajuste de longitudes de onda en las regiones visibles del espectro, permitiendo calcular la reflectancia de la superficie y ajustar la incidencia del vapor de agua y los aerosoles en la visualización de la imagen satelital. Por su parte, la corrección radiométrica hace referencia a los valores de reflectancia que son corregidos con base en un modelo que regula el brillo del píxel para representar las características reales de luminosidad de la escena. Ambos procesos fueron necesarios para corregir las irregularidades en los valores de reflectancia, teniendo en cuenta que la fecha de captura de los diferentes cuadrantes se distribuyó en cuatro años distintos.

³¹ El índice kappa se entiende como «la proporción de acuerdos observados más allá del azar respecto del máximo acuerdo posible más allá del azar» (Abraira, 2001, p. 248).

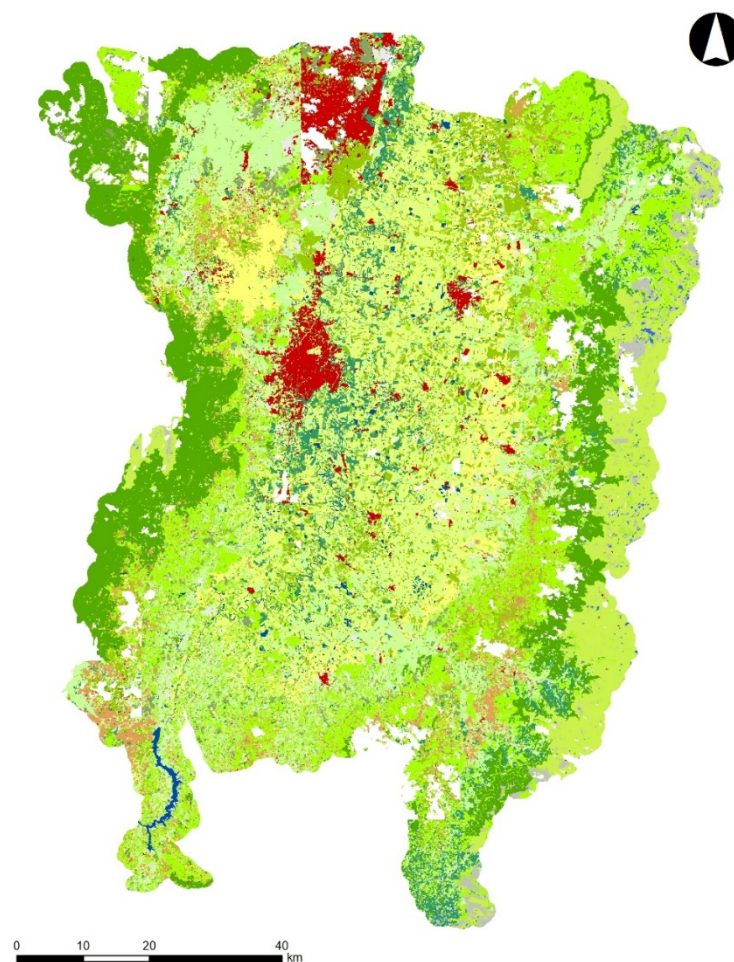
³² Hace referencia a las áreas de las ciudades, los centros poblados y aquellas áreas periféricas que son incorporadas a las zonas urbanas.

Figura 11. Mosaico en color natural (bandas 3, 2, 1)



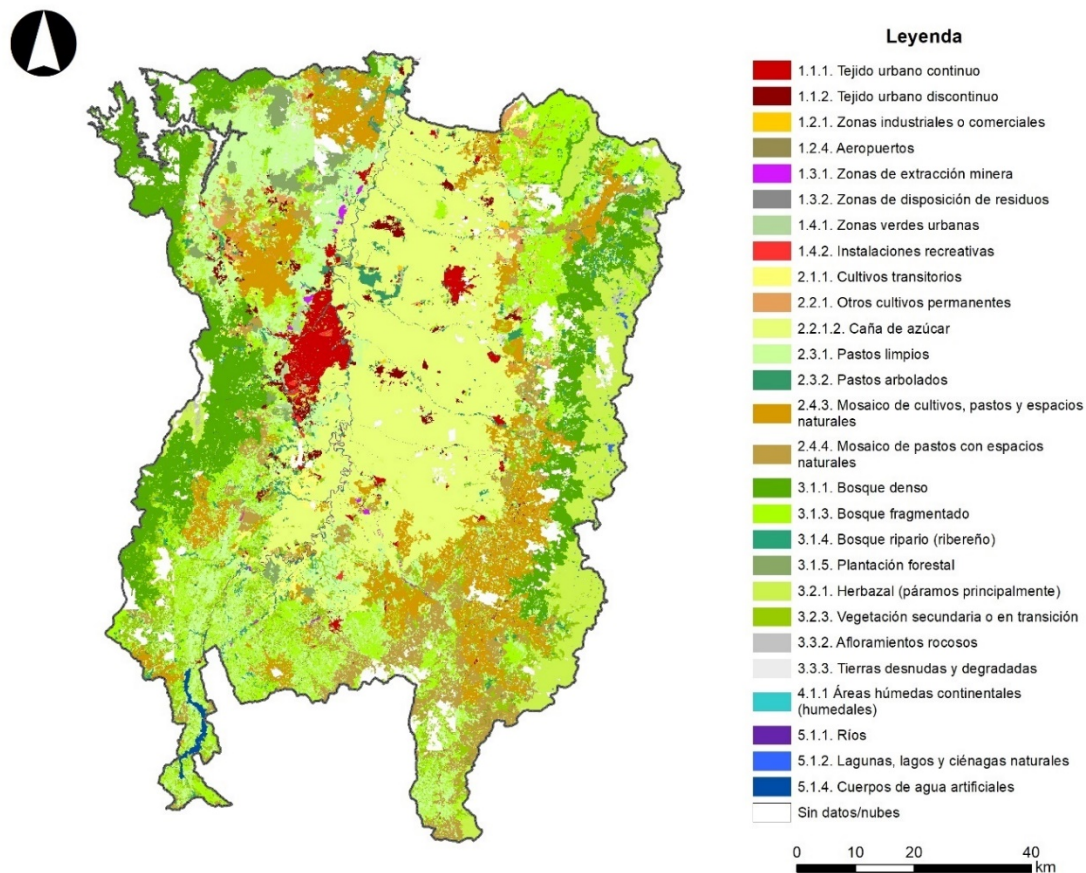
Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Mosaico clasificado (índice de kappa de 84%)



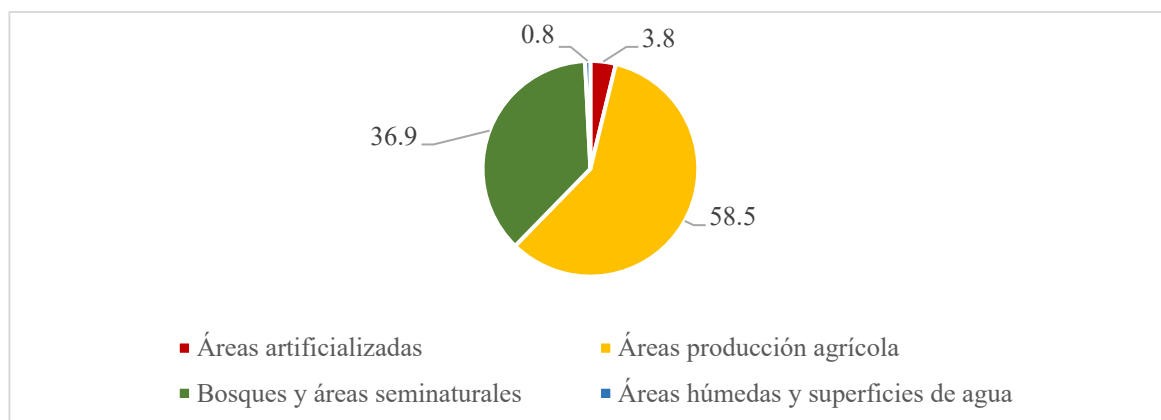
Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Mapa de coberturas de la tierra resultado de la clasificación de imágenes satelitales RapidEye



Fuente: elaboración propia a partir de las imágenes de satélites RapidEye

Figura 14. Porcentaje de área ocupada por las categorías de coberturas de la tierra clasificadas en el sistema socioecológico



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, es importante resaltar que las coberturas que mayor área ocuparon en el sistema socioecológico fueron las áreas de producción agrícola, localizadas mayormente en la planicie aluvial del río Cauca, predominando el monocultivo de la caña de azúcar (24%), seguido por los pastos limpios (17%) y los mosaicos de cultivos y bosques (14%) —ubicados sobre los piedemontes de las cordilleras central y occidental—. Por su parte, los bosques y áreas seminaturales presentaron un patrón de distribución periférico. Las coberturas con mayor extensión de área en esta categoría fueron los bosques densos (12%), bosques fragmentados (10%) y los herbazales (7%) (Tabla 9).

Tabla 9. Área de las coberturas de la tierra clasificadas

#	Grupos temáticos	Cobertura de la tierra	Etiquetado	
			Área (km ²)*	%
1	Áreas artificializadas	Tejido urbano continuo	167	2,0
2		Tejido urbano discontinuo	80	1,0
3		Zonas industriales o comerciales	13	0,2
4		Aeropuertos	0,2	0,0
5		Zonas de extracción minera	13	0,2
6		Zonas de disposición de residuos	1,0	0,0
7		Zonas verdes urbanas	24	0,3
8		Instalaciones recreativas	8,8	0,1
9	Áreas de producción agrícola	Cultivos transitorios	86	1,1
10		Otros cultivos permanentes	101	1,2
11		Caña de azúcar	1943	23,8
12		Pastos limpios	1359	16,6
13		Pastos arbolados	123	1,5
14		Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	767	9,4
15		Mosaico de pastos con espacios naturales	402	4,9
16	Bosques y áreas seminaturales	Bosque denso	950	11,6
17		Bosque fragmentado	825	10,1
18		Bosque ripario (ribereño)	60	0,7
19		Plantación forestal	122	1,5

#	Grupos temáticos	Cobertura de la tierra	Etiquetado	
			Área (km²)*	%
20		Herbazal (páramos)	536	6,6
21		Vegetación secundaria o en transición	474	5,8
22		Afloramientos rocosos	14	0,2
23		Tierras desnudas y degradadas	37	0,5
24	Áreas húmedas y superficies de agua	Áreas húmedas continentales (humedales)	1,5	0,0
25		Ríos	31	0,4
26		Lagunas, lagos y ciénagas naturales	10	0,1
27		Cuerpos de agua artificiales	22	0,3
Total			8168	100,0

*Áreas calculadas con base en el sistema «WGS 1984 World Mercator».

Fuente: elaboración propia

Como ya se indicó en el Capítulo metodológico, a partir de este conjunto de coberturas se realizó la valoración de la capacidad de cada una de ellas para proporcionar y demandar servicios ecosistémicos a partir de conocimiento de expertos. Para lograrlo, se creó un catálogo de servicios ecosistémicos con base en la clasificación CICES reportada en Potschin-Young & Haines-Young (2013). En este ejercicio, los expertos valoraron de forma virtual la capacidad de las coberturas de la tierra para proporcionar o demandar los servicios ecosistémicos clasificados en tres grandes grupos según el Millennium Ecosystem Assessment (2005): aprovisionamiento, regulación y culturales.

En total, se diligenciaron veintinueve encuestas que arrojaron 5229 respuestas (Tabla 10). Mientras que el grupo temático de áreas húmedas y superficies de agua fue el de mayor participación, con nueve encuestas diligenciadas, el de áreas artificializadas tuvo seis. Por su parte, la encuesta de áreas artificiales fue la más extensa, sumando 2268 respuestas que equivalen al 43% del total (Tabla 10).

Tabla 10. Resumen del proceso de consulta a expertos en servicios ecosistémicos

Grupo temático	Formularios diligenciados*	Número total de respuestas	%
Áreas de producción agrícola	7	1029	20
Bosques y áreas seminaturales	7	1176	22
Áreas húmedas continentales (humedales) y superficies de agua	9	756	14
Áreas artificializadas (demanda)	6	2268	43
Totales	29	5229	100

*Aunque el total de expertos que participaron en la evaluación fue de 26, uno de ellos diligenció tres formularios y otro dos, para un total de 29 formularios diligenciados.

Fuente: Elaboración propia

Esto indicó que, mientras que los integrantes del grupo de áreas húmedas y superficies de agua respondieron 96 preguntas menos que el promedio general, los expertos asociados a las áreas artificiales respondieron 198 preguntas más. Es de resaltar que los expertos que participaron en las encuestas más extensas tuvieron una excelente disposición para colaborar, garantizando así contar con un número significativo de datos para procesar.

4.2.1. Capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos

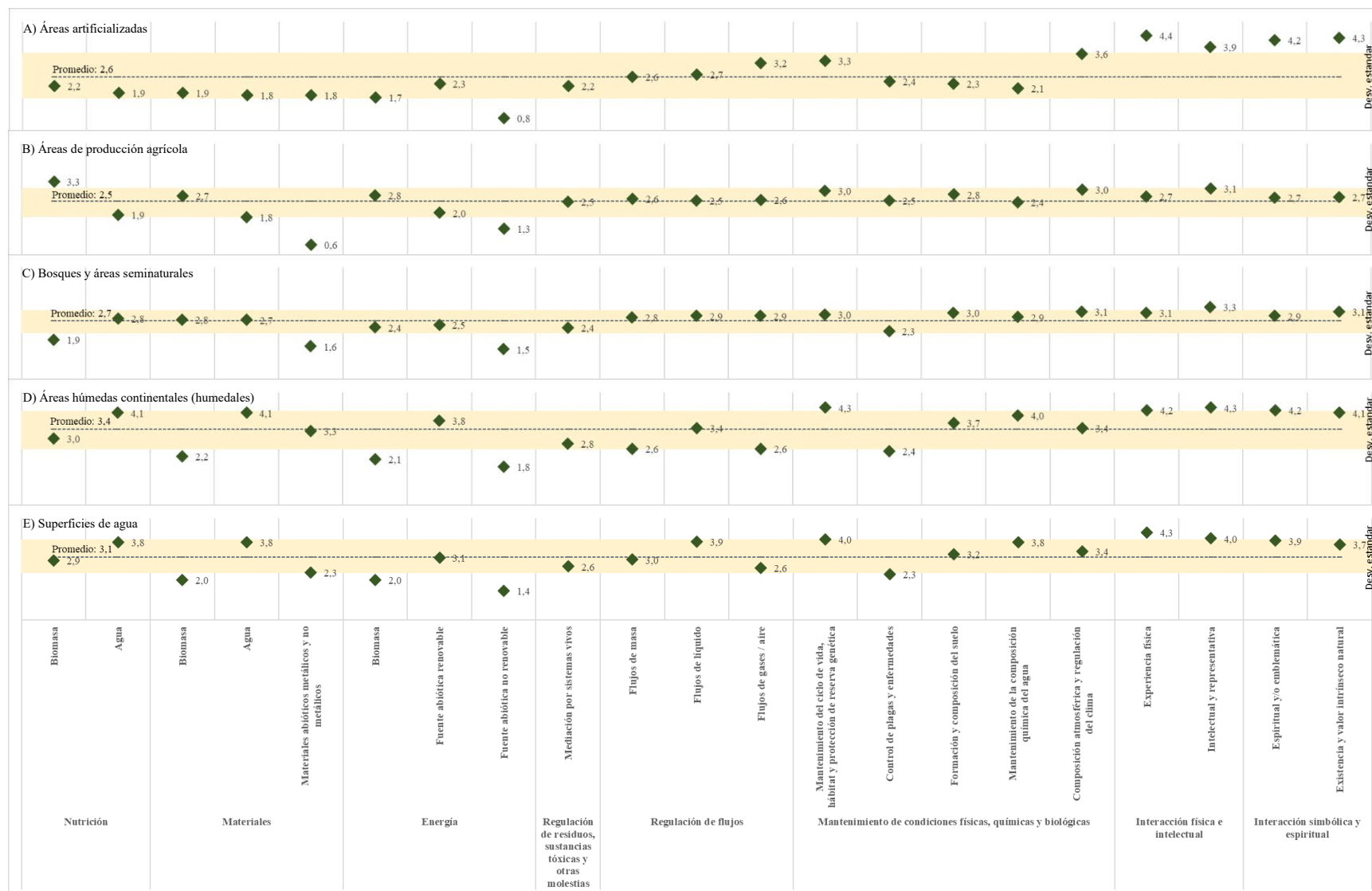
La variación del promedio de las valoraciones sobre la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos se muestra en la Figura 15. Dicho análisis se presenta por grupo temático de coberturas. Se puede observar que en todos los grupos las respuestas de los expertos mantuvieron una baja dispersión, demarcada por la desviación estándar —franjas de color amarillo— (Figura 15). No obstante, se puede identificar un patrón de alta dispersión en todos los grupos frente al servicio ecosistémico «Fuente abiótica renovable de la categoría energía». Algo similar sucedió con el servicio ecosistémico «Materiales abióticos metálicos y no metálicos» de la categoría «Materiales», el cual presentó alta dispersión para las áreas de producción agrícola y los bosques y áreas seminaturales.

Por su parte, la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos se muestra en la Tabla 11; en ella se puede resaltar que dos de las coberturas obtuvieron promedios por

encima del tercer cuartil (3,6) —*i. e.*, bosque denso (4,3), herbazal ubicado en zona de páramo (3,6)— y que seis obtuvieron promedios ubicados entre el primer y el tercer cuartil ($> 1,8$ y $< 3,6$) —*i. e.*, ríos (3,4), zonas verdes urbanas (3,3), bosque ripario o ribereño (3,3), mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (3,3), mosaico de pastos con espacios naturales (3,3), lagunas, lagos y ciénagas naturales (3,1) y cuerpos de agua artificiales (3,0)—. Este resultado permite resaltar el nivel de acuerdo de los expertos sobre importancia de las coberturas naturales y seminaturales, ubicadas principalmente en la periferia del sistema socioecológico, para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico.

Además, se puede observar cómo los servicios ecosistémicos culturales obtuvieron promedios altos en su valoración, situación que resaltó la importancia de esta clase de servicios para los expertos en cuanto al aporte que generan al bienestar individual y colectivo que se obtiene de fuentes intangibles. Con base en este hallazgo, durante la estancia doctoral realizada en el Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales (ICTA) de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), se llevó a cabo una investigación que buscó identificar patrones en el flujo (consumo real de determinado servicio) de servicios ecosistémicos culturales en el sistema socioecológico. Una breve descripción de este ejercicio, que está siendo evaluado para ser publicado en la revista *Ecosystem Services*, se presenta en el Anexo 9.

Figura 15. Capacidad promedio por grupo temático para proporcionar los veintinueve servicios ecosistémicos evaluados: A) Áreas artificializadas; B) áreas de producción agrícola; C) bosques y áreas seminaturales; D) áreas húmedas continentales (húmedales); y F) superficies de agua



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos por cobertura de la tierra

	Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra	Nutrición		Materiales			Energía			Regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias	Regulación de flujos				Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas				Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual			
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable		Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido		Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa		
Áreas artificializadas	Zonas verdes urbanas	2,8	2,8	2,6	2,6	2,2	2,2	2,6	0,8	2,6	3,4	3,4	4,2	3,8	3,4	3,2	2,8	4,2	4,8	4,6	4,6	4,8	3,3	1,0
	Instalaciones recreativas	1,6	1,0	1,2	1,0	1,4	1,2	2,0	0,8	1,8	1,8	2,0	2,2	2,8	1,4	1,4	1,4	3,0	4,0	3,2	3,8	3,8	2,1	1,0
Áreas de producción agrícola	Cultivos transitorios	5,0	1,0	2,6	1,0	0,3	2,6	1,7	0,7	2,0	1,9	1,9	1,9	2,6	2,1	2,4	1,7	2,3	2,4	2,7	2,6	2,7	2,0	0,7
	Caña de azúcar	2,6	0,7	3,0	0,9	0,1	4,1	2,0	1,3	1,6	1,4	1,4	1,7	2,0	1,1	2,1	1,3	1,9	1,0	1,9	1,1	0,9	1,6	0,8
	Otros cultivos permanentes	4,0	2,0	3,0	2,3	0,7	3,7	2,6	1,7	2,9	3,3	3,0	2,9	3,4	2,9	3,0	2,4	3,6	3,1	3,6	2,6	3,0	2,8	0,7
	Pastos limpios	2,6	0,9	1,3	1,1	0,1	1,4	1,1	0,7	1,7	1,6	1,7	1,4	1,6	1,1	1,6	1,9	2,0	1,9	1,7	1,4	1,1	1,4	0,4
	Pastos arbolados	3,0	2,4	2,9	2,0	0,7	2,3	1,7	1,6	2,6	2,9	2,9	2,9	2,9	2,6	2,7	3,1	3,1	2,9	3,0	3,1	2,9	2,6	0,6
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3,6	3,0	3,3	2,6	1,0	2,7	2,6	1,4	3,3	3,6	3,3	3,4	4,1	4,1	3,7	3,3	4,0	4,0	4,3	4,1	4,3	3,3	0,9
	Mosaico de pastos con espacios naturales	2,7	3,4	3,1	2,9	1,3	2,4	2,3	1,7	3,4	3,7	3,6	3,7	4,1	3,7	4,0	3,4	4,1	3,7	4,3	3,6	3,9	3,3	0,8
Bosques y áreas seminaturales	Bosque denso	3,4	5,0	4,9	4,7	1,4	3,4	3,9	1,9	4,0	4,9	5,0	4,7	5,0	3,9	4,9	4,9	5,0	4,7	5,0	4,9	5,0	4,3	1,0
	Bosque fragmentado	2,9	3,4	3,6	3,9	1,3	3,0	3,0	1,4	3,1	3,7	3,9	3,4	3,4	3,0	3,9	3,7	3,7	3,4	3,6	3,1	3,4	3,3	0,7
	Bosque ripario (ribereño)	2,0	4,0	3,4	3,9	1,7	2,9	3,1	1,6	3,6	3,0	3,7	3,9	4,1	3,0	4,0	4,0	4,1	3,7	3,9	3,3	4,0	3,4	0,7

	<i>Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra</i>	Nutrición		Materiales		Energía		Regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias	Regulación de flujos		Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas				Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual							
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa		Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable	Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa	Espiritual y/o emblemática	Existencia y valor intrínseco natural	Promedio
	Plantación forestal	1,7	1,9	4,0	2,0	1,0	4,7	2,1	2,1	2,6	3,4	2,9	3,9	2,6	1,7	2,6	2,3	3,3	1,9	2,7	1,0	1,1	2,5	1,0
	Herbazal (páramos)	2,0	4,3	2,9	4,3	1,7	1,9	3,1	1,1	2,6	3,3	4,3	3,4	4,4	2,9	4,7	4,7	4,9	4,0	4,6	4,7	4,9	3,6	1,1
	Vegetación secundaria o en transición	2,1	2,7	2,7	2,6	1,4	2,7	1,9	1,0	2,6	3,3	3,0	2,9	3,0	2,6	3,4	2,6	3,1	2,9	2,9	2,3	2,6	2,6	0,6
	Afloramientos rocosos	0,6	0,9	0,4	0,4	2,6	0,3	2,1	1,4	0,6	1,0	0,4	1,0	1,0	0,7	0,9	0,6	0,4	3,3	3,3	3,4	3,3	1,4	1,1
	Tierras desnudas y degradadas	0,3	0,3	0,1	0,1	1,6	0,4	0,9	1,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,1	0,1	0,6	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4
Áreas húmedas	Áreas húmedas continentales (humedales)	3,3	2,2	2,2	2,7	1,9	2,1	1,9	1,2	2,6	2,9	3,8	2,3	4,3	2,2	3,3	3,8	3,2	4,2	3,9	4,1	4,0	2,9	0,9
Superficies de agua	Ríos	3,0	4,1	2,2	4,1	3,3	2,1	3,8	1,8	2,8	2,6	3,4	2,6	4,3	2,4	3,7	4,0	3,4	4,2	4,3	4,2	4,1	3,4	0,8
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	2,9	3,0	1,8	3,1	1,8	1,9	2,3	1,3	2,7	3,0	4,0	2,4	4,2	2,2	3,3	4,1	3,3	4,4	4,2	4,4	4,2	3,1	1,0
	Cuerpos de agua artificiales	2,9	4,3	1,9	4,2	1,9	1,9	3,1	1,2	2,4	3,3	4,1	2,7	3,3	2,1	2,7	3,3	3,3	4,2	3,4	3,0	2,8	3,0	0,8

Nota 1: A mayor intensidad del color verde, mejor valoración de la cobertura de la tierra para proporcionar servicios ecosistémicos. En cuanto a la columna «Desviación estándar», a mayor intensidad del color naranja, menor variabilidad en las respuestas de los expertos.

Nota 2: Primer cuartil: 1,8 y tercer cuartil: 3,6.

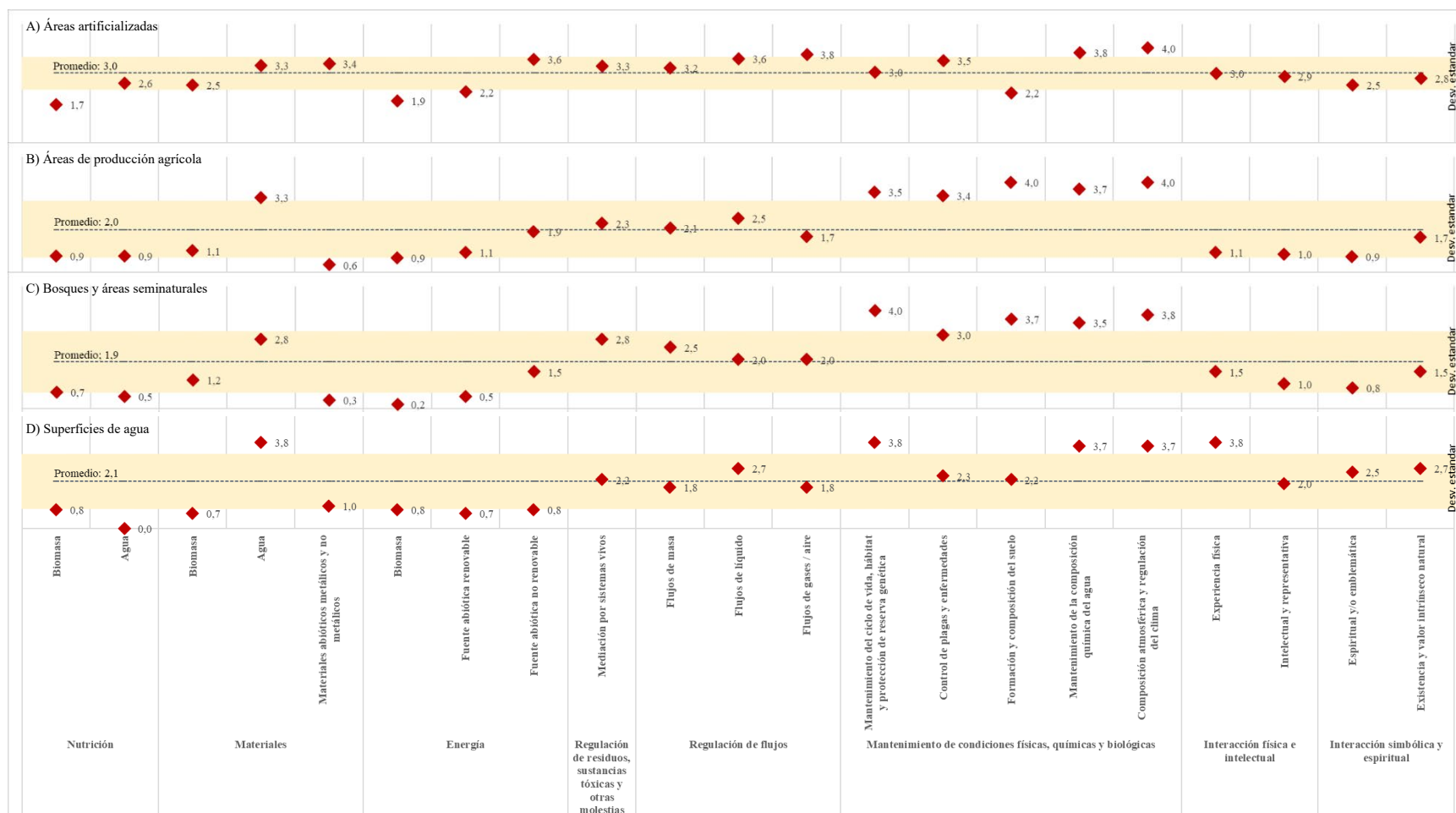
Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Capacidad para demandar servicios ecosistémicos

El promedio de las valoraciones respecto a la capacidad de las coberturas para demandar servicios ecosistémicos se muestra en la Figura 16. Vale la pena resaltar que los promedios de las valoraciones de servicios asociados con la categoría de «Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas» mostraron una mayor dispersión frente al promedio general, ubicándose por fuera del área de la desviación de estándar —frangas de color amarillo— en los grupos temáticos de «Áreas de producción agrícola», «Bosques y áreas seminaturales» y «Superficies de agua». Una situación similar se presentó con los servicios de «Biomasa» y «Fuentes abióticas renovables» de la categoría «Energía» para los grupos temáticos de «Áreas artificializadas» y «Superficies de agua».

Por otra parte, la Tabla 12 presenta la matriz de capacidad de las coberturas de la tierra para demandar servicios ecosistémicos. Claramente, el grupo temático de áreas artificializadas es el de mayor capacidad para demandar servicios ecosistémicos, principalmente los tejidos urbanos continuo y discontinuo —con un promedio 4,1 y 4,0, respectivamente—, seguidos por las zonas industriales y comerciales, con un promedio de 3,7.

Figura 16. Capacidad promedio por grupo temático para demandar los veintidós servicios ecosistémicos evaluados: A) Áreas artificializadas; B) áreas de producción agrícola; C) bosques y áreas seminaturales; D) áreas húmedas continentales (humedales); y F) superficies de agua



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Matriz de capacidad para demandar servicios ecosistémicos por cobertura de la tierra

	Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra	Nutrición		Materiales			Energía			Regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas					Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual			
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable		Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa	Espiritual y/o emblemática		
Áreas artificializadas	Tejido urbano continuo	4,2	5,0	4,5	4,3	4,7	2,7	2,8	4,3	4,5	4,2	4,7	4,5	3,0	4,3	2,0	4,8	4,7	4,7	4,3	4,2	4,2	4,1	0,8
	Tejido urbano discontinuo	3,8	4,5	4,0	4,0	4,3	2,5	3,0	4,0	4,3	4,0	4,3	3,8	3,2	4,5	2,3	5,0	4,7	4,7	4,3	4,2	4,0	4,0	0,7
	Zonas industriales o comerciales	2,7	4,2	4,7	4,8	4,7	3,5	3,3	4,2	4,2	3,7	4,7	4,7	3,2	4,0	1,8	4,7	4,5	2,8	3,3	2,2	2,8	3,7	0,9
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,5	0,7	1,7	2,8	4,2	2,0	2,5	4,7	3,3	3,3	3,2	3,8	3,0	1,8	2,0	2,3	3,2	2,3	2,7	1,7	2,2	2,6	1,0
	Aeropuertos	1,5	3,0	2,2	2,3	3,5	1,7	2,8	4,2	3,5	2,8	3,3	4,3	2,8	3,3	2,0	3,5	5,0	2,2	2,3	2,2	1,7	2,9	0,9
	Zonas de extracción minera	0,7	1,8	1,5	3,7	4,3	1,7	1,2	3,8	2,3	3,3	3,5	3,8	2,8	2,8	2,7	3,2	3,0	0,8	0,8	0,7	1,0	2,4	1,2
	Zonas de disposición de residuos	0,2	0,7	1,5	2,0	2,0	1,2	1,3	3,0	3,5	3,8	4,0	4,0	3,2	4,0	3,5	4,0	4,2	0,5	0,7	0,7	1,7	2,4	1,4
	Zonas verdes urbanas	0,0	0,5	0,7	2,3	1,0	0,3	0,8	1,3	1,5	1,7	1,7	2,2	2,8	3,3	1,8	3,0	3,2	4,0	3,8	3,5	4,0	2,1	1,3
	Instalaciones recreativas*	1,8	2,8	1,8	3,5	1,8	1,2	2,2	2,5	2,3	2,0	2,8	2,7	3,3	3,3	1,5	4,0	3,8	4,8	3,3	3,3	3,5	2,8	0,9
Áreas de producción agrícola	Cultivos transitorios	1,3	0,8	1,7	4,2	0,8	1,2	1,0	2,3	2,3	2,0	2,8	1,7	3,5	3,8	4,0	3,8	4,2	1,2	1,0	1,0	1,5	2,2	1,2
	Caña de azúcar	0,8	1,0	1,8	5,0	0,8	2,3	1,8	2,8	2,5	2,3	3,3	3,2	4,0	3,8	4,3	3,8	4,5	1,0	1,0	0,8	1,5	2,5	1,4
	Otros cultivos permanentes	1,3	1,3	1,7	3,5	0,8	1,2	1,2	2,5	2,7	2,2	3,0	1,7	3,5	3,7	4,2	3,8	4,2	1,2	1,0	1,0	1,5	2,2	1,2
	Pastos limpios	0,7	0,8	0,7	2,8	0,3	0,2	0,7	1,5	2,0	2,2	2,2	1,5	3,3	3,2	3,7	3,5	3,5	1,0	1,0	0,8	1,8	1,8	1,2
	Pastos arbolados	0,7	0,8	0,7	2,3	0,5	0,2	0,5	1,3	2,0	1,8	2,0	1,3	3,5	3,0	3,7	3,5	3,5	1,0	1,0	0,8	1,8	1,7	1,1
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0,8	0,8	0,8	2,8	0,3	0,8	1,5	1,5	2,2	2,0	2,0	1,3	3,5	3,3	4,0	3,7	4,0	1,2	1,0	1,0	1,8	1,9	1,2

	<i>Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra</i>	Nutrición		Materiales			Energía		Regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas				Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual					
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable	Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa	Espiritual y/o emblemática	Existencia y valor intrínseco natural	Promedio	Desviación estándar
	Mosaico de pastos con espacios naturales	0,8	0,8	0,7	2,7	0,3	0,2	0,8	1,5	2,2	2,0	2,0	1,3	3,5	3,0	3,8	3,5	3,8	1,0	1,0	0,8	1,8	1,8	1,2
Bosques y áreas seminaturales	Plantación forestal	0,7	0,5	1,2	2,8	0,3	0,2	0,5	1,5	2,8	2,5	2,0	2,0	4,0	3,0	3,7	3,5	3,8	1,5	1,0	0,8	1,5	1,9	1,2
Superficies de agua	Cuerpos de agua artificiales	0,8	0,0	0,7	3,8	1,0	0,8	0,7	0,8	2,2	1,8	2,7	1,8	3,8	2,3	2,2	3,7	3,7	3,8	2,0	2,5	2,7	2,1	1,2

Nota 1: A mayor intensidad del color rojo, mejor valoración de la cobertura de la tierra para demandar servicios ecosistémicos. En cuanto a la columna de «Desviación estándar», a mayor intensidad en el color naranja, menor variabilidad en las respuestas de los expertos.

Nota 2: Primer cuartil: 1,5 y tercer cuartil: 3,7.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los servicios ecosistémicos con promedios más altos (columnas) —por encima de 3,0 —es decir, ubicados en el segundo cuartil— se encuentran «Agua» dentro de la categoría de «Materiales»; «Flujos de líquido» dentro de la categoría de «Regulación de flujos»; y todos los servicios de la categoría de «Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas» —con excepción de «Formación y composición del suelo», con un promedio de 2,9—. Para esta valoración de demanda de servicios ecosistémicos, en el grupo temático de bosques y áreas seminaturales solo se tuvo en cuenta la cobertura de plantaciones forestales —al ser consideradas cultivos— y en el grupo de superficies de agua la cobertura de cuerpos de agua artificial —al estar relacionados en su mayoría con la actividad acuícola—. Debido a sus características naturales, las demás coberturas de estos grupos fueron valoradas en la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos (p. ej., bosque denso y ríos) (Tabla 12). También es importante mencionar que el grupo temático de áreas húmedas no fue incluido en la valoración, debido a que los humedales son considerados proveedores y no demandantes de servicios ecosistémicos.

4.2.3. Establecimiento de la estructura ecológica: Matriz y mapa de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos

Como se indicó en la metodología, a partir de las matrices de capacidad para proporcionar y demandar servicios ecosistémicos se creó la matriz de balance, y con base en la matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos se crearon las matrices de multifuncionalidad y singularidad (ver Anexos 10, 11 y 12, respectivamente). Así las cosas, las matrices de balance, multifuncionalidad y singularidad fueron los insumos para la creación de la matriz de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico (Tabla 13). La sumatoria de las celdas de esta matriz —en sentido horizontal—, permitió obtener los valores de capacidad de cada una de las veintidós coberturas de la tierra evaluadas (Tabla 13). Esta matriz es el resultado de la Ecuación 7 descrita en la metodología. *Por tanto, la columna de sumatoria de esta matriz —resultado de la Ecuación 8— contiene los valores con los que se estableció la estructura ecológica, pues representan la capacidad total de sus elementos (coberturas de la tierra naturales y seminaturales) para proporcionar servicios ecosistémicos.*

Tabla 13. Matriz de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico

	<i>Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra</i>	Nutrición		Materiales			Energía			Regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas					Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual		Sumatoria
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable	Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa	Espiritual y/o emblemática	Existencia y valor intrínseco natural	
Áreas artificializadas	Zonas verdes urbanas	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,2	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	11,6
	Instalaciones recreativas	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	6,3
Áreas de producción agrícola	Cultivos transitorios	0,8	0,2	0,4	0,1	0,1	0,4	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	7,0
	Caña de azúcar	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	5,2
	Otros cultivos permanentes	0,7	0,4	0,5	0,3	0,1	0,7	0,5	0,3	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,5	0,5	9,8
	Pastos limpios	0,5	0,2	0,3	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	5,2
	Pastos arbolados	0,6	0,4	0,6	0,3	0,2	0,5	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	9,4
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0,6	0,5	0,6	0,4	0,2	0,5	0,5	0,2	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	11,6
	Mosaico de pastos con espacios naturales	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3	0,5	0,4	0,3	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	12,1
Bosques y áreas seminaturales	Bosque denso	0,7	0,9	0,9	0,8	0,3	0,7	0,8	0,4	0,8	0,9	1,0	0,9	1,0	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	17,1
	Bosque fragmentado	0,6	0,7	0,7	0,7	0,3	0,6	0,6	0,3	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	13,5
	Bosque ripario (ribereño)	0,5	0,7	0,7	0,7	0,4	0,6	0,6	0,3	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,6	0,8	13,9
	Plantación forestal	0,3	0,3	0,7	0,3	0,2	0,8	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,5	0,3	0,2	8,7
	Herbazal (páramos)	0,5	0,8	0,6	0,8	0,4	0,4	0,6	0,3	0,5	0,6	0,8	0,7	0,8	0,6	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	14,3
	Vegetación secundaria o en transición	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,4	0,2	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	10,8

	Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra	Nutrición		Materiales			Energía			Regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas					Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual		
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable	Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del suelo	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa	Espiritual y/o emblemática	Existencia y valor intrínseco natural	Sumatoria
	Afloramientos rocosos	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	5,6	
	Tierras desnudas y degradadas	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	3,2
Áreas húmedas	Áreas húmedas continentales (humedales)	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,5	0,6	0,7	0,5	0,8	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	12,4
Superficies de agua	Ríos	0,6	0,7	0,5	0,7	0,6	0,5	0,8	0,4	0,6	0,5	0,7	0,5	0,8	0,5	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	13,8
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,6	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,5	0,3	0,5	0,6	0,8	0,5	0,8	0,5	0,6	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	12,7
	Cuerpos de agua artificiales	0,6	0,8	0,4	0,6	0,3	0,4	0,6	0,3	0,4	0,6	0,7	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	10,6

Nota: En la matriz, el gradiente de color verde significa mayor capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos. El gradiente amarillo representa valores intermedios de capacidad y el rojo significa menor capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos. La columna sumatoria define el valor final que se representó en el mapa de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos en el año 2016. El gradiente de color verde representa la capacidad mediana, alta y muy alta; el amarillo la capacidad muy baja y baja; y el rojo sin relevancia.

Fuente: Elaboración propia

Para analizar la matriz anterior, es necesario complementarla con la categorización de la columna sumatoria. La Tabla 14 presenta el resultado de dividir el valor máximo que se podía obtener en dicha columna (*i. e.*, veintiuno (21)), en seis partes iguales (*i. e.*, columna «Categorías de la capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos (sumatoria)»), lo cual permitió establecer la correspondencia con cada uno de los seis valores de la escala Likert usados en esta investigación (*i. e.*, columna «Escala *Likert*»). Así, se pudo identificar las coberturas de la tierra que no son estructura ecológica —aquellas con valores menores o iguales a 3,5 (categoría «sin relevancia») más las coberturas de la tierra artificializadas sin capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos—; las asociadas con la estructura ecológica de segundo nivel —aquellas ubicadas en el rango 7,0 a 10,5 (categorías «muy bajo», «bajo» y «medio»); y las asociadas con la estructura ecológica de primer nivel—aquellas cuya calificación final fue igual o mayor a 14,0—. Los resultados descritos en la Tabla 14 se representan en la Figura 17.

Tabla 14. Resultado de la clasificación de coberturas de la tierra en estructura ecológica de primer y segundo nivel, y coberturas que no son estructura ecológica

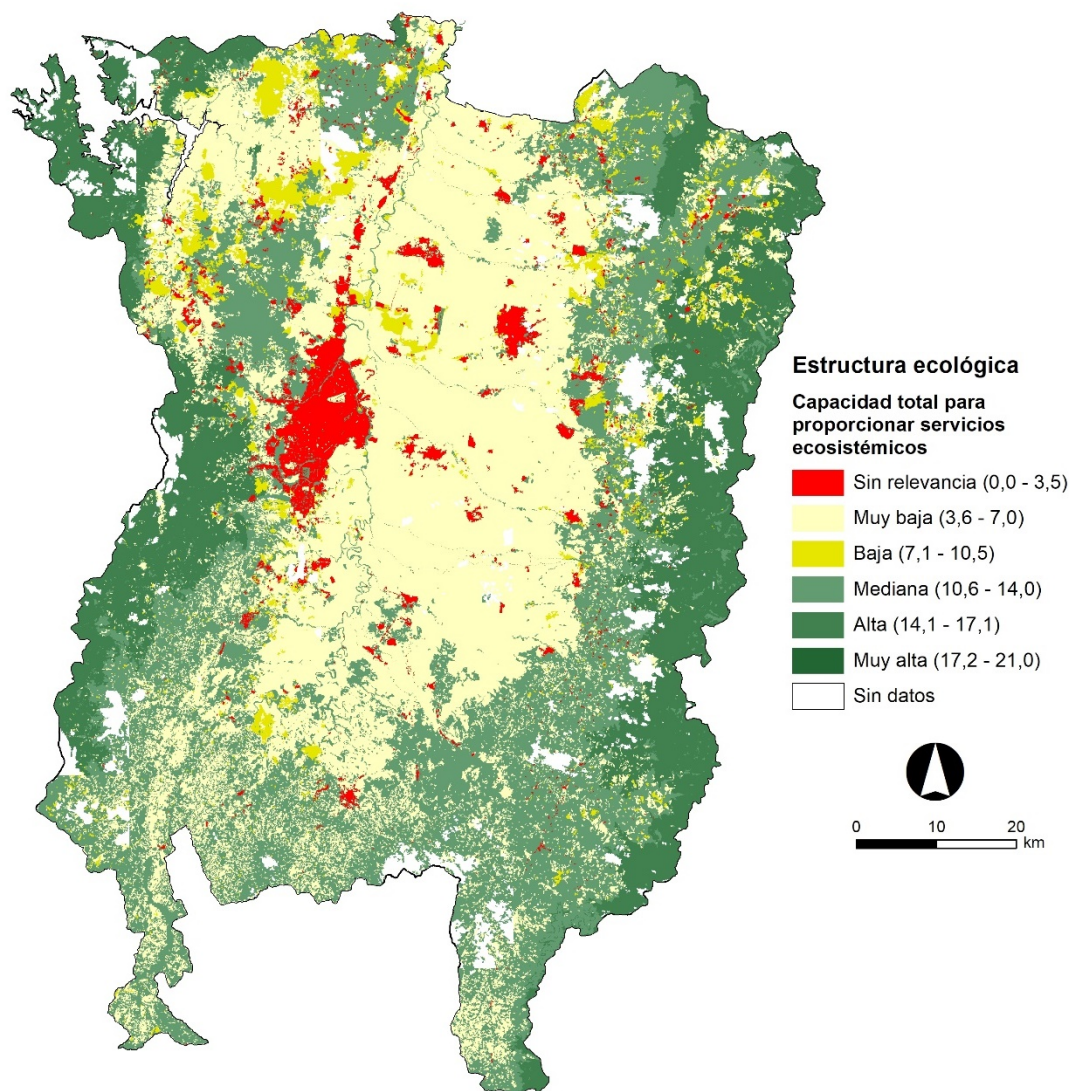
Escala <i>Likert</i>	Categorías de la capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos (sumatoria)	Rango de datos cubierto	Categoría cualitativa	Descripción
0	3,5	0 - 3,5	Sin relevancia	No es estructura ecológica
1	7,0	3,6 - 7,0	Muy baja	Estructura ecológica de <i>segundo nivel</i>
2	10,5	7,1 - 10,5	Baja	
3	14,0	10,6 - 14,0	Mediana	Estructura ecológica de <i>primer nivel</i>
4	17,5	14,1 - 17,5	Alta	
5	21,0	17,6 - 21,0	Muy alta	

Con base en lo anterior, se puede interpretar mejor la columna sumatoria de la matriz de capacidad total (Tabla 13). La categoría «Bosques y áreas naturales» concentra las coberturas de la estructura ecológica de primer nivel —*i. e.*, bosque denso (14,3), herbazal (14,3), bosque ripario (13,9), bosque fragmentado (13,5)—. Sin embargo, esta categoría también comprende coberturas que no son estructura ecológica —*i. e.*, tierras desnudas y

degradadas (3,2)— y de la estructura ecológica de segundo nivel —*i. e.*, plantación forestal (8,7)—. En cuanto a las categorías de «Superficies de agua» y «Áreas húmedas», todas las coberturas asociadas a ellas hacen parte de la estructura ecológica de primer nivel —*i. e.*, ríos (13,8), y lagunas, lagos y ciénagas naturales (12,7), y cuerpos de agua artificiales (10,6), en el caso de la primera categoría, y humedales (12,4) en el caso de la segunda—. Por su parte, las coberturas de la categoría «Áreas agrícolas» obtuvieron calificaciones que las ubican dentro de la estructura ecológica de segundo nivel, en el rango de 5,2 a 9,8 —*i. e.*, cultivos transitorios, caña de azúcar, otros cultivos permanentes y pastos limpios—, a excepción de los dos tipos de mosaicos —*i. e.*, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, y mosaico de pastos con espacios naturales— los cuales se ubican en la estructura ecológica de primer nivel. Finalmente, en la categoría de «Áreas artificializadas», la cobertura de zonas verdes urbanas (11,6) se ubicó en la estructura ecológica de primer nivel, mientras que la de instalaciones recreativas (6,3) se situó en la de segundo.

En cuanto a la Figura 17, se puede observar que las coberturas con mayor capacidad son aquellas en la periferia del sistema socioecológico, especialmente aquellas asociadas con servicios como la regulación climática (p. ej., bosques densos) y aprovisionamiento de agua (p. ej. páramos). No obstante, no se deja en un segundo plano la cobertura de zonas verdes urbanas, la cual, a pesar de encontrarse insertada en el tejido urbano, presenta importantes aportes relacionados especialmente con los servicios ecosistémicos culturales. Por tanto, también hace parte de la estructura ecológica de primer nivel.

Figura 17. Estructura ecológica: Capacidad total de sus elementos (coberturas de la tierra naturales y seminaturales) para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico. Representación de las seis clases de la escala *Likert*.



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la Tabla 15 se presenta la estimación del indicador global para el sistema socioecológico que refleja la contribución de cada cobertura de la tierra a la capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos. Como se explicó en la metodología, con base en las columnas de área de cada cobertura y capacidad total —columna de sumatoria de la Tabla 13— se calculó el indicador de contribución (cuarta columna de la Tabla 15). Luego, con el propósito de estandarizar los resultados, los valores del indicador fueron convertidos

a porcentajes, obteniendo así la quinta columna de la Tabla 15. Como se puede observar en dicha tabla, las coberturas de la tierra con mayor contribución porcentual son bosque denso, bosque fragmentado y caña de azúcar. No obstante, es claro que, para destacarse como una de las coberturas con mayor contribución, la cobertura de caña de azúcar necesitó de 996 ha adicionales a bosque denso (que tiene 950 ha) y 1118 ha más que bosque fragmentado (que tiene 850 ha). Esto tiene que ver con su relativamente baja calificación de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos —*i. e.*, 5,2— la cual limitó su aporte a pesar de ser la cobertura de la tierra con mayor área en el sistema socioecológico (1943 ha) (Tabla 15). Un análisis similar podría realizarse con la cobertura de pastos limpios —la segunda cobertura con más área física en el sistema socioecológico—. Esta situación permite pensar en la necesidad de aprovechar mejor el área ocupada por las diferentes coberturas y, así, lograr un aumento en la capacidad total de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos. Esto se analizará más adelante, en la sección sobre la simulación de alternativas de organización espacial de las coberturas.

Tabla 15. Estimación del indicador global de contribución porcentual de cada cobertura a la capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico.

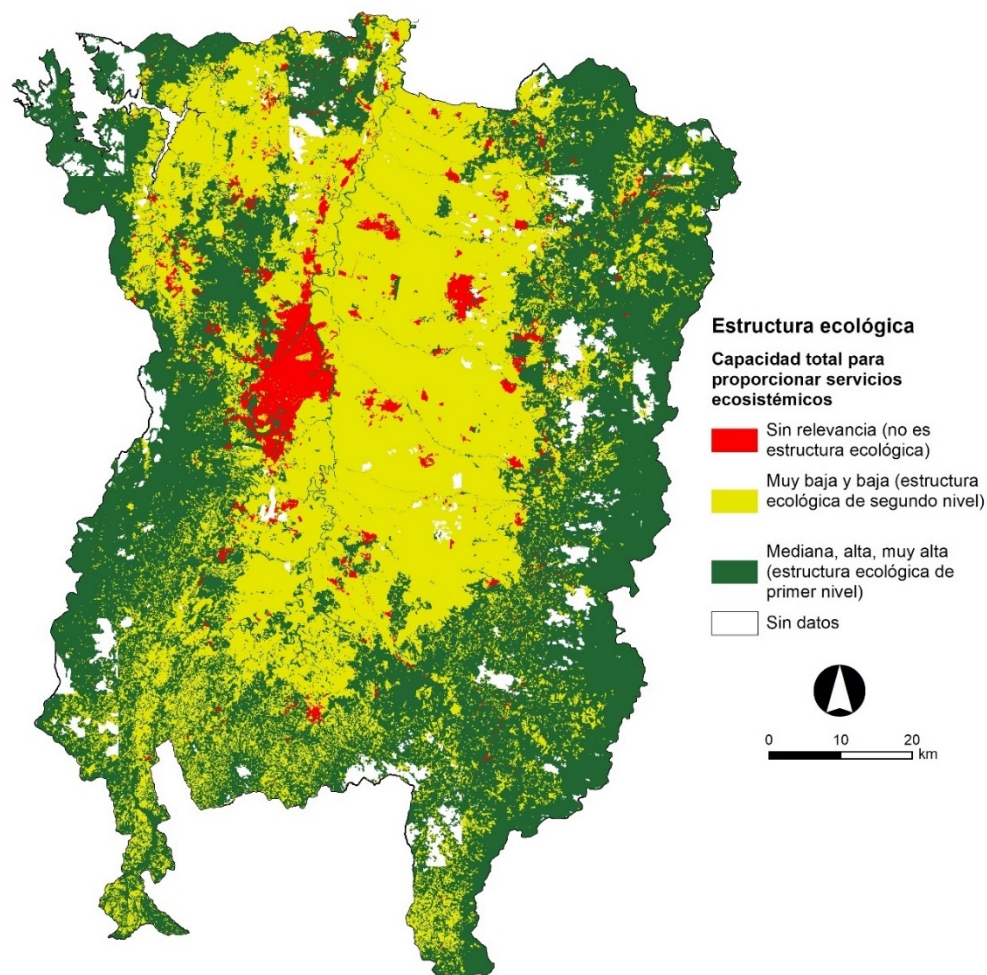
Coberturas	Área de la cobertura en el sistema socioecológico (km ²)	Capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos	Indicador de contribución (área cobertura * capacidad total)	Indicador de contribución porcentual (%)
Tierras desnudas y degradadas	37	3,2	119	0,2
Pastos limpios	1.359	5,2	7.116	9,2
Caña de azúcar	1.943	5,2	10.181	13,2
Afloramientos rocosos	14	5,6	76	0,1
Instalaciones recreativas	9	6,3	55	0,1
Cultivos transitorios	86	7,0	604	0,8
Plantación forestal	122	8,7	1.069	1,4
Pastos arbolados	123	9,4	1.156	1,5
Otros cultivos permanentes	101	9,8	984	1,3
Cuerpos de agua artificiales	22	10,6	238	0,3
Vegetación secundaria o en transición	474	10,8	5.096	6,6
Zonas verdes urbanas	24	11,6	274	0,4
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	767	11,6	8.913	11,5
Mosaico de pastos con espacios naturales	402	12,1	4.857	6,3
Áreas húmedas continentales (humedales)	1	12,4	18	0,0
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	10	12,7	123	0,2
Bosque fragmentado	825	13,5	11.099	14,4
Ríos	31	13,8	426	0,6
Bosque ripario (ribereño)	60	13,9	830	1,1
Herbazal (páramos principalmente)	536	14,3	7.667	9,9
Bosque denso	950	17,1	16.289	21,1
Total	7.894		77.191	100,0

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.1. La composición de la estructura ecológica de primer y segundo nivel

La Figura 18 representa los dos niveles que componen la estructura ecológica y las áreas sin relevancia para proporcionar servicios ecosistémicos o, en otras palabras, demandantes de servicios ecosistémicos. Esta figura resume el resultado de la Figura 17 al agrupar las categorías mediana, alta y muy alta en la estructura ecológica de primer nivel, y las categorías muy baja y baja en la estructura ecológica de segundo nivel.

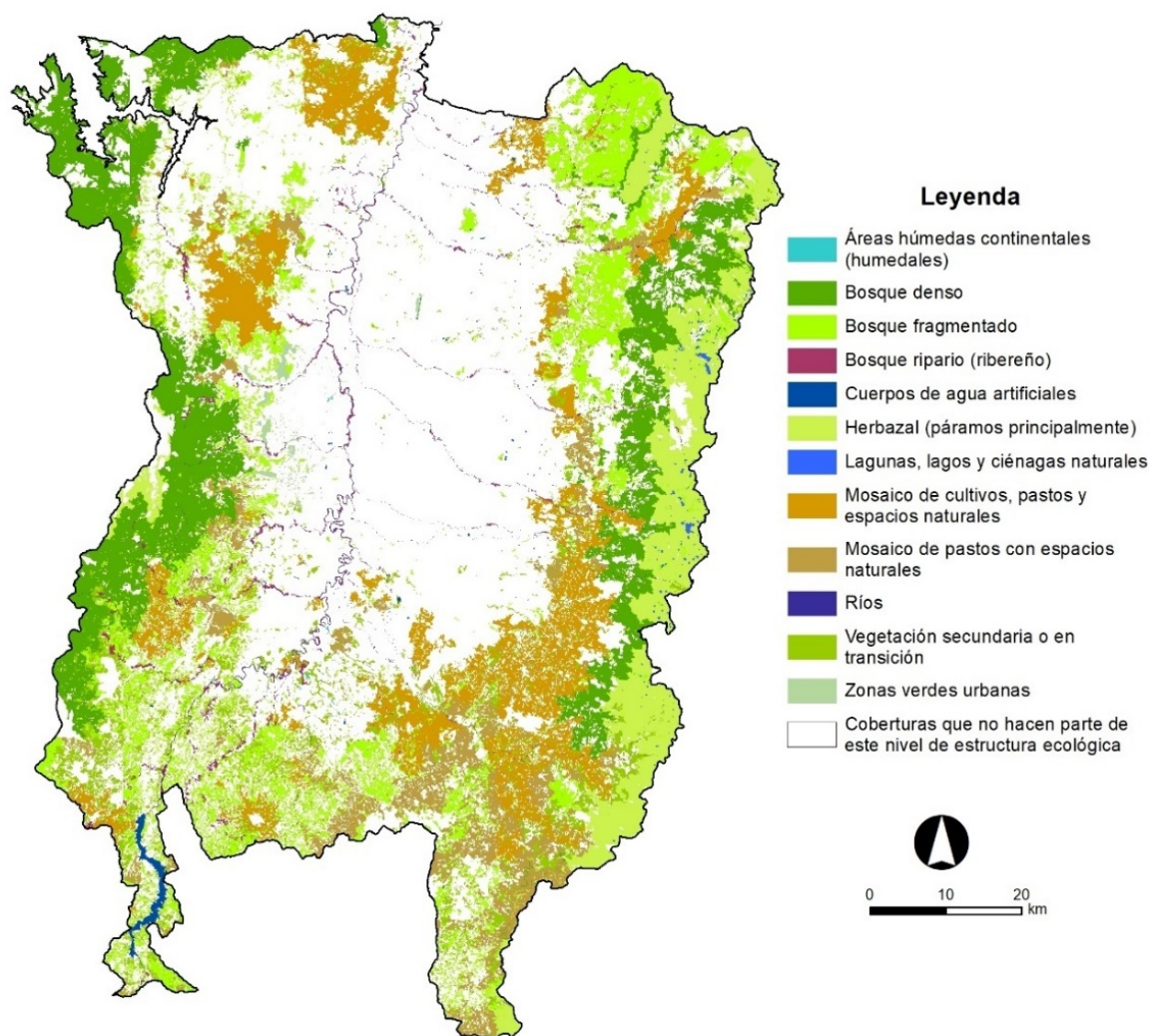
Figura 18. Estructura ecológica: Capacidad total de sus elementos (coberturas de la tierra naturales y seminaturales) para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico. Representación de los dos niveles que componen la estructura ecológica: primer y segundo nivel



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la estructura ecológica de primer nivel, está compuesta por doce coberturas de la tierra que ocupan 4100 km², es decir, el 50,2% del sistema socioecológico (Figura 19). Tres coberturas abarcan aproximadamente el 31% del área: bosque denso, con 950 km² (11,6% del área); bosque fragmentado, con 824 km² (10,1%); y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, con 766 km² (9,4%) (Figura 20).

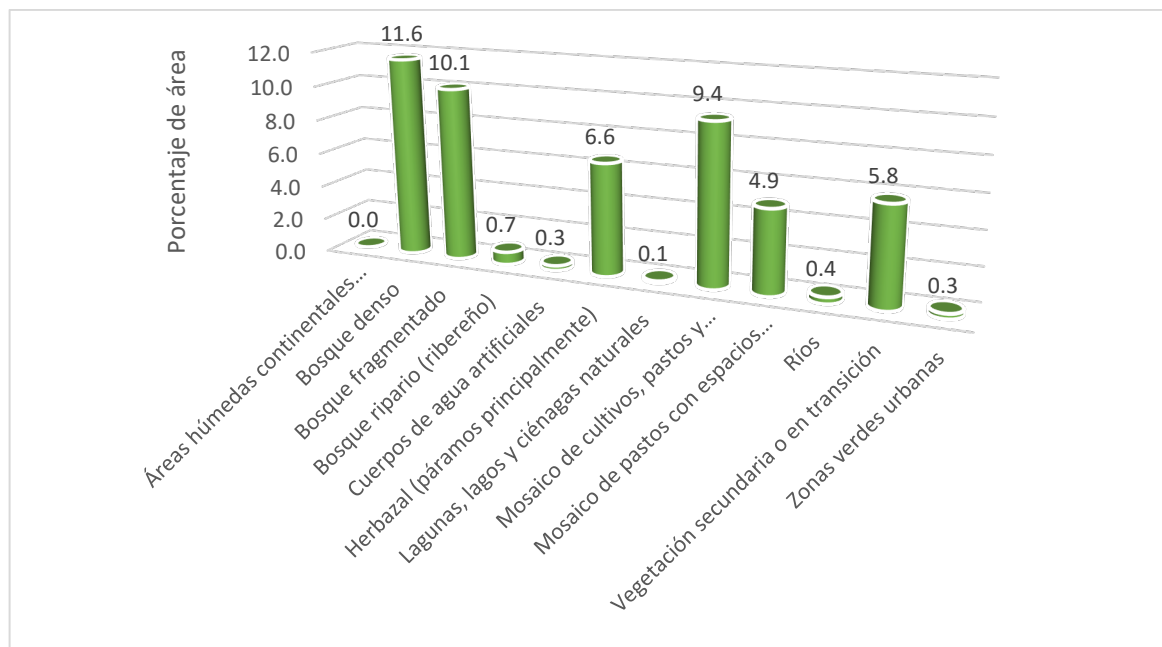
Figura 19. Estructura ecológica de primer nivel: coberturas de la tierra con capacidad mediana, alta y muy alta para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, las coberturas con menor área son las relacionadas con superficies de agua y áreas húmedas continentales (*i. e.*, ríos, cuerpos de agua artificiales, lagunas, lagos y ciénagas naturales, y humedales). Estas ocupan el 0,8 del área de la estructura ecológica del primer nivel (Figura 20). Aunque también representan un porcentaje mínimo del sistema socioecológico, es importante resaltar la presencia de las zonas verdes urbanas dentro de este nivel de la estructura ecológica, que cuentan con 23 km² (0,3%) del área total (Figura 20).

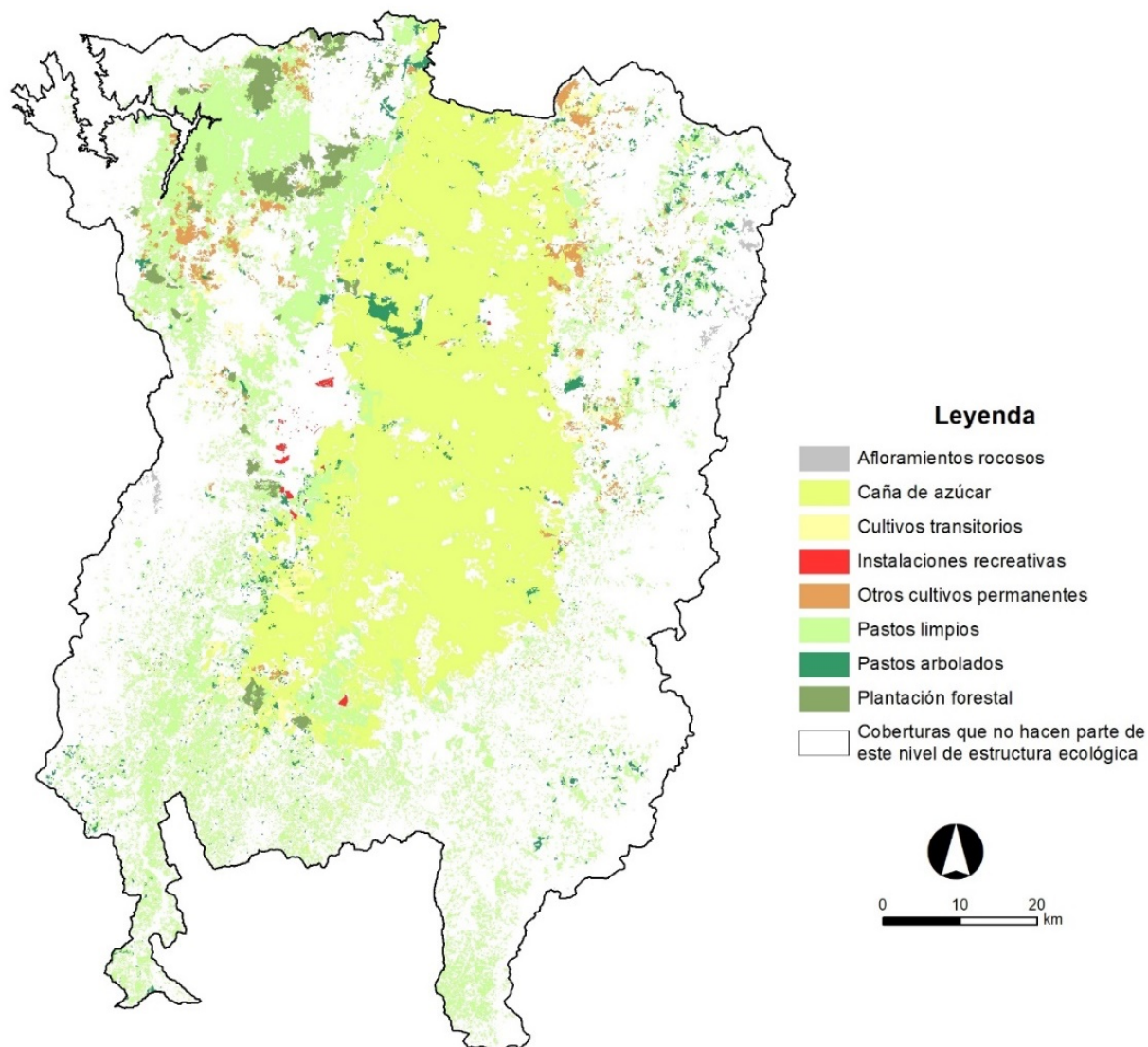
Figura 20. Área de coberturas de la tierra de la estructura ecológica del primer nivel



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la estructura ecológica de segundo nivel (*i. e.*, coberturas ubicadas en las categorías muy baja y baja en cuanto a su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos), la Figura 21 representa las coberturas que la componen. Claramente, resaltan los cultivos de la caña de azúcar en el centro del sistema socioecológico y los pastos limpios en los extremos noroccidental y sur. A estas coberturas le siguen las plantaciones forestales y los pastos arbolados (Figura 21).

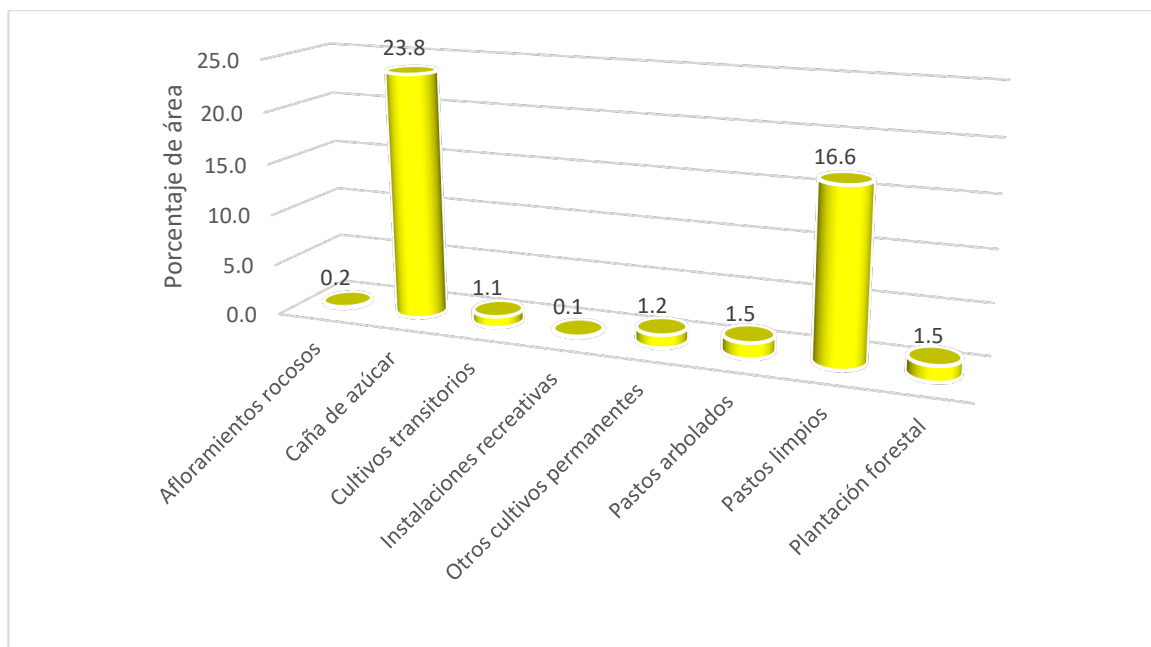
Figura 21. Estructura ecológica de segundo nivel: coberturas de la tierra con capacidad baja y muy baja para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico



Fuente: Elaboración propia

En esta misma línea, la Figura 22 describe la distribución del porcentaje de área correspondiente a cada una de las coberturas. Este nivel abarca 3756 km² del sistema socioecológico (*i. e.*, el 45,9% del área).

Figura 22. Área de coberturas de la tierra de la estructura ecológica de segundo nivel



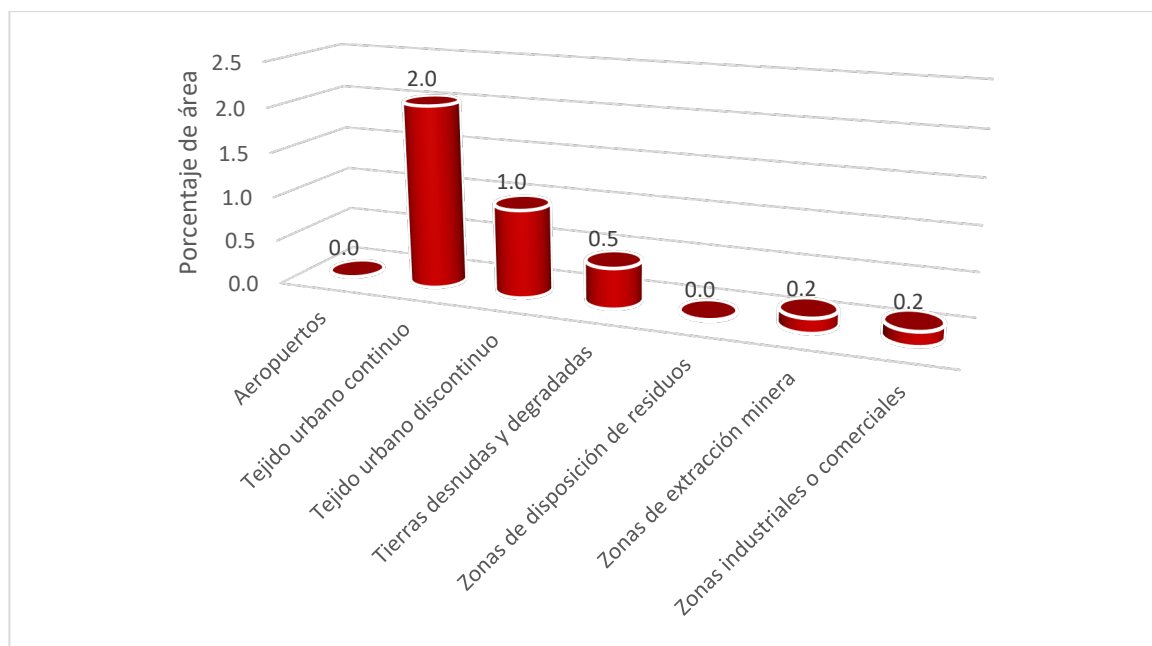
Fuente: Elaboración propia

Algo que llama la atención es que el 40,4% del área del sistema socioecológico que se ubica dentro de este nivel de la estructura ecológica se encuentra ocupado por las coberturas de caña de azúcar y los pastos limpios, con 1942 km² (23,8%) y 1359 km² (16,6%), respectivamente (Figura 22). Los afloramientos rocosos y las instalaciones recreativas solo ocupan el 0,3% del área, y el restante 5,3% se distribuye entre cultivos transitorios y permanentes, pastos arbolados y plantaciones forestales (Figura 22).

Finalmente, la Figura 23 presenta las coberturas de la tierra que no hacen parte de la estructura ecológica al ser demandantes de servicios ecosistémicos en lugar de proveedoras (*i. e.*, capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos menor o igual a 3,5). Estas coberturas ocupan el 311 km² (3,8%) del área total del sistema socioecológico. Como era de esperarse, los tejidos urbanos continuos y discontinuos sobresalen por ser los que ocupan la mayor cantidad de área: 2% (167 km²) y 1% (84 km²), respectivamente (Figura 23). Les sigue las tierras desnudas y degradadas con el 0,5% (36 km²) del total del área del sistema

socioecológico. Las demás coberturas ocupan áreas por debajo del 0,2% (28 km² restantes) (Figura 23).

Figura 23. Área de coberturas de la tierra que no hacen parte de la estructura ecológica



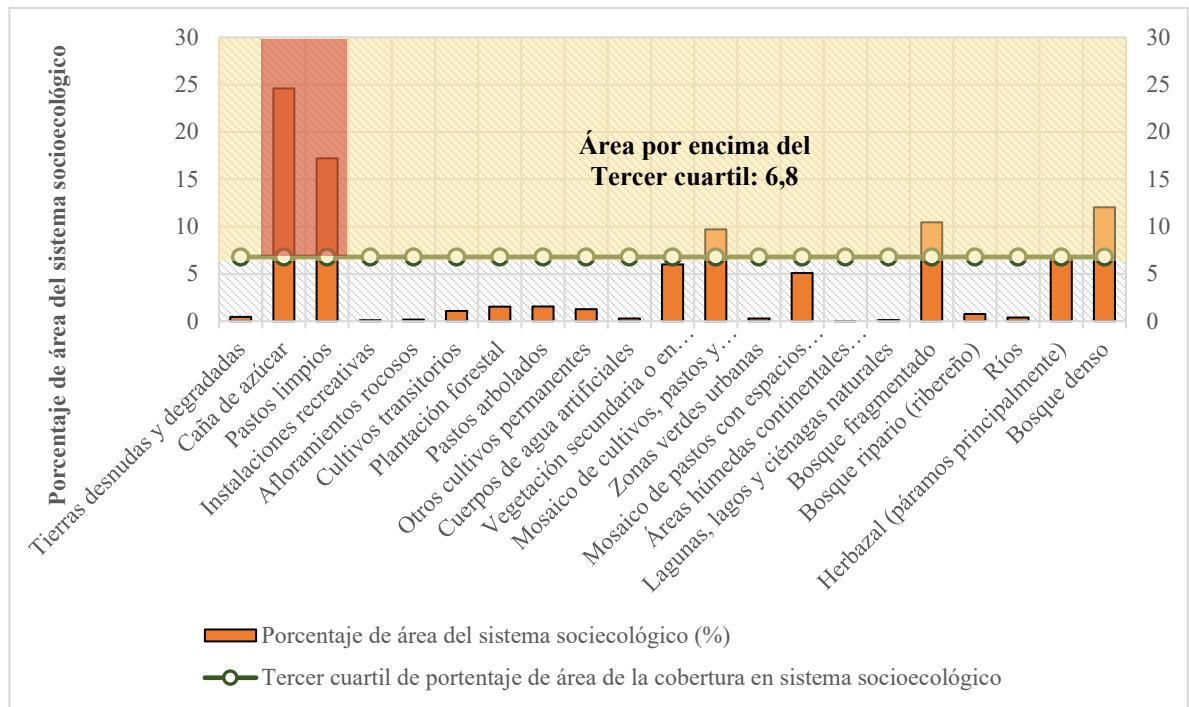
Fuente: Elaboración propia

4.3. Simulación de alternativas de organización espacial

Las coberturas que cumplieron con los dos criterios establecidos en la metodología para ser tenidas en cuenta en el ejercicio de simulación de alternativas de organización espacial fueron la caña de azúcar y los pastos limpios, puesto que fueron las coberturas que más destacaron tras la aplicación de los criterios —*i. e.*, ubicarse por encima del tercer cuartil de las coberturas con mayor área en el sistema socioecológico (Figura 24) y por debajo del primer cuartil de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos (Figura 25)—. Aunque se evidencia que hay otras coberturas de la tierra que cumplen con uno y otro de los criterios aplicados, es claro que la caña de azúcar y los pastos limpios fueron las únicas que cumplieron los dos criterios. El criterio de ubicarse por encima del tercer cuartil de porcentaje de área ocupada también lo cumplieron las coberturas de vegetación secundaria y en

transición, bosque fragmentado y bosque denso (Figura 24), mientras que las coberturas que cumplieron el criterio de capacidad total fueron tierras desnudas y degradadas, instalaciones recreativas y afloramientos rocosos (Figura 25).

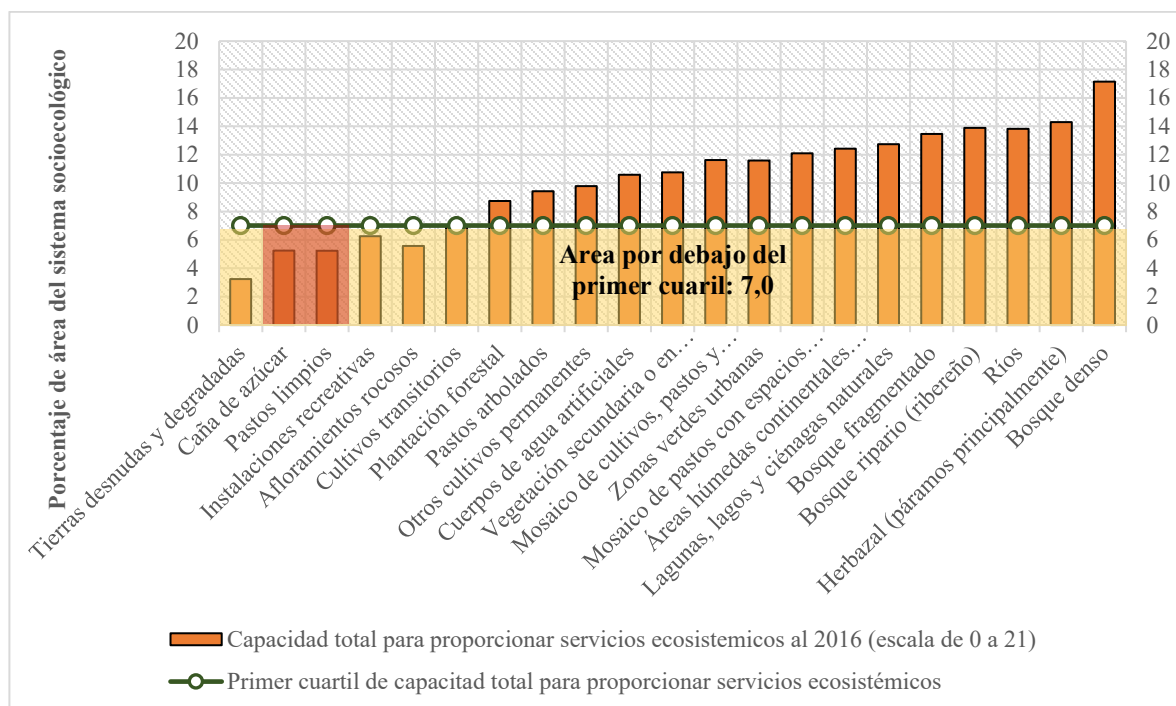
Figura 24. Coberturas seleccionadas tras la aplicación del criterio de ubicarse por encima de tercer cuartil de porcentaje de área en el sistema socioecológico



Nota: El área en amarillo representa los valores por encima del tercer cuartil, en este caso 6,8. El área en rojo dentro del área amarilla resalta las coberturas de la tierra que cumplen con los criterios de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos y área física ocupadas (*i. e.*, caña de azúcar y pastos limpios).

Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Coberturas seleccionadas tras la aplicación del criterio de ubicarse por debajo del primer cuartil de capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico



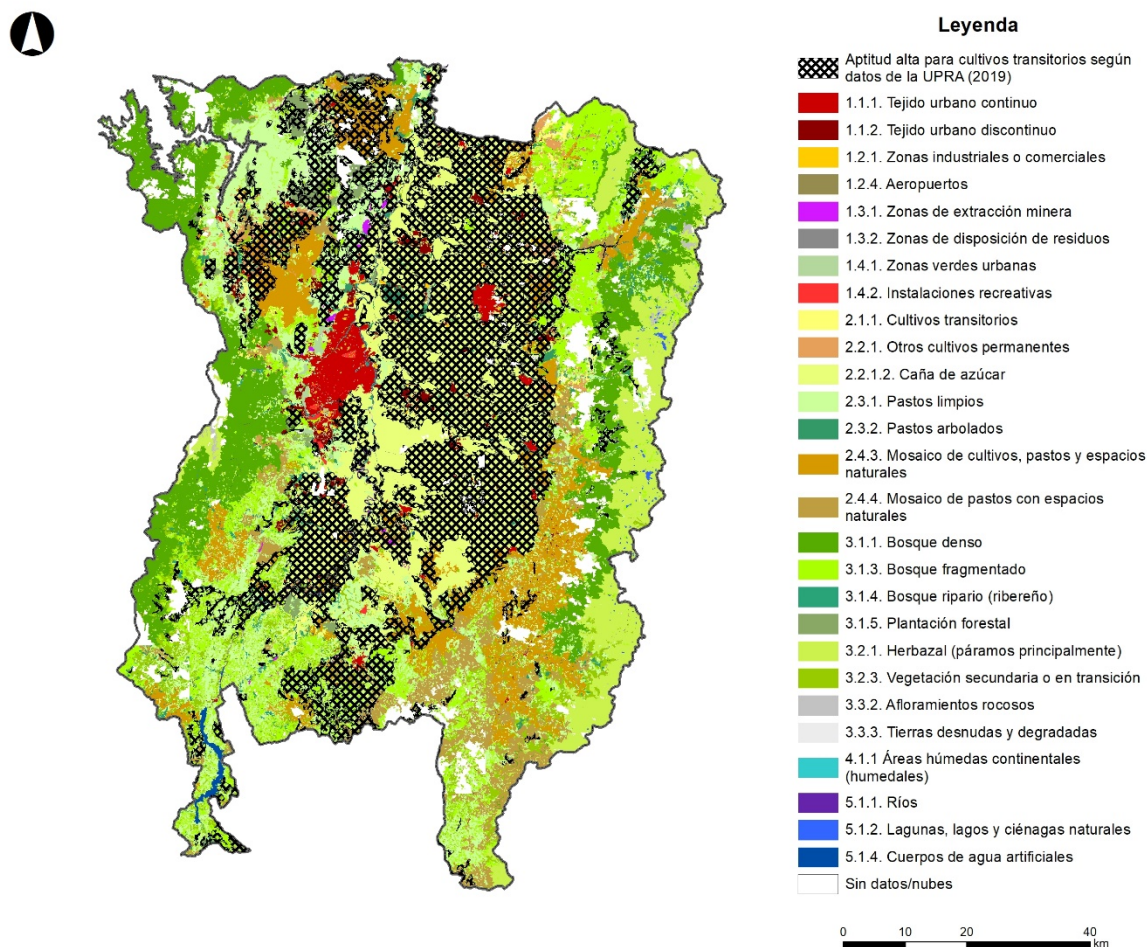
Nota: El área amarilla representa los valores por debajo del primer cuartil, en este casi 7,0. El área en rojo dentro del área amarilla resalta las coberturas de la tierra que cumplen con los criterios de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos y área física ocupadas (*i. e.*, caña de azúcar y pastos limpios).

Fuente: Elaboración propia

Es necesario tener en cuenta que la simulación consistió en reemplazar áreas ocupadas por estas dos coberturas (caña de azúcar y pastos limpios) en el mapa resultado de la segunda fase de la tesis por aquellas categorizadas con aptitud alta para cultivos transitorios y permanentes según la UPRA —Figura 26 y Figura 27, respectivamente— y posteriormente recalcular la capacidad total parar proporcionar servicios ecosistémicos.

A partir de la información espacial de la UPRA (áreas con aptitud alta para cultivos transitorios y permanente) se encontró que 2488 km² del área del sistema socioecológico —correspondientes al 30,4%— tienen aptitud alta para cultivos transitorios; el 56,9% de esa área está ocupada por caña de azúcar, mientras que el 12,8% está destinado a pastos limpios (Figura 28).

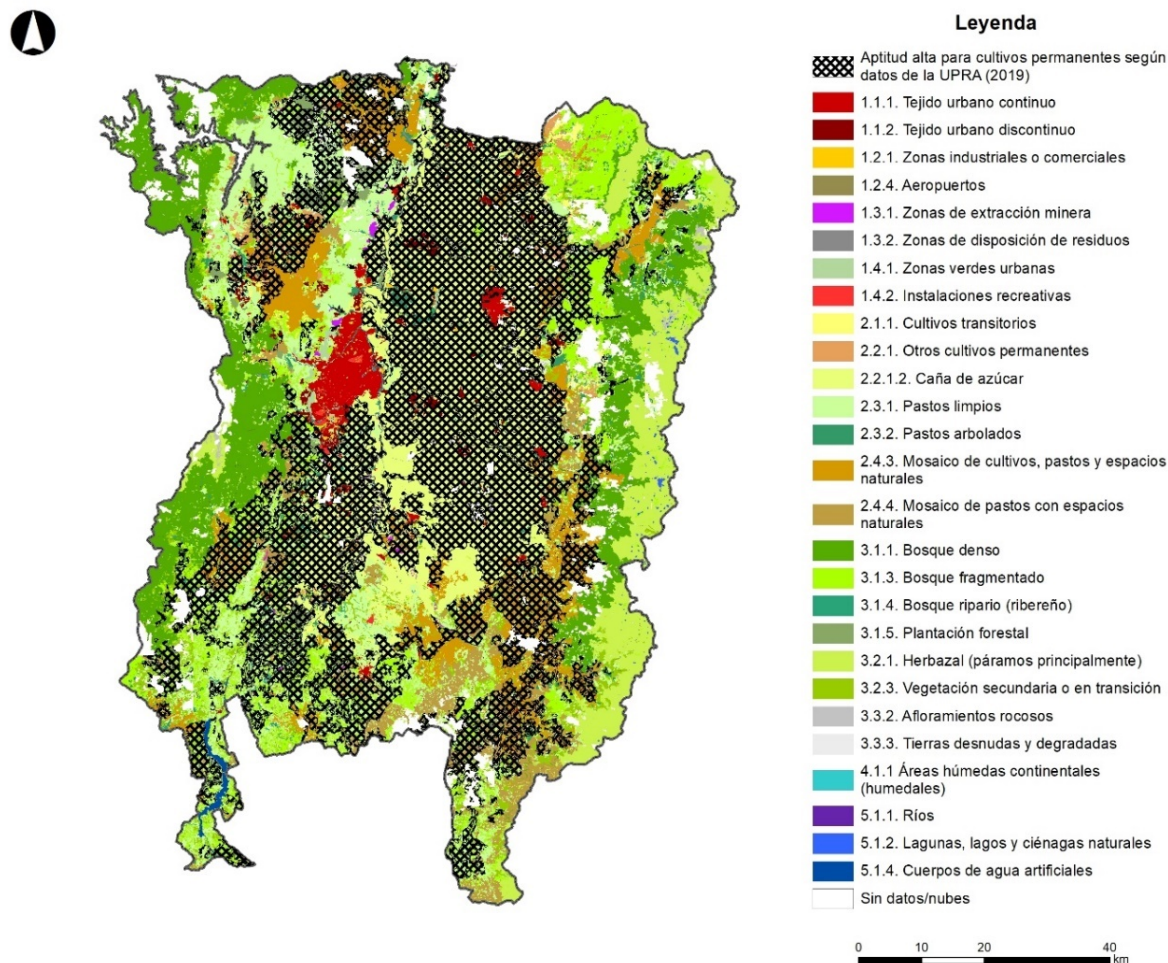
Figura 26. Aptitud alta para cultivos transitorios vs. mapa de coberturas de la tierra



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la investigación y la UPRA (2019)

En cuanto a los cultivos permanentes, 3372 km² tienen aptitud alta en el área del sistema socioecológico. En este caso, el 46,4% del área está ocupada por cultivos de caña de azúcar, mientras que el 14,3% está dedicado a pastos limpios (Figura 29). Al observar las demás coberturas, se identifica un patrón similar al presentado por los cultivos transitorios, solo que el área apta es mayor y corresponde a mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con 11,5% del área, a bosque fragmentando (7,1%), y a vegetación secundaria o en transición (5,6%). La siguiente cobertura en orden descendente es el mosaico de pastos con áreas naturales, con el 4% de su área apta. Las demás coberturas se encuentran por debajo de ese valor porcentual (Figura 29).

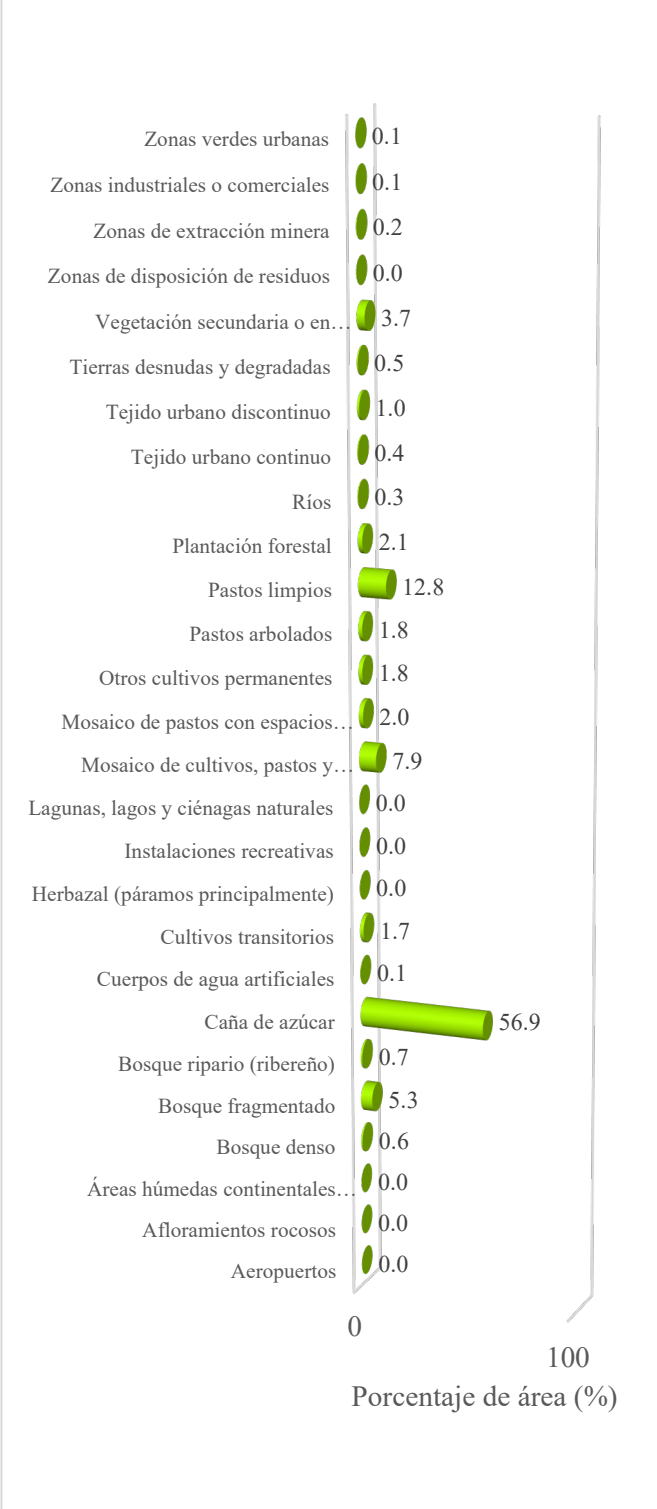
Figura 27. Aptitud alta para cultivos permanentes vs. mapa de coberturas de la tierra



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la investigación y UPRA (2019)

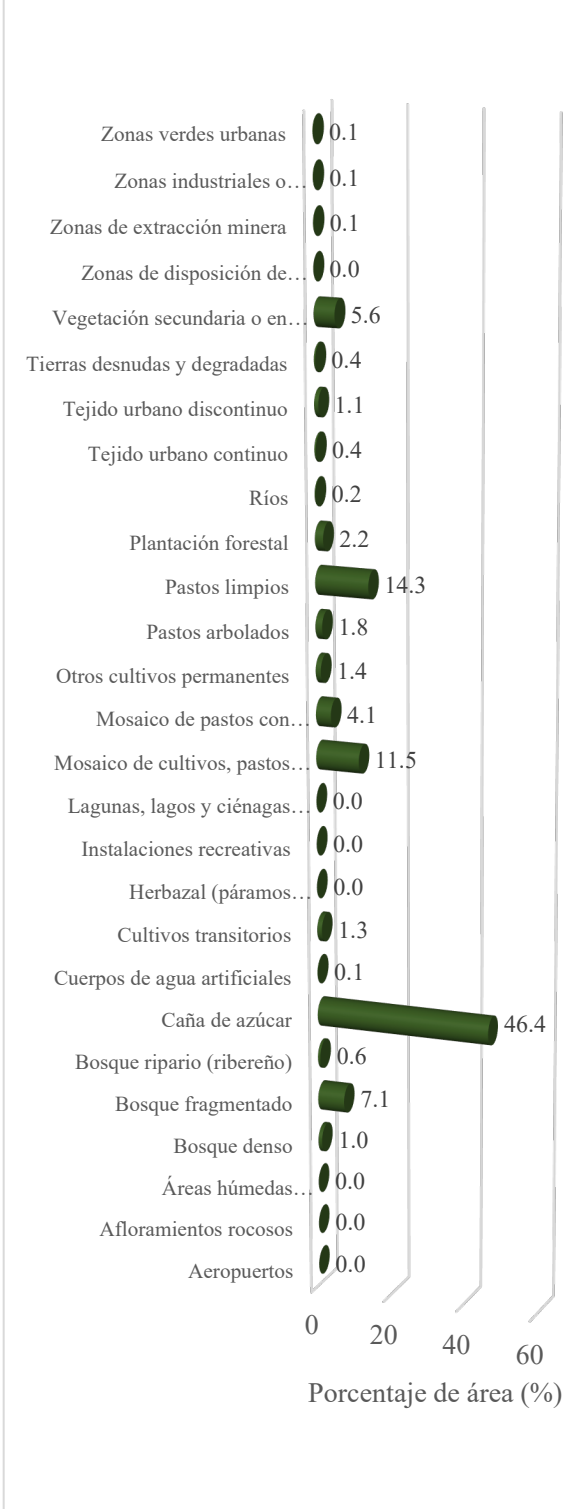
Identificar las áreas aptas para cultivos transitorios y permanentes según la UPRA y compararlas con el mapa de coberturas de la tierra obtenido en la segunda fase de la presente investigación permitió realizar el ejercicio de simulación de alternativas de organización espacial y conocer el potencial de aumento en la provisión servicios ecosistémicos para las áreas analizadas y, en consecuencia, para el sistema socioecológico. A fin de obtener los valores de la simulación, fue necesario restar el área de los cultivos transitorios y permanentes de la UPRA que coincidió con el área en cultivos de caña de azúcar y pastos limpios del mapa de coberturas de la tierra presentado en al inicio de este Capítulo.

Figura 28. Porcentaje de área apta para cultivos transitorios coincidiendo con los diferentes tipos de cobertura de la tierra en el sistema socioecológico



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Porcentaje de área apta para cultivos permanentes coincidiendo con los diferentes tipos de cobertura de la tierra en el sistema socioecológico



Fuente: Elaboración propia

Esto se puede observar en la columna «Área de cambio (km²)» de las Tabla 16 y Tabla 17, la cual resalta el área que se restó del cultivo de caña de azúcar y pastos limpios —identificado con el signo menos (-) en color rojo— y el que se adicionó a los cultivos permanentes (Tabla 16) y transitorios (Tabla 17) —identificado con el signo más (+) de color verde—. Así, como se indicó en la metodología, los valores de cambio en la contribución porcentual de la columna, *i. e.*, «Indicador de cambio en la contribución porcentual (%)» surgió de multiplicar los valores de la columna «Capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos» por los valores de la columna «Substracción y adición (km²)». Se entiende entonces que la columna «Indicador de contribución porcentual (%)», la cual representa la contribución de las coberturas antes de la simulación, es el resultado de multiplicar las columnas «Área de la cobertura en el sistema socioecológico (km²)» por «Capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos».

En ese sentido y desde la escala del sistema socioecológico, se observó un aumento en la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos de 12,1% para cultivos permanentes. Esto fue consecuencia de la disminución de la cobertura de la caña de azúcar de 13,2% a 2,6% y de pastos limpios de 9,2% a 6,0%. Por otra parte, el aumento en la contribución de otros cultivos permanentes es de 25,9% (pasando de 1,3% a 27,2%) (Tabla 16).

En cuanto a los cultivos transitorios, el aumento fue del 4% (Tabla 17). En este caso, el porcentaje de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos de la caña de azúcar pasó de 13,2% a 3,6% y el de pastos limpios de 9,2% a 7,1%. Por otra parte, el aumento en la contribución de servicios ecosistémicos de los cultivos transitorios fue de 15,7% (pasando de 0,8% a 16,5%) (Tabla 17). Los demás cultivos no presentaron cambios, debido a que el ejercicio de organización espacial se realizó únicamente con base en la información sobre cultivos transitorios y permanentes disponible en la UPRA (2019).

Tabla 16. Capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos por cobertura de la tierra en el sistema socioecológico. Comparación de las coberturas de «caña de azúcar» y «pastos limpios» frente a otros «cultivos permanentes»

Coberturas	Área de la cobertura en el sistema socioecológico (km ²)	Área de cambio (km ²)	Substracción y adición (km ²)	Capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos	Indicador de contribución (área cobertura * capacidad total)	Indicador de contribución porcentual (%)	Indicador de cambio en la contribución porcentual (%)
Tierras desnudas y degradadas	37		37	3,2	119	0,2	0,2
Pastos limpios	1.359	- 481	878	5,2	7.116	9,2	6,0
Caña de azúcar	1.943	- 1.567	376	5,2	10.181	13,2	2,6
Afloramientos rocosos	14		14	5,6	76	0,1	0,1
Instalaciones recreativas	9		9	6,3	55	0,1	0,1
Cultivos transitorios	86		86	7,0	604	0,8	0,8
Plantación forestal	122		122	8,7	1.069	1,4	1,4
Pastos arbolados	123		123	9,4	1.156	1,5	1,5
Otros cultivos permanentes	101	+ 2.048	2.149	9,8	984	1,3	27,2
Cuerpos de agua artificiales	22		22	10,6	238	0,3	0,3
Vegetación secundaria o en transición	474		474	10,8	5.096	6,6	6,6
Zonas verdes urbanas	24		24	11,6	274	0,4	0,4
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	767		767	11,6	8.913	11,5	11,5
Mosaico de pastos con espacios naturales	402		402	12,1	4.857	6,3	6,3
Áreas húmedas continentales (humedales)	1		1	12,4	18	0,0	0,0
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	10		10	12,7	123	0,2	0,2
Bosque fragmentado	825		825	13,5	11.099	14,4	14,4
Ríos	31		31	13,8	426	0,6	0,6
Bosque ripario (ribereño)	60		60	13,9	830	1,1	1,1
Herbazal (páramos principalmente)	536		536	14,3	7.667	9,9	9,9
Bosque denso	950		950	17,1	16.289	21,1	21,1
Total	7.894		7.894		77.190,9	100,0	112,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos por cobertura de la tierra en el sistema socioecológico. Comparación de las coberturas de «caña de azúcar» y «pastos limpios» frente a otros «cultivos transitorios»

Coberturas	Área de la cobertura en el sistema socioecológico (km ²)	Área de cambio (km ²)	Substracción y adición (km ²)	Capacidad total para proporcionar servicios ecosistémicos	Indicador de contribución (área cobertura * capacidad total)	Indicador de contribución porcentual (%)	Indicador de cambio en la contribución porcentual (%)
Tierras desnudas y degradadas	37		37	3,2	119	0,2	0,2
Pastos limpios	1.359	- 319	1.040	5,2	7.116	9,2	7,1
Caña de azúcar	1.943	- 1.416	527	5,2	10.181	13,2	3,6
Afloramientos rocosos	14		14	5,6	76	0,1	0,1
Instalaciones recreativas	9		9	6,3	55	0,1	0,1
Cultivos transitorios	86	+ 1.735	1.821	7,0	604	0,8	16,5
Plantación forestal	122		122	8,7	1.069	1,4	1,4
Pastos arbolados	123		123	9,4	1.156	1,5	1,5
Otros cultivos permanentes	101		101	9,8	984	1,3	1,3
Cuerpos de agua artificiales	22		22	10,6	238	0,3	0,3
Vegetación secundaria o en transición	474		474	10,8	5.096	6,6	6,6
Zonas verdes urbanas	24		24	11,6	274	0,4	0,4
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	767		767	11,6	8.913	11,5	11,5
Mosaico de pastos con espacios naturales	402		402	12,1	4.857	6,3	6,3
Áreas húmedas continentales (humedales)	1		1	12,4	18	0,0	0,0
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	10		10	12,7	123	0,2	0,2
Bosque fragmentado	825		825	13,5	11.099	14,4	14,4
Ríos	31		31	13,8	426	0,6	0,6
Bosque ripario (ribereño)	60		60	13,9	830	1,1	1,1
Herbazal (páramos principalmente)	536		536	14,3	7.667	9,9	9,9
Bosque denso	950		950	17,1	16.289	21,1	21,1
Total	7.894		7.894		77.191	100,0	104,0

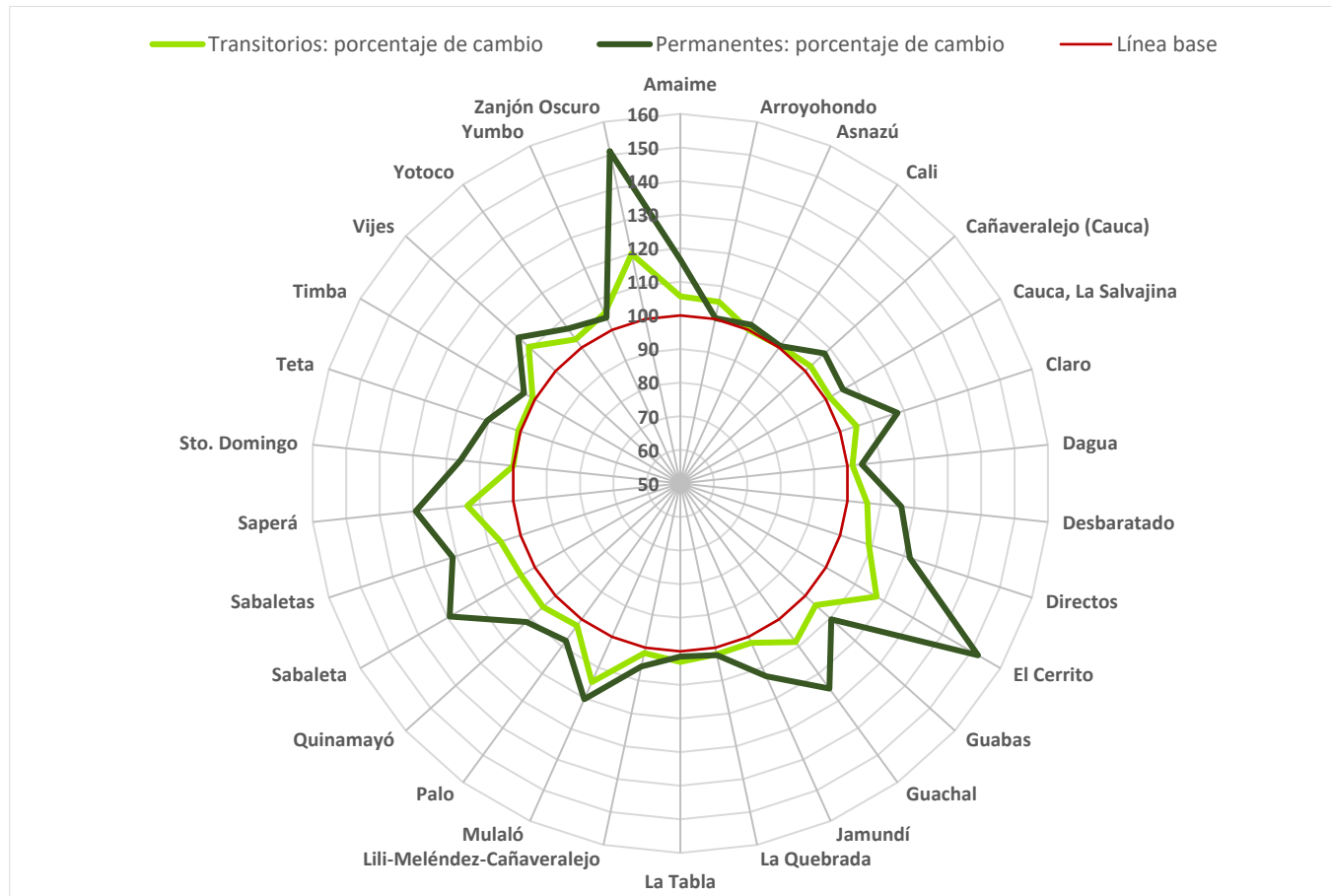
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, con el propósito de identificar las cuencas hidrográficas que tendrían un mayor aumento en su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos como resultado de una mayor área de cultivos transitorios y permanentes (áreas actualmente ocupadas por cultivos de caña de azúcar y pastos limpios), se realizó un análisis comparativo a partir de esa escala de análisis; es decir, las treinta cuencas hidrográficas que componen el sistema socioecológico. De esa manera, se puede obtener una mayor comprensión de cuáles serían las cuencas hidrográficas a priorizar si, a mediano o largo plazo, se materializaran los resultados de la presente investigación.

La Figura 30 describe este escenario. En ella se puede observar claramente que la cobertura de cultivos permanentes (línea de color verde) presenta cambios considerablemente superiores en la provisión de servicios ecosistémicos en un gran número de cuencas hidrográficas respecto a los cultivos transitorios, especialmente en las cuencas de Zanjón Oscuro y El Cerrito —en el departamento del Valle del Cauca— y Sabaleta y Saperá —en el Cauca—.

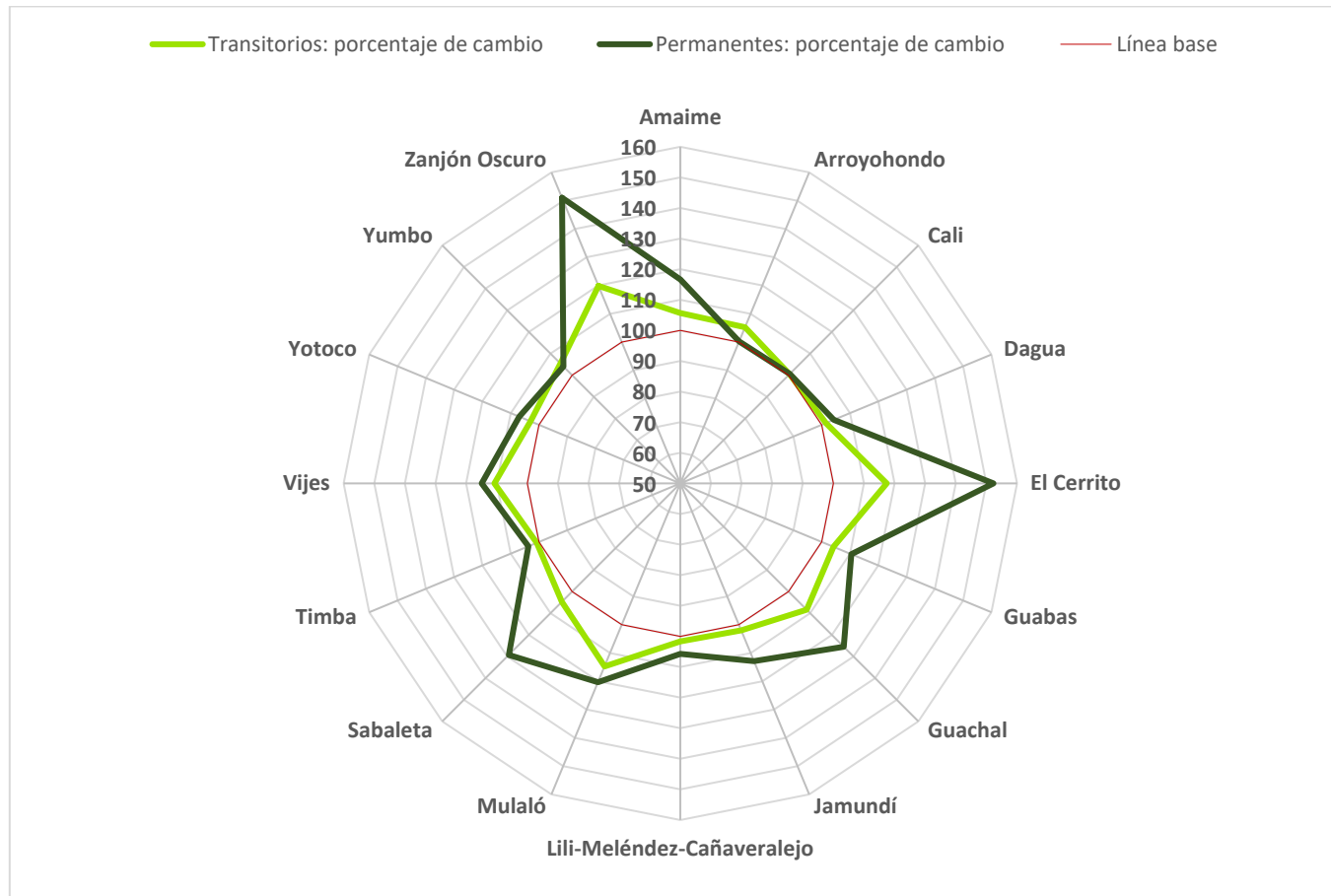
En lo relativo al Valle del Cauca, las cuencas que superan el 50% de aumento en su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos para cultivos permanentes son El Cerrito (52%) y Zanjón Oscuro (51%) (Figura 31). Por su parte, las cuencas de Sabaleta, Guachal y Mulaló presentan un aumento mayor a 20% y menor a 29% en la provisión de servicios ecosistémicos. Las cuencas con menor cambio son Arroyohondo (0,2) y Cali (0,6). No obstante, las demás tienen cambios por encima del 3,7% (Figura 31). En cuanto a los cultivos transitorios, El Cerrito y Zanjón Oscuro son de nuevo las cuencas con mayor porcentaje de cambio, 17% y 19%, respectivamente. A estas cuencas les siguen Mulaló y Vijes con cambios entre el 10% y el 15%. Como se puede observar, en términos generales, para este tipo de cultivos el aumento porcentual es menor que para los permanentes. Las cuencas con cambios más bajos son Cali (0,5%) y Timba (0,7%) (Figura 31).

Figura 30. Porcentaje de cambio estimado en la provisión de servicios ecosistémicos tras la simulación de áreas con cultivos permanentes y transitorios en el sistema socioecológico



Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Porcentaje de cambio estimado en la provisión de servicios ecosistémicos tras la simulación de áreas con cultivos permanentes y transitorios en las cuencas del Valle del Cauca

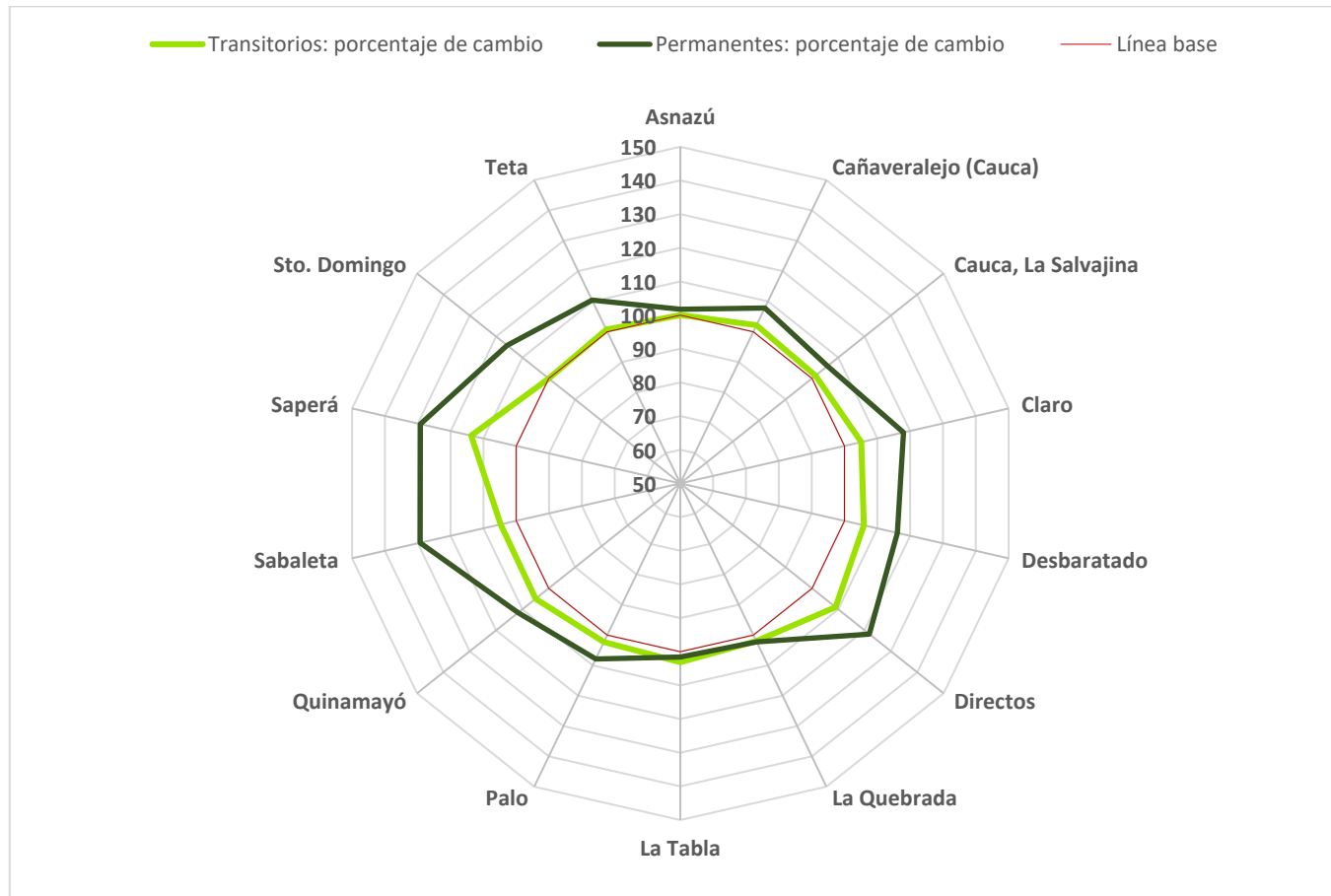


Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, las cuencas hidrográficas del departamento del Cauca reflejan un patrón similar a las del Valle: los cultivos permanentes presentan mayor porcentaje de cambio que los transitorios en la provisión de servicios ecosistémicos, en especial las cuencas de Sabaleta y Saperá, ambas con aumentos del 29%, y Directos con 21% (Figura 32). A estas les siguen las cuencas de los ríos Claro y Desbaratado y Santo Domingo, con aumentos entre el 15% y el 17% (Figura 32). Las cuencas con porcentajes de cambio más bajos son La Tabla y la Quebrada, por debajo del 2% (Figura 32). Por el lado de los cultivos transitorios, solo las cuencas de Saperá y Directos superan el 10% de cambio, y Claro y Desbaratado el 5%. Las cuencas con menor porcentaje de cambio son Aznazú (0,03%) y Teta (0,69%). La cuenca de Santo Domingo no presenta cambio (Figura 32).

En términos generales, la diferencia entre el aumento en el porcentaje de la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos para cultivos transitorios y permanentes obedece no solo a la cantidad de área que cambió, sino también a la calificación final que obtuvieron estas coberturas de la tierra tras el procesamiento de las tres matrices (*i. e.*, balance, multifuncionalidad y singularidad). En el caso de cultivos transitorios esta valoración es de 7,0, y de 9,8 los cultivos permanentes. Los mapas que presentan las áreas que pueden ser ocupadas por cultivos permanentes y transitorios a nivel de cuenca hidrográfica se encuentran en los Anexos 13 y 14, respectivamente. Allí se puede observar el área en kilómetros cuadrados apta para estos dos tipos de cultivos.

Figura 32. Porcentaje de cambio estimado en la provisión de servicios ecosistémicos tras la simulación de áreas con cultivos permanentes y transitorios en el departamento del Cauca



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En este Capítulo se presenta inicialmente la discusión de los resultados obtenidos en la investigación. La primera parte revisa las implicaciones y potencialidades de la definición de áreas metropolitanas a partir de la combinación de criterios urbano-funcionales y biofísicos; la segunda discute la importancia de los ejercicios de valoración de servicios ecosistémicos para la planificación ambiental y la toma decisiones de Colombia; y la tercera discute las posibilidades que ofrecen los ejercicios de simulación de alternativas de organización espacial de coberturas de la tierra para proponer un escenario que refleje el aumento en la capacidad total de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico. Finalmente, la sección de conclusiones destaca los aportes de la presente tesis al campo de conocimiento de las ciencias ambientales en el contexto colombiano.

5.1. La definición de áreas metropolitanas: ¿cómo hacerlo desde la perspectiva de la sustentabilidad ecológica?

Esta investigación ha mostrado que es posible delimitar áreas metropolitanas a partir de criterios de distinta naturaleza. En este caso —al considerar perspectiva biofísica no solo desde el punto de vista descriptivo sino como determinador de la delimitación del sistema socioecológico—, se superó la perspectiva tradicional urbano-funcional. Por tanto, el aspecto distintivo de esta tesis fue armonizar ambas perspectivas, hecho que propició el incluir la totalidad de las cuencas hidrográficas en las que se establece la estructura construida vinculada al proceso de metropolización de Cali. De esta manera, la presente tesis se convierte en un complemento a lo planteado por Martínez-Toro & Patiño-Gómez (2015) en su trabajo sobre la propuesta de conformación del área metropolitana del sur del departamento del Valle del Cauca y norte del departamento del Cauca, quienes definieron los límites metropolitanos únicamente a partir de criterios urbano-funcionales.

Además, la visión de sistema socioecológico aplicada en esta investigación ofreció mayor claridad para identificar los diferentes elementos que componen la realidad metropolitana.

En otras palabras, la dimensión ecológica o ambiental —como es entendida en la Ley de Áreas Metropolitanas de Colombia³³ (Congreso de Colombia, 2013)— dejó de ser un hecho metropolitano a caracterizar dentro de unos parámetros establecidos a partir de los límites político-administrativos municipales —lo cual reduce todo a objetos desconectados (Boff, 2017) y concibe la realidad de manera fragmentada— para convertirse en uno de los ejes estructurantes del sistema socioecológico metropolitano.

Un buen ejemplo de que la planificación y gestión ambientales tienen más sentido cuando se desarrollan a partir de unidades espaciales biofísicas, lo manifiesta el objetivo de la creación de la CVC en 1954: promover el desarrollo integral para la cuenca alta del río Cauca —independientemente de los límites político-administrativos municipales y departamentales— y no solo para el departamento del Valle del Cauca como es en la actualidad (Sinisterra-O’Byrne, 2013). Como se explicó en la introducción, esto cambió a partir de la reglamentación de la Ley 99 de 1993 que creó el Sistema Nacional Ambiental de Colombia (SINA) y estableció corporaciones autónomas regionales para todo el país, muchas de ellas con jurisdicciones establecidas a partir de Departamentos y otras a partir de ecosistemas estratégicos.

En este sentido, avanzar hacia un mundo ecológicamente sustentable (Leff, 2006; van der Hammen & Andrade, 2003; Villalba-Eguiluz et al., 2018) significa, entre otras cosas, derribar las barreras conceptuales sobre las que los gobiernos departamentales y municipales establecen hoy en día las áreas metropolitanas en Colombia. Incluir las cuencas hidrográficas como elementos centrales para la definición de áreas metropolitanas responde a la visión de complejidad cuya aplicación resulta urgente. Un ejemplo exitoso de planificación a escala

³³ En su artículo 2º, esta Ley indica que «Las Áreas Metropolitanas son entidades administrativas de derecho público, formadas por un conjunto de dos o más municipios integrados alrededor de un municipio núcleo, vinculados entre sí por dinámicas e interrelaciones territoriales, ambientales, económicas, sociales, demográficas, culturales y tecnológicas que para la programación y coordinación de su desarrollo sustentable, desarrollo humano, ordenamiento territorial y racional prestación de servicios públicos requieren una administración coordinada» (Congreso de Colombia, 2013, p. 1). Aunque se señalan los vínculos ambientales, estos no son determinantes a la hora de la delimitación de estas áreas. La división político-administrativa municipal toma precedencia.

supramunicipal es el de la provincia de Ontario, Canadá, donde las autoridades de conservación aplican seis principios fundacionales, a saber (i) jurisdicciones de cuencas hidrográficas, (ii) iniciativa local, (iii) asociación provincial-municipal, (iv) coordinación y cooperación, (v) un medio ambiente saludable necesario para una economía saludable y (vi) un enfoque integral (Mitchell et al., 2014; Shrubsole, 1996). Esto sirve como referencia para realizar la planificación y gestión ambientales conducentes a la sustentabilidad ecológica.

Uno de los resultados más sobresalientes de esta investigación es la identificación de un área metropolitana que supera no solamente límites municipales, sino también departamentales —algo que contempla la ley de áreas metropolitanas de Colombia pero que hasta el momento no ha sido puesto en práctica en la gestión pública (Congreso de Colombia, 2013)—. Esto obedece a que las relaciones urbano-funcionales y ecológicas observadas en el sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali» no se circunscriben al departamento del Valle del Cauca, sino que hay vínculos estrechos con áreas que corresponden a municipios del norte del departamento del Cauca, como Puerto Tejada, Villa Rica, Santander y Suárez (donde se ubica el embalse La Salvajina). Las implicaciones de esta realidad deben, necesariamente, ser consideradas en futuros esfuerzos por poner en funcionamiento, desde el punto de vista jurídico, una autoridad administrativa para el área metropolitana de Cali. Además, en este ejercicio de investigación se observó cómo una cuenca hidrográfica puede estar dividida entre más de un municipio (p. ej., la cuenca Guachal, que se encuentra bajo la jurisdicción de Candelaria, Florida y Pradera), razón por la cual la planificación y gestión ambientales pueden verse fácilmente desarticuladas si no se logra un nivel de interpretación con visión de complejidad y totalidad adecuado entre municipios.

Es evidente que la gestión y planificación ambientales se dificultan cuando los ecosistemas o cuencas hidrográficas son compartidas por distintas jurisdicciones políticas o administrativas. En este sentido, el desarrollo e implementación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS) en Colombia —«el instrumento de planificación, 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» (SIAC, 2020b, p. 1)— resulta

fundamental para una planificación y gestión ambientales más coherente. Este instrumento de planificación ambiental tiene sus raíces en el Decreto 1729 de 2002³⁴ (Presidencia de Colombia, 2002), el cual modernizó la normativa sobre la planificación de las cuencas hidrográficas en el país, y tomó mayor fuerza cuando, en 2012, se definió formalmente la figura de los POMCAS en el Decreto 1640 (Presidencia de Colombia, 2012). No obstante, al 2018, solo diecisiete cuencas hidrográficas contaban con un POMCAS aprobado en el país según el Decreto 1640 de 2012 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Ninguna de ellas se encuentra en los departamentos del Valle del Cauca o el Cauca³⁵.

Lo anterior demuestra que los POMCAS no han sido impulsado con la suficiente fuerza como para que tomen una posición determinante en la articulación de planes y acciones que conduzcan a un manejo más integral de las cuencas. Lo que se ha visto es que los Planes de Ordenamiento Territorial (POT)³⁶ reglamentados por la Ley 388 de 1997 (Congreso de Colombia, 1997), siendo los instrumentos con alcances para lograr la articulación entre municipios, tanto en el tema funcional como ambiental, no han sido aplicados de manera que posibilite el cumplimiento de este objetivo y, así, garantizar la planificación efectiva de los procesos de ocupación del suelo (Carrión-Barrero, 2008) y protección de los recursos naturales (Molina-Triana, 2014). Esto hace que el desarrollo y la aplicación de los POMCAS sean aún más urgentes para el país. El modelo de ocupación propuesto por un POT habla de una dimensión urbano-regional, la cual tiene como propósito articular las estructuras funcionales del municipio con las de los municipios vecinos y con las estructuras urbano-

³⁴ Sin embargo, el Decreto-Ley del cual se desprendieron las primeras disposiciones en materia de la ordenación de cuencas hidrográficas es el 2011 de 1974, Artículo 321 de la sección II: De las cuencas hidrográficas en ordenación (Presidencia de Colombia, 1974)

³⁵ No obstante, las corporaciones autónomas de ambos departamentos tienen publicada información sobre el POMCAS. Esto quiere decir que estos instrumentos fueron desarrollados bajo la normativa anterior del Decreto 1729 de 2002 o se encuentran en proceso de ajuste de acuerdo con lo reglamentado en el Decreto 1640 de 2012. Actualmente, se encuentran catorce POMCAS en el departamento del Cauca (<https://web2018.crc.gov.co/index.php/ambiental/planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrograficas>) y veinte en el Valle del Cauca (<https://www.cvc.gov.co/documentos/planes-y-programas/planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrografica>).

³⁶ En el contexto colombiano, los POT son «los instrumentos a través de los cuales los municipios, distritos, departamentos y áreas metropolitanas desarrollan sus competencias en materia de ordenamiento y ocupación del territorio, y planean su desarrollo en el largo plazo. Así, las entidades territoriales cuentan con estos planes como los principales instrumentos para administrar el ordenamiento y el desarrollo espacial de sus jurisdicciones». (DNP, 2016, p. 8)

funcionales de carácter departamental, pero no se menciona la continuidad espacial de los ecosistemas.

Este panorama puede indicar que los actores encargados de la reglamentación e implementación de los POMCAS, de acuerdo con las disposiciones del decreto más reciente, han encontrado grandes dificultades para la materialización de este instrumento de planificación que reviste tanta importancia para la protección y conservación de los ecosistemas. Han pasado nueve años desde el Decreto 1640 y, sin embargo, a abril de 2021, solo el 19% de las 399 cuencas que son objeto del plan de ordenación y manejo en Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018) cuentan con un POMCA aprobado. Por tanto, los resultados de la presente tesis acerca de las ventajas que ofrece analizar la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos desde la escala supramunicipal y bajo el concepto de sistema socioecológico, pueden ser un valioso incentivo para avanzar con mayor compromiso hacia la reglamentación de los POMCAS en el Valle del Cauca y el Cauca.

Por otro lado, en relación con iniciativas a escala departamental, es importante resaltar el trabajo realizado por la Gobernación del Valle del Cauca para la elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial Departamental (POTD), contratado con la Universidad de San Buenaventura —el primero de su clase en el país (Gobernación del Valle del Cauca & Universidad de San Buenaventura, 2014)—, en el cual se propuso una zonificación del Departamento a partir de un amplio número de «variables» (que en esta tesis fueron denominadas «criterios») urbano-funcionales o biofísicos para establecer los denominados «territorios urbano-rurales homogéneos del Valle del Cauca» (Gobernación del Valle del Cauca & Universidad de San Buenaventura, 2016) (Tabla 18). De esa manera, fue posible delimitar catorce territorios homogéneos para todo el departamento. No obstante, aunque dentro de las variables biofísicas se tuvieron en cuenta las cuencas hidrográficas, estas no fueron determinantes para la delimitación del territorio homogéneo llamado «influencia de la conurbación metropolitana» —el cual se encuentra contenido dentro del área del sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali»—. Según el citado estudio, el área del territorio homogéneo en mención es de 1930 km².

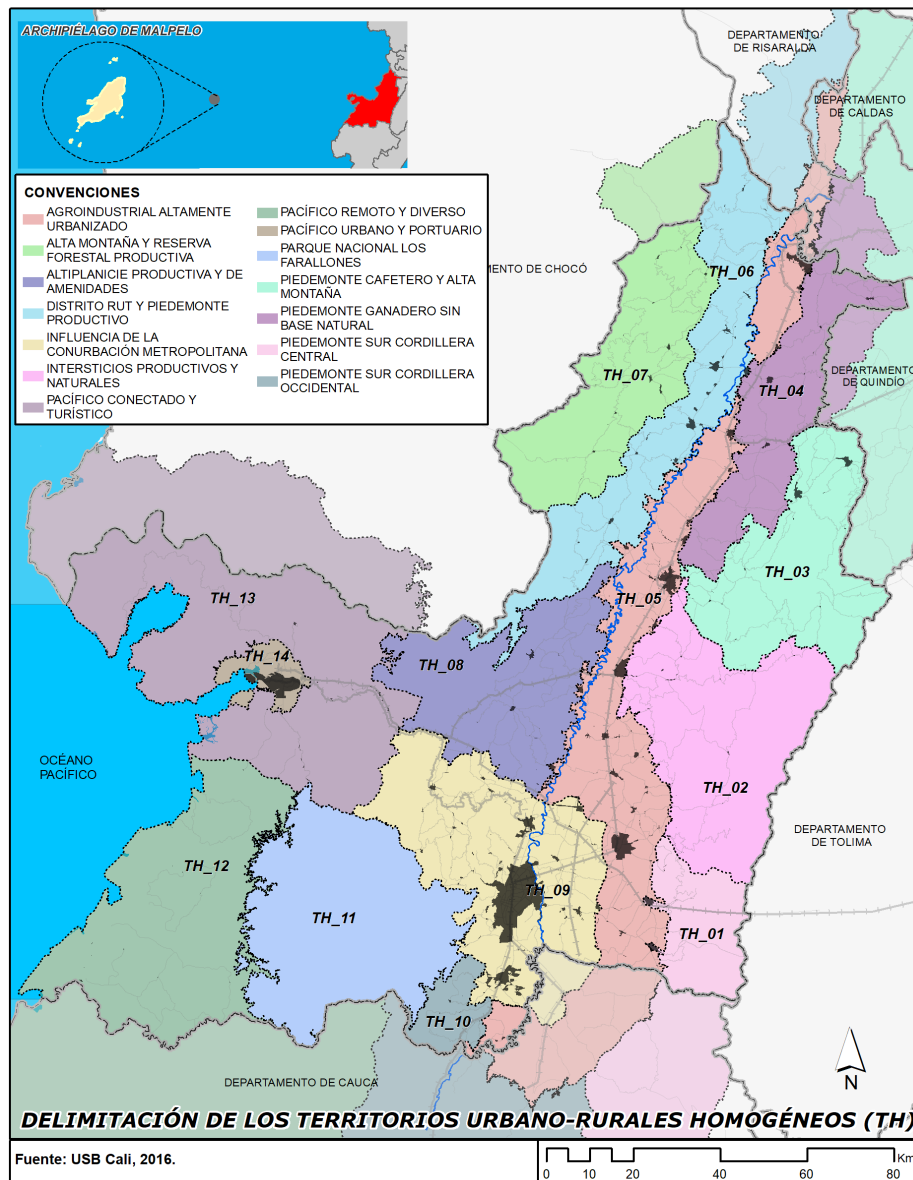
Tabla 18. Variables urbano-funcionales y biofísicas para la delimitación de los territorios urbano-rurales homogéneos del POTD

Variables denominadas urbano-funcionales	Variables denominadas biofísicas
Eje sistemas funcionales para la competitividad y el desarrollo social, en especial las variables relacionadas con movilidad y equipamientos	Eje base natural del modelo POTD: Áreas naturales protegidas, corredores de conectividad y zonas de manejo especial
Eje sistema de asentamientos para el reequilibrio territorial	Cuencas y áreas de drenaje, como unidades territoriales más definidas
Límites de territorios étnicos del Pacífico, como unidades administrativas	Piso térmico, pendiente y erosión: características biofísicas
Procesos de ocupación recientes: zonas industriales, asentamientos, parcelaciones y condominios, levantados	Coberturas de la tierra: cultivos representativos, pastos y bosques naturales, fragmentados y abiertos
Tamaño predial: rangos de tamaño predial que evidencian fragmentación o presencia de grandes predios	

Fuente: Elaboración propia a partir de Gobernación del Valle del Cauca & Universidad de San Buenaventura (2016)

Como se puede observar en la Tabla 18, el análisis realizado por la Gobernación del Valle del Cauca en lo relativo a los territorios homogéneos tiene puntos en común con esta tesis. Sin embargo, el número de variables que se analizaron es más amplio. Por un lado, las variables urbano-funcionales abarcan sistemas asociados con la competitividad, la movilidad, los equipamientos colectivos —los dos últimos también hacen parte del criterio urbano-funcional de esta investigación— y, adicionalmente, los límites de comunidades étnicas y procesos de ocupación habitacional e industrial. Por otra parte, las variables biofísicas, además de las cuencas hidrográficas —el segundo criterio de esta tesis— también consideraron las áreas naturales, las características climáticas y la fragmentación del suelo. Aunque los resultados de ambos ejercicios mantienen diferencias en cuanto a la delimitación del sistema socioecológico metropolitano o área influencia de la conurbación metropolitana, como lo denomina su estudio (Figura 33), esto puede sustentarse en que el ejercicio de los territorios homogéneos no mantuvo el área total de las cuencas hidrográficas como sí se hizo en la presente investigación.

Figura 33. Territorios urbano-rurales homogéneos del Valle del Cauca



Fuente: POTD del Valle del Cauca (Gobernación del Valle del Cauca & Universidad de San Buenaventura, 2016)

Comparar los resultados de esta tesis con los trabajos de Martínez-Toro & Patiño-Gómez, (2015) y Gobernación del Valle del Cauca & Universidad de San Buenaventura (2014), permite identificar diferencias y puntos de encuentro; algo en lo que debe profundizar en futuras investigaciones. Sin embargo, aquí se debe resaltar que la principal diferencia entre esta tesis y los trabajos antes mencionados es el enfoque epistemológico utilizado. El de esta

investigación prioriza las relaciones ecológicas por encima de las económicas, obteniendo como resultado un sistema socioecológico mucho más amplio en términos de área física y, por tanto, de coberturas de la tierra naturales y seminaturales con capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos. En cuanto a los puntos de encuentro, quizá el más importante es la visión de planificación supramunicipal transversal a los tres trabajos. Esta visión reconoce la realidad sistémica —no solo urbano-funcional sino ecológica— del área de influencia metropolitana y los departamentos del Valle del Cauca y el Cauca y, en consecuencia, la necesidad de materializar mecanismos de planificación que favorezcan la integración por encima del desarrollo nuclear.

5.2. De lo antropocéntrico a lo ecocéntrico para identificar la estructura ecológica

Definir la estructura ecológica a partir de niveles de capacidad para proveer servicios ecosistémicos responde al reconocimiento de que todas las coberturas de la tierra naturales y seminaturales —independientemente de si su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos es baja o alta— conforman la estructura ecológica del sistema socioecológico. Por tanto, en lugar de indicar que únicamente las coberturas con mayor capacidad hacen parte de la estructura, se optó por definir dos niveles de provisión (uno y dos), para tener en cuenta todas las coberturas con algún grado de capacidad, como se explicó en la metodología.

Al mismo tiempo, la estructura ecológica de segundo nivel permite plantear preguntas como: ¿por qué un área tan vasta de superficie del sistema socioecológico tiene baja capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos?; si los esfuerzos planetarios están en la búsqueda de la sustentabilidad ecológica, ¿un modelo basado en el monocultivo de la caña de azúcar y los pastos limpios de dedicación ganadera garantizarán el equilibrio del sistema socioecológico?; con base en los resultados de la simulación de alternativas de organización espacial y ante una situación de pandemia como la que se vive en la actualidad, ¿qué tipo de modelo de producción agropecuaria sería más conveniente para garantizar la alimentación de la población y conservar la salud de las coberturas de la tierra y, en consecuencia, de los

ecosistemas?; ¿cuáles son los beneficios asociados a la salud del suelo que un modelo basado en la diversificación y no en el monocultivo traería al sistema socioecológico?

Estas son algunas de las preguntas que se deben plantear, desde la academia a la sociedad en general, pues el cambio necesario para alcanzar la sustentabilidad ecológica no depende únicamente de los resultados de las investigaciones y el papel que juegan los tomadores de decisiones. El cambio depende de la consciencia que las personas adquieran para entender que es necesario transitar de un sistema social que ha convertido todo en mercancía y consumo, incluso la vida humana, a uno que valore la vida y la vida en comunidad. Más bien y en gran medida, el cambio depende de una sociedad bien educada en la libertad y comprometida con un verdadero bienestar colectivo, pues, en última instancia, de este dependen el bienestar individual y económico que actualmente tanto valoran los seres humanos.

Adicionalmente, es importante indicar que, si bien el concepto de «servicios ecosistémicos» tiene una fuerte base antropocéntrica (Camacho-Valdez & Ruiz-Luna, 2012; De Vreese et al., 2019; Tammi et al., 2017) —y esta tesis se basa en una visión ecocéntrica—, su implementación fue necesaria para realizar una investigación basada en un lenguaje común y ampliamente usado en los campos científico y de la planificación ambiental (Balvanera et al., 2012; Baró et al., 2016; Koschke et al., 2012). Pues, tal como lo indica Mebratu (1998, p. 516), «aunque el debate ético imperante se basa en la polarización de la supuesta tensión entre las posiciones antropocéntrica y ecocéntrica, en última instancia no se puede ser ecocéntrico sin ser antropocéntrico primero»; es decir, que la comprensión del estado de riesgo que el antropocentrismo conllevó, hace necesario proponer o volver a otras formas de interpretar el mundo, con las cuales se reduzcan o superen las crisis socioambientales. No obstante, a partir de este enfoque, fue posible establecer una línea base para medir la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico y, posteriormente, realizar el ejercicio de modelación espacial sobre la base de supuestos ecocéntricos, suponiendo que los usos de la tierra ya no fueran el monocultivo de la caña de azúcar, sino cultivos transitorios y permanentes que, aunque pueden sustentar un modelo de agronegocio, resultan ser menos dañinos, socioecológicamente hablando, que

la caña de azúcar. Esta simulación podría ir más allá de la simple y virtual suposición de qué pasaría con los servicios ecosistémicos y la estructura ecológica si en lugar de ciertas coberturas estuvieran otras. Sencillamente, como lo mostraron los cálculos, la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos sería mayor y la estructura ecológica cambiaría su composición. Esto indica, de manera franca, que los monocultivos disminuyen la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos. Sin embargo, es necesario realizar una discusión que vaya más allá, concerniente a la tenencia de la tierra en los departamentos del Valle del Cauca y Cauca, y la forma como las élites regionales han producido estrategias que les garantiza la reproducción de sus actividades capitalistas (Uribe-Castro, 2014).

Esta tesis se realizó bajo la firme convicción de que los aportes que realiza la ciencia al bienestar del planeta deben apuntar a un horizonte claro y de largo plazo, pero bajo el marco de transiciones graduales (Rotmans et al., 2001). Los intentos por cambiar de manera abrupta elementos del *statu quo* en la planificación y gestión ambientales —aunque bien intencionados— pueden generar fricciones sociales y no lograr el objetivo deseado.

5.3. La estructura ecológica de primer nivel frente a categorías de protección nacional y regional: ¿realmente operan de manera correcta espacialmente?

Proponer una estructura ecológica de primer nivel tiene una connotación que también puede considerarse desde el pensamiento crítico. Basados en el concepto de estructura ecológica, sería correcto suponer que todos son elementos de importancia ecosistémica, por lo cual deberían ser objeto de conservación —esto basándose en aquel fundamento de la política ambiental colombiana que indica como responsabilidad del estado proteger las áreas de reserva, parques nacionales y las áreas de especial importancia ecosistémica—. Bajo esta premisa y ante los hallazgos de esta investigación, principalmente el conjunto de áreas que se denominaron estructura ecológica de primer nivel surgió la pregunta de la coherencia —por lo menos en términos espaciales— entre las categorías de protección ambiental existentes a escalas nacional y regional, y la estructura ecológica. Para hacer un acercamiento a la respuesta, se realizó la superposición de las áreas establecidas como categorías de

protección en las escalas regional y nacional con las áreas establecidas en esta tesis como estructura ecológica de primer nivel.

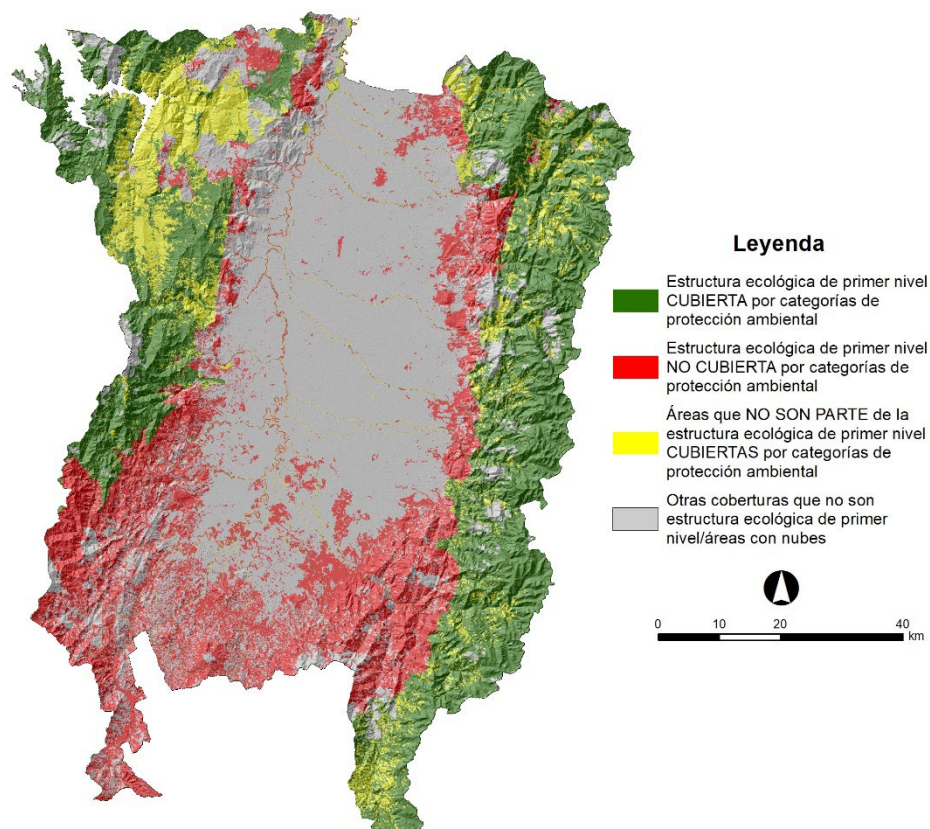
Con base en información espacial del Sistema Nacional Ambiental de Colombia (SIAC) (SIAC, 2020a) se identificaron once categorías de protección ambiental a escala regional y nacional (tres y ocho, respectivamente) con jurisdicción en el sistema socioecológico (Anexo 15). El Anexo 16 presenta la descripción (*i. e.*, Ley o Decreto de su creación y objetivo) de cada una de las categorías analizadas. A nivel regional: (1) Reserva Forestal Protectora Regional, (2) Distrito Regional de Manejo Integral y (3) Parque Natural Regional y Parques A nivel nacional: (4) Reserva Natural de la Sociedad Civil, (5) Humedal Ramsar, (6) Distrito de Conservación de Suelos, (7) Reserva Forestal Protectora Nacional, (8) Parque Nacional Natural, (9) Franja Protectora de Ríos, (10) Complejo de Páramos y (11) Zonificación de Reserva Forestal de Ley 2ª.

Al comparar las categorías de protección ambiental con la estructura ecológica de primer nivel fue posible identificar tres grupos independientes (Figura 34): (1) estructura ecológica de primer nivel CUBIERTA por categorías de protección ambiental, (2) estructura ecológica de primer nivel NO CUBIERTA por categorías de protección ambiental y (3) áreas que NO SON PARTE de la estructura ecológica de primer nivel pero que están CUBIERTAS por categorías de protección ambiental.

En cuanto al primer grupo (estructura ecológica de primer nivel CUBIERTA por categorías de protección ambiental), se caracteriza por la asignación de una figura jurídica de protección (categorías de protección ambiental) a las áreas de todas las coberturas de la tierra clasificadas como estructura ecológica de primer nivel. En total, cubre un área de 2340 km² (27,2% del sistema socioecológico). Las coberturas de bosque denso y herbazal (en áreas de páramo) son las predominantes, alcanzando aproximadamente el 60% del área de este grupo. Este resultado era de esperarse, debido a que las coberturas que hacen parte de este grupo son las menos intervenidas por las actividades humanas.

En el segundo grupo se encuentran aquellas coberturas NO CUBIERTAS por categorías de protección ambiental pero que sí hacen parte de la estructura ecológica de primer nivel. En total, ocupan un área de 1761 km² (20,5% del sistema socioecológico). Como puede observarse en la Figura 34, la distribución espacial de este grupo se concentra en el sur del sistema socioecológico (exceptuando el extremo suroriental del área de estudio). También se observan áreas de este grupo en los piedemontes de las cordilleras Occidental y Oriental (Figura 34) y predomina el bosque fragmentado con 508 km² (29% del área cubierta por este grupo), el mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (452 km², con el 26%), la vegetación secundaria o en transición (327 km², con el 18%), mosaico de pastos con espacios naturales (257 km², con el 15%), y el bosque denso (113 km², con el 6%). Las últimas cuatro coberturas suman el 65% del área del grupo.

Figura 34. Grupos resultantes del cruce entre categorías de protección ambiental nacionales y regionales con jurisdicción en el sistema socioecológico y la estructura ecológica de primer nivel



Fuente: Elaboración propia

En este último caso, el interrogante de por qué estas coberturas no cuentan con protección de las categorías analizadas puede deberse por lo menos a dos escenarios: (1) que estén siendo protegidas por categorías de protección a escala municipal; o (2) que por su condición de ser coberturas asociadas a actividades humanas de mayor intensidad (*i. e.*, asociadas a la producción agrícola, tanto de pequeña como gran escala) las categorías de protección nacionales y regionales las hayan excluido.

Finalmente, el tercer grupo de coberturas —áreas que NO son parte de la estructura ecológica de primer nivel pero que están CUBIERTAS por categorías de protección ambiental— ocupa especialmente la parte noroccidental del sistema socioecológico, alrededor del municipio de Dagua, donde actualmente predominan coberturas como pastos limpios con 535 km² (el 67% del área de este grupo), seguido por otros cultivos permanentes (7% del área y donde se incluye el monocultivo de piña), pastos arbolados (5%) y plantaciones forestales (5%). Estas cuatro coberturas suman el 85% del área. También se observan algunos parches en el costado oriental del sistema socioecológico en los que se resaltan coberturas como afloramientos rocosos, caña de azúcar, cultivos transitorios, instalaciones recreativas, tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo, tierras desnudas y degradadas, zonas de extracción minera y zonas industriales o comerciales. En total, el grupo cubre un área de 795 km² (9,2% del sistema socioecológico).

Resulta interesante que, estando estas áreas bajo la jurisdicción de categorías de protección ambiental, no fueron identificadas como parte de la estructura ecológica de primer nivel. Tomando como foco de análisis del área circundante al municipio de Dagua —donde se concentra la mayor cantidad de área de este grupo— resultaría válido afirmar que las figuras de protección no han sido respetadas, especialmente las de zonas de reserva forestal de Ley 2^a (ver Anexo 15). Las coberturas que predominan en el área en cuestión justamente son los cultivos permanentes, y hay evidencia de la fuerte presencia del cultivo de la piña y de plantaciones forestales en dicha área (Aguirre et al., 2017)—. Una pregunta que surge ante un escenario como el presentado anteriormente es: ¿qué medidas se deben implementar para que estas áreas puedan volver a estar cubiertas por coberturas de la tierra con valoraciones

altas que correspondan a la realidad por la cual, en su momento, fueron consideradas parte de alguna categoría de protección ambiental nacional o regional? La respuesta puede encontrarse en la realización de estudios a escalas más detalladas que tomen como insumos los hallazgos de esta investigación.

Adicionalmente, se encontró que de los 4771 km² que abarcan las categorías de protección analizadas, aproximadamente la tercera parte (*i. e.*, 1379 km² o el 29%) tiene áreas superpuestas, es decir, categorías con jurisdicción sobre otras. Este fenómeno se observó tanto en categorías de carácter nacional con jurisdicción sobre regionales, como también entre categorías nacionales superpuestas unas a otras. Algunos ejemplos son los presentados por las zonas de reserva forestal de Ley 2ª frente a los complejos de páramo, donde hay una superposición de 607 km², o el de la misma Ley 2ª frente a los parques nacionales naturales y las reservas naturales de la sociedad civil, cuyas áreas en común son 166 km² y 26 km², respectivamente. Así mismo, las áreas de parques nacionales naturales presentaron una superposición de 187 km² con respecto a los complejos de páramos y, a su vez, estos últimos se superponen en 17 km² con los distritos regionales de manejo integrado. Estos hallazgos resaltan la desarticulación espacial que hay entre algunas categorías ambientales y que pone en juego la correcta gestión ambiental en dichas áreas.

5.4. Posibilidades que ofrece la simulación de alternativas de organización espacial

Alrededor del mundo existen evidencias de los efectos del cambio del uso suelo sobre la provisión de servicios ecosistémicos a escalas nacional, regional y local (Montoya-Tangarife et al., 2017; Polasky et al., 2011). Se ha observado cómo las actividades agropecuarias intensivas capitalistas cubren grandes porciones de áreas que podrían destinarse para producir alimentos de manera sustentable. Estas dinámicas son impulsadas por modelos económicos cuyo enfoque es la rápida reproducción y circulación del capital que propone una clase de sustentabilidad débil (Dietz & Neumayer, 2007), dado que solo tienen sentido de acumulación de riqueza al corto plazo. Los conceptos que subyacen en la operación de tales sistemas y las acciones que materializan son característicos de modelos extractivistas

que buscan sacar el mejor provecho sin tener en cuenta las externalidades que producen y el socavamiento a los recursos naturales finitos en las áreas donde se desarrollan (Hunter et al., 2018; Zhang et al., 2007).

Lo anterior es cada vez más evidente en áreas urbanas donde se desarrollan procesos importantes de conurbación, así como en áreas metropolitanas consolidadas (Schiappacasse & Müller, 2012). Como se ha observado en el caso de estudio de esta tesis, el sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali» es un resultado del modelo anteriormente enunciado. De ahí que aproximadamente el 40% de su área se encuentre ocupada por dos de las veintiocho coberturas de la tierra que la componen —caña de azúcar y pastos limpios—. Esta problemática realza la importancia de la organización espacial basada en la equidad, diversidad cultural y gobernanza; una organización en la que los individuos y sociedades realicen esfuerzos para ajustarla a las necesidades del colectivo —que incluye no solo a los seres humanos, sino también a lo no humano que conforma un determinado sistema socioecológico—.

El ejercicio de simulación de alternativas espaciales desarrollado en la presente tesis permitió resaltar la importancia del todo por encima de la parte. En este caso, la parte hace referencia a coberturas como la caña de azúcar y los pastos limpios, los cuales representan un valor crematístico más que ecosistémico. Esto se pudo observar en la calificación final de estas dos coberturas, las cuales obtuvieron un valor de 5,2 (en una escala de 0 a 21), frente a 7,0 y 9,8, correspondiente a cultivos transitorios y permanentes, respectivamente —coberturas con las que fueron comparados—. Solo con promover el cambio de estas dos coberturas a cultivos permanentes o transitorios en el sistema socioecológico se lograría un aumento de 12% en la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos respecto de los cultivos permanentes, y 5% frente a transitorios.

Sin la intención de simular la erradicación total de coberturas como la caña de azúcar y los pastos limpios, este ejercicio de investigación permitió demostrar cómo puede ampliarse la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos del sistema socioecológico a partir de

cambios en la organización espacial que no amenacen el sistema agroindustrial predominante, pero que permitan una transición gradual hacia sistemas productivos más diversos. Una pregunta que surge entonces es: a partir de los hallazgos de esta tesis, basados en la simulación con cultivos permanentes y transitorios, ¿cuáles son los sistemas de producción agrícola que deben ser parte de la transición hacia un sistema socioecológico sustentable? ¿Estarán dispuestos los terratenientes y pequeños propietarios de la tierra a hacer parte de una transición que propenda por aumentar la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos del sistema socioecológico a expensas de «poner en riesgo» la rentabilidad de un sistema de producción basado en el monocultivo de la caña de azúcar y el pastoreo que les garantiza grandes dividendos?

Por otro lado, el mismo ejercicio fue realizado simulando un cambio de áreas ocupadas por caña de azúcar y pastos por bosques, utilizando la capa generada por el (IDEAM, 2019). Se asocio esta cobertura con el valor de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos de los bosques densos, i. e., 17,1 sobre 21. No obstante, lo que se encontró fue un leve aumento de 0,4% en el 2019 y 1,5 en 1990. El resultado resulta lógico teniendo en cuenta que el área ocupada en bosques ha venido disminuyendo considerablemente —como se indicó en el problema de investigación, entre 1957 y 1986 la reducción de esta cobertura fue del 66% en el valle geográfico, mientras que entre 1990 y 2016 fue del 40%— y que las áreas de bosque que se traslapan con la caña y los pastos en los años analizados son mucho menores (28 km² en 2019 y 98 km² en 1990) que aquellas modeladas por la UPRA para cultivos permanentes (2048 km²) y transitorios (1735 km²).

El desarrollo posterior de esta investigación puede incluir la simulación de cambio en áreas asociadas al zonobioma de bosque seco tropical y otros característicos del valle geográfico del río Cauca. Con seguridad, una simulación de este tipo aumentaría considerablemente la capacidad del sistema socioecológico para proporcionar servicios ecosistémicos, puesto que solo el zonobioma en mención abarca un área aproximadamente 1552 km² dentro del sistema socioecológico. Lo que habría que analizar con detenimiento es si una simulación de este tipo podría llegar a materializarse en el corto o mediano plazo. Principalmente, debido a las

necesidades de producción de alimentos de las próximas décadas en el valle geográfico del río Cauca y el país. Como esta tesis indica, probablemente, sería factible mantener parte del área ocupada actualmente por caña de azúcar y pastos limpios —y no ocuparla completamente por bosques— de tal modo que fuese aprovechada en el establecimiento de sistemas diversificados de cultivos que garanticen la seguridad alimentaria de la población del área de influencia metropolitana de Cali, el valle geográfico y otros lugares del país; convirtiéndose en una verdadera despesa agrícola para Colombia.

Otros ejercicios de simulación que pueden realizarse posteriormente son los de la ampliación de las áreas que constituyen las franjas de los ríos con bosque ripario (cuya valoración de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos fue de 13,9 sobre 21) en lugar de la caña de azúcar que, en muchos casos, cubre gran parte de esas franjas en la zona plana del sistema socioecológico. También se puede simular la ampliación de espacios naturales (valorados en 12,1 sobre 21) donde se presentan las áreas de mosaico de pastos y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (calificadas con 11,6 sobre 21) en lugar de áreas cubiertas por pastos limpios dedicados a la actividad ganadera en los piedemontes de las cordilleras.

No obstante, y como se planteó en la pregunta de investigación, en el marco de las transiciones graduales que deben tener lugar para encontrar una relación más armónica entre los elementos que componen el sistema socioecológico, esta tesis optó por realizar el ejercicio a partir de información generada por el mismo Estado colombiano para restarle incertidumbre a los resultados y evitar que fueran tachados como utópicos o sesgados. Además, para ofrecer alternativas que puedan ser aceptadas en el corto y largo plazo por los diseñadores de políticas públicas y los agentes económicos que determinan el uso actual de suelo. De esa manera, mientras se materializa una transición gradual hacia mejores niveles de provisión de servicios ecosistémicos, el aparato económico tiene tiempo para ajustarse sin mayores perturbaciones a modelos diversificados de producción de alimentos.

Futuras etapas de esta investigación incluirán la clase de simulación antes mencionada con el fin de visualizar más alternativas de organización espacial que puedan ser presentadas a

los tomadores de decisiones y a la sociedad en general, la cual, si las circunstancias lo permiten, debería ser la encargada de evaluar estos resultados y promover su implementación. En ese sentido, esta tesis no está concebida únicamente como un aporte para la academia y la esfera de la política pública, sino que está también dirigida a todos los ciudadanos que buscan opciones para aportar a un mundo ecológicamente sustentable.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente tesis permitió la identificación de alternativas para aumentar la capacidad de la estructura ecológica del sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Cali» para proporcionar servicios ecosistémicos. La perspectiva de sistemas socioecológicos, materializada a partir de los criterios urbano-funcionales y biofísicos, ayudó a definir los límites de un sistema que responde a una realidad antropocéntrica pero vista aquí como orgánica, y que está sujeta a procesos ecológicos y no solo a delimitaciones espaciales arbitrarias basadas en intereses particulares.

Los resultados de esta investigación se convierten en una innovación a los criterios para definir los límites de las áreas metropolitanas. La propuesta de dar igual valor a los criterios urbano-funcionales y biofísicos —trascendiendo la mera caracterización de biofísica de los estudios metropolitanos existentes— permitió visualizar un área metropolitana que no solo responde a las necesidades de la población humana y no humana que la ocupan, sino que también reconoce que los impactos de las acciones humanas van más allá de los seis municipios que históricamente han sido considerados en esta división político-administrativa (*i. e.*, Cali, Candelaria, Jamundí, Palmira, Yumbo y Puerto Tejada). El concepto de límite debe ser explorado en mayor detalle en el contexto de otras áreas metropolitanas a partir de los hallazgos de esta investigación.

Además, la tesis hace un aporte novedoso al uso del enfoque de servicios ecosistémicos para formular lineamientos de política pública a fin de mejorar las condiciones socioecológicas del área de estudio, a partir de un ejercicio de simulación de alternativas de organización espacial de la estructura ecológica. Al hacerlo, dos elementos llamaron altamente la atención: 1) el gran potencial de aumento en la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos si se intervienen las coberturas de la tierra con mayor área en la estructura ecológica de segundo nivel —*i. e.*, caña de azúcar y pastos limpios— y 2) la alta capacidad del sistema para proporcionar servicios ecosistémicos culturales —cuyo valor se puede entender mejor a través del ejercicio de análisis de flujo de servicios ecosistémicos

culturales (para mayor información ver Anexo 9)—. Este hallazgo es un llamado de atención a la planificación ambiental urbana y señala la necesidad de apoyarse en el valor intrínseco de la naturaleza, puesto que resalta la importancia que tienen los servicios dirigidos al aprecio por la existencia de la naturaleza y los efectos de los elementos ecológicos sobre la salud mental de la población.

En cuanto al enfoque metodológico, es importante resaltar la pertinencia del uso de la unidad espacial «cobertura de la tierra» para la identificación de estructuras ecológicas metropolitanas. Este enfoque difiere de las técnicas tradicionales implementadas en el país, a partir de las cuales los elementos de las estructuras ecológicas municipales se consideran ecosistemas, e incluso erradamente categorías de protección ambiental (como por ejemplo los parques naturales). El nivel de precisión que brindan las coberturas de la tierra permite establecer claramente la clase de servicios ecosistémicos que se pueden encontrar dentro de un área metropolitana determinada.

Por otra parte, la valoración de servicios ecosistémicos en el sistema socioecológico y su aplicación en la identificación de estructuras ecológicas, propuestas en esta tesis como de primer y segundo nivel, ofrece una contribución trascendental hacia la consolidación del enfoque de servicios ecosistémicos en la planificación y gestión ambiental en Colombia. El enfoque en la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos, y no en la localización de los elementos para establecer la estructura ecológica, permitió reconocer el valor crucial que representan las coberturas naturales y seminaturales que se entrelazan con el tejido urbano de las ciudades dentro de los límites municipales, y no solo las ubicadas en la periferia del sistema socioecológico —*i. e.*, cordilleras Oriental y Occidental, con sus coberturas características de bosque denso y herbazal de páramo—.

En esta misma línea de ideas, el ejercicio de simulación espacial de coberturas permitió observar cambios positivos en la provisión de servicios ecosistémicos, lo cual implica mayores beneficios para la especie humana y también para los demás elementos no humanos, orgánicos e inorgánicos, que componen el sistema socioecológico. En ese sentido, las

alternativas de organización espacial aquí presentadas van más allá de ser propuestas que deben aplicarse tal como son entregadas; más bien, tienen como propósito mostrar que otros escenarios son posibles para la construcción de una visión de área metropolitana ecológicamente sustentable desde la cual se propongan y materialicen soluciones serias, democráticas y equitativas al crecimiento desmesurado e incontrolado de las ciudades. En la medida en que haya, por un lado, mayor diversidad de coberturas de la tierra y, por otro, consciencia por parte de los seres humanos acerca de su dependencia de ellas, mayor será la capacidad de producir los cambios sociales y biofísicos que tanto necesita la humanidad si quiere subsistir.

Finalmente, los resultados de esta tesis la hacen un instrumento único en su clase para la toma de decisiones en el ámbito de la planificación ambiental urbana. En este sentido, es un referente científico para las diferentes áreas metropolitanas del país, tanto las jurídicamente establecidas como las que no lo están, pues las ideas aquí expresadas son coherentes con una visión integral de la planificación ambiental urbana sustentable, con un marco epistemológico basado en la sustentabilidad ecológica y con un enfoque crítico que permite evaluar permanentemente el funcionamiento del sistema socioecológico en la búsqueda de su equilibrio ecológico, conjunto de aspectos que son requisitos para la existencia del sistema socioecológico.

En cuanto a las recomendaciones, es necesario profundizar en el ejercicio de comparación de la estructura ecológica frente a categorías de protección e instrumentos de planificación a escala municipal. En este caso, el cruce tendría que hacerse con la estructura ecológica de segundo nivel, dado que esta se ubica en la zona plana del sistema socioecológico estudiado. De lo que se estaría hablando sería de aumentar la escala de análisis para entender mejor qué tan coherentes son las categorías de protección ambiental y los instrumentos de planificación como los POT y los POMCAS frente a la conservación y el manejo sustentable de las áreas con mayor intervención humana. Además, convendría implementar análisis del impacto de cambio climáticos para identificar el tipo de coberturas de la tierra que mejor se adaptarían a un aumento a los aumentos en la temperatura proyectados para las décadas futuras.

También sería crucial realizar un ejercicio de simulación de coberturas que incluya diferentes tipos de vegetación propia del ecosistema de bosque seco tropical, el cual es característico del valle geográfico del río Cauca (p. ej., bosques densos, bosques ribereños, vegetación secundaria o en transición). Los insumos para este ejercicio podrían provenir de fuentes confiables de información espacial como el IDEAM o Parques Nacionales Naturales de Colombia. Este análisis permitiría ampliar el alcance de la presente investigación al ir más allá de cambio de coberturas de la tierra de índole productivo (*i. e.*, caña de azúcar, pastos limpios, cultivos permanentes y transitorios) para evaluar el impacto del cambio generado por coberturas de la tierra cuya contribución porcentual a la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos fue mucho más alta (p. ej., bosques fragmentados y densos y mosaico de pastos con espacios naturales).

Para finalizar, otra recomendación importante es la realización de consultas a expertos con regularidad para calcular de manera multitemporal la capacidad de la estructura ecológica para proporcionar servicios ecosistémicos. La población de expertos se podría ampliar para abarcar no solo a académicos y servidores públicos, sino también a comunidades campesinas, afrodescendientes y grupos indígenas. De esa manera, se podría estimar la capacidad de otros sistemas de producción agrícola como la finca tradicional y sistemas agrosilvopastoriles. Este ejercicio contribuiría a la generación de más alternativas para avanzar hacia la sustentabilidad ecológica, pues permitiría entender que los efectos positivos no solo se darían a nivel de los servicios ecosistémicos de la estructura ecológica, sino también sobre el sistema social que depende de ella. Se podría probar la hipótesis de que una mayor diversificación agrícola tendría un efecto directo sobre la generación de mayores oportunidades de empleo en el campo y, por tanto, invitaría a la reorganización espacial de una porción de la población que migra a la ciudad en búsqueda de oportunidades laborales.

REFERENCIAS

- Abraira, V. (2001). El índice de kappa. *Semergen*, 27(6), 247–249.
- Aguirre, M. A., López Ibarra, L. I., Bolaños Trochez, F. V., González Guevara, D. F., & Buitrago-Bermúdez, O. (2017). Percepción del paisaje, agua y ecosistemas en la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 22(1), 109–126. <https://doi.org/10.19053/01233769.5402>
- Albert, C., Galler, C., Hermes, J., Neuendorf, F., Haaren, C. Von, & Lovett, A. (2016). Applying ecosystem services indicators in landscape planning and management : The ES-in-Planning framework. *Ecological Indicators*, 61, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.029>
- Albet, A., & Benejam, P. (2000). *Una geografía humana renovada: lugares y regiones en un mundo global* (Primera ed). Vicens-Vives, Institut de Ciències de l'Educació.
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2011). *Violencia, convivencia y dinamica social en cali: lectura desde el observatorio social*. Observatorio Social de Cali.
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial (POT), año 2014*. https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/106497/pot_2014_idesc/
- Aldana-Domínguez, J., Palomo, I., Gutiérrez-Angonese, J., Arnaiz-Schmitz, C., Montes, C., & Narvaez, F. (2019). Assessing the effects of past and future land cover changes in ecosystem services, disservices and biodiversity: A case study in Barranquilla Metropolitan Area (BMA), Colombia. *Ecosystem Services*, 37(March 2018), 100915. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100915>
- Aledo, A. (2001). Problemas Socioambientales II: Las ecoutopías. *JA Sociología ambiental*, 48.
- Altieri, M. Á., & Bravo, E. (2007). La tragedia social y ecológica de la producción de agrocombustibles en el continente Americano. *Cuadernos de Geografía*, 10. http://www.landaction.org/IMG/pdf/Altieri-Bravo-Biocombustibles-ES.pdf%5Cnwww.foodfirst.org/files/altieri-Bravo_biocombustibles-ES.doc
- Amorim-Maia, A. T., Calcagni, F., Connolly, J. J. T., Anguelovski, I., & Langemeyer, J. (2020). Hidden drivers of social injustice: uncovering unequal cultural ecosystem services behind green gentrification. *Environmental Science and Policy*, 112(September 2019), 254–263. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.05.021>
- Andersson, E., Tengö, M., McPhearson, T., & Kremer, P. (2015). Cultural ecosystem services as a gateway for improving urban sustainability. *Ecosystem Services*, 12, 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.08.002>
- Andrade, G., Remolina, F., & Wiesner, D. (2013). Assembling the pieces: A framework for the integration of multi-functional ecological main structure in the emerging urban region of Bogotá, Colombia. *Urban Ecosystems*, 16(4), 723–739. <https://doi.org/10.1007/s11252-013-0292-5>
- Angarita-Baéz, J. A., Pérez-Miñana, E., Beltrán Vargas, J. E., Ruiz Agudelo, C. A., Paez Ortiz, A., Palacios, E., & Willcock, S. (2017). Assessing and mapping cultural ecosystem services at community level in the Colombian Amazon. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 13(1), 280–296. <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1345981>

- Ángel-Maya, A. (2013). *El reto de la vida. Ecosistemas y cultura, una introducción al estudio del medio ambiente* (Segunda ed). www.augustoangelmaya.com
- Balvanera, P., Uriarte, M., Almeida-Leñero, L., Altesor, A., DeClerck, F., Gardner, T., Hall, J., Lara, A., Lateral, P., Peña-Claros, M., Silva Matos, D. M., Vogl, A. L., Romero-Duque, L. P., Arreola, L. F., Caro-Borrero, Á. P., Gallego, F., Jain, M., Little, C., de Oliveira Xavier, R., ... Vallejos, M. (2012). Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. *Ecosystem Services*, 2, 56–70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.09.006>
- Banco Mundial. (2019). *Población urbana (% del total)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>
- Baró, F., Gómez-Baggethun, E., & Haase, D. (2017). Ecosystem service bundles along the urban-rural gradient: Insights for landscape planning and management. *Ecosystem Services*, 24, 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.021>
- Baró, F., Palomo, I., Zulian, G., Vizcaino, P., Haase, D., & Gómez-Baggethun, E. (2016). Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: A case study in the Barcelona metropolitan region. *Land Use Policy*, 57, 405–417. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.06.006>
- BIC. (1989). *Conservation of the Earth's Resources* (p. 26). Bahá'í International Community (BIC).
- Boff, L. (2017). *Saber cuidar*. Editora Vozes Limitada.
- Boone, H. N., & Boone, D. A. (2012). Analyzing Likert Data. *Journal of Extension*, 50(2), 5.
- Bottazzi, P. (2019). Work and social-ecological transitions: A critical review of five contrasting approaches. *Sustainability (Switzerland)*, 11(14), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su11143852>
- Buitrago-Bermúdez, O. (2019). *Reporte de investigación: Lineamientos para la gestión ambiental de la estructura ecológica principal del área de influencia metropolitana inmediata de Cali, Colombia (documento inédito)*.
- Buitrago-Bermúdez, O., Aguirre, M. A., & Bolaños-Trochez, F. V. (2021). *La metropolización de cali y sus efectos en la gestión del agua potable en zonas rurales de su área de influencia*.
- Bunge, M. (1999). *Sistemas sociales y filosofía* (Segunda ed). Editorial Sudamericana.
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., & Müller, F. (2014). Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape Online*, 34(1), 1–32. <https://doi.org/10.3097/LO.201434>
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities to provide ecosystem services - A concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*, 15(1), 1–22. <https://doi.org/10.3097/LO.200915>
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 21, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>
- Burley, T. M. (1961). Land use or land utilization? *The Professional Geographer*, 13(6), 18–20.
- Calcagni, F., Amorim-Maia, A. T., Connolly, J. J. T., & Langemeyer, J. (2019). Digital co-construction of relational values: understanding the role of social media for

- sustainability. *Sustainability Science*, 14(5), 1309–1321.
<https://doi.org/10.1007/s11625-019-00672-1>
- Camacho-Valdez, V., & Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Bio ciencias*, 1, 3–15.
<http://revistabiociencias.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/19/17>
- Capotorti, G., Vico, E. Del, Anzellotti, I., & Celesti-Grapow, L. (2017). Combining the conservation of biodiversity with the provision of ecosystem services in urban green infrastructure planning: Critical features arising from a case study in the metropolitan area of Rome. *Sustainability (Switzerland)*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/su9010010>
- Capra, F. (1998). *La trama de la vida: una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Editorial Anagrama.
- Capra, F. (2002). The hidden connections: integrating the biological, cognitive, and social dimensions of life into a science of sustainability. En *The hidden connections: integrating the biological, cognitive, and social dimensions of life into a science of sustainability*. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>
- Cardona-Arcila, A. M., Valderrama-Ardila, C., & Chacón de Ulloa, P. (2012). Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 8(2), 102.
- Carrión-Barrero, G. A. (2008). Debilidades del nivel regional en el ordenamiento territorial colombiano. Aproximación desde la normatividad política administrativa y de usos del suelo. *Architecture, City and Environment*, 145–166.
<https://doi.org/10.5821/ace.v3i7.2444>
- Castells, M. (2014). *La cuestión urbana* (15 edición). Siglo veintiuno editores S.A.
- Cebotarev, E. (2003). El enfoque crítico: Una revisión de su historia, naturaleza y algunas aplicaciones. En *Rev. latinoam. cienc. soc. niñez juv* (pp. 17–56).
- Centro Nacional de Productividad Colombiana. (2002). El conglomerado del azúcar del Valle del Cauca, Colombia. En *Naciones Unidas* (Vol. 134). Naciones Unidas.
- Chan, K. M. A., Balvanera, P., Benessaiah, K., Chapman, M., Díaz, S., Gómez-Baggethun, E., Gould, R., Hannahs, N., Jax, K., Klain, S., Luck, G. W., Martín-López, B., Muraca, B., Norton, B., Ott, K., Pascual, U., Satterfield, T., Tadaki, M., Taggart, J., & Turner, N. (2016). Opinion: Why protect nature? Rethinking values and the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(6), 1462–1465.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1525002113>
- Chapin, S., Pickett, S. T. A., Power, M. E., Jackson, R. B., & Carter, D. M. (2011). *Earth stewardship: a strategy for social–ecological transformation to reverse planetary degradation*. 44–53. <https://doi.org/10.1007/s13412-011-0010-7>
- Clason, D. L., & Dormody, T. J. (1994). Analyzing Data Measured by Individual Likert-Type Items. *Journal of Agricultural Education*, 35(4), 31–35.
- Colciencias. (2019). *Programa Nacional en Ambiente, Biodiversidad y Hábitat*.
<https://www.colciencias.gov.co/node/1122>
- Colding, J. (2011). Creating incentives for increased public engagement in ecosystem management through urban commons. En *Adapting Institutions: Governance, Complexity and Social-Ecological Resilience*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139017237.008>
- Collingwood, R. G. (1945). *The Idea of Nature*. Oxford University Press.

- Comunidad Internacional Bahá'í. (1995). *La Conservación y el Desarrollo Sostenible en la Fe Bahá'í*. <https://www.bic.org/statements/la-conservacion-y-el-desarrollo-sostenible-en-la-fe-bahai>
- Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993. Política ambiental colombiana* (p. 54).
- Congreso de Colombia. (1997). *Ley 388 de 1997* (p. 60).
http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/m/m_norma.jsp?i=339
- Congreso de Colombia. (2013). *Ley 1625 de 2013. Regimen de áreas metropolitanas* (p. 20).
- Correa-García, E., Vélez-Correa, J., Zapata-Caldas, E., Vélez-Torres, I., & Figueroa-Casas, A. (2018). Territorial transformations produced by the sugarcane agroindustry in the ethnic communities of López Adentro and El Tiple, Colombia. *Land Use Policy*, 76, 847–860. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.026>
- Cortés Ballén, L. A. (2018). Aproximación al paisaje de los humedales urbanos de Bogotá dentro de la estructura ecológica principal de la ciudad. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(1), 118–130.
<https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.60584>
- Costanza, R., Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Neill, R. V. O., Paruelo, J., Raskin, R. G., & Sutton, P. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(May), 253–260.
- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Cuervo-González, L. M., & González, J. (1997). Industria y ciudades en la era de la mundialización. Un enfoque socioespacial. En *Colección Ciudades y Ciudadanía*. Tercer Mundo.
- Cumming, G. S. (2011). *Spatial Resilience in Social-Ecological Systems*. Springer.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-007-0307-0>
- CVC. (2015). *Resolucion 574 de 2015: Determinantes ambientales a escala departamental en estructura ecológica y amenazas y riesgos para los procesos de planificación territorial en el área de jurisdicción de la CVC*.
- DANE. (2010). Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005-2020. En *Estudios Postcensales*. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- DANE. (2018). *Ficha técnica. Población del Valle del Cauca*.
sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/fichas/76.pdf
- DANE. (2020). *Proyecciones y reproyecciones de población*.
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Datos abiertos. (2013). *Zonificación hidrográfica, 2013*.
<https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Zonificaci-n-Hidrogr-fica-2013/ahcu-pj8v>
- De Vreese, R., Van Herzele, A., Dendoncker, N., Fontaine, C. M., & Leys, M. (2019). Are stakeholders' social representations of nature and landscape compatible with the

- ecosystem service concept? *Ecosystem Services*, 37(December 2017), 100911. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100911>
- Delgado-Mahecha, O. (2003a). Capítulo III. La geografía radical: la producción social del espacio social. *Debates sobre el espacio en la geografía contemporánea*.
- Delgado-Mahecha, O. (2003b). La geografía como ciencia espacial. En *Debates sobre el espacio en la geografía contemporánea* (Primera Ed, pp. 33–77). Universidad Nacional de Colombia. Editorial Unilibros.
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J. R., Arico, S., Bartuska, A., Baste, I. A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K. M. A., Figueroa, V. E., Duraipappah, A., Fischer, M., Hill, R., Koetz, T., ... Thomas, S. (2015). *The IPBES Conceptual Framework—connecting nature and people*. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Dictionary, C. (2021). *Eco-capitalism*. <https://www.collinsdictionary.com/es/diccionario/ingles/eco-capitalism>
- Dietz, S., & Neumayer, E. (2007). Weak and strong sustainability in the SEEA: Concepts and measurement. *Ecological Economics*, 61(4), 617–626. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.09.007>
- DNP. (2016). *Conpes 3870. Programa nacional para la formulación y actualización de planes de ordenamiento territorial: POT modernos* (p. 54). <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2969-1>
- DNP. (2018). *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Pacto por Colombia. Pacto por la Equidad*.
- Doctorado en Ciencias Ambientales. (2008). *Resumen ejecutivo*.
- Dupras, J., Marull, J., Parcerisas, L., Coll, F., Gonzalez, A., Girard, M., & Tello, E. (2016). The impacts of urban sprawl on ecological connectivity in the Montreal Metropolitan Region. *Environmental Science and Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.005>
- EEA. (2011). Green infrastructure and territorial cohesion. En *Technical Report (Number 18)* (Número 18). <https://doi.org/10.2800/88266>
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K. C., & Wilkinson, C. (Eds.). (2013). *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_23
- ENVI. (2020). *ENVI*. <https://www.sigsa.info/productos/envi>
- Escobar, A. (2010). Ecologías Políticas Postconstructivistas *. *Sustentabilidades*, 2, 14.
- Escobar, A. (2011). Sustainability: Design for the pluriverse. *Development*, 54(2), 137–140. <https://doi.org/10.1057/dev.2011.28>
- Escobar, A. (2014). *Sentipensar con la tierra*. UNAULA.
- Escobar, A. (2015a). Decrecimiento, post-desarrollo y transiciones: una conversación preliminar. *Interdisciplina*, 3(7), 217–244.
- Escobar, A. (2015b). Degrowth, postdevelopment, and transitions: a preliminary conversation. *Sustainability Science*, 10(3), 451–462. <https://doi.org/10.1007/s11625-015-0297-5>

- Escobar, A. (2016). Transiciones: a space for research and design for transitions to the pluriverse. *Design Philosophy Papers*, 13(1), 13–23.
<https://doi.org/10.1080/14487136.2015.1085690>
- ESRI. (2020a). *¿Qué es ArcGIS?* <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- ESRI. (2020b). *Calcular matriz de confusión*.
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/compute-confusion-matrix.htm>
- Feria Toribio, J. M., & Ramos, J. S. (2000). Funciones ecológicas del espacio libre y planificación territorial en ámbitos metropolitanos: perspectivas teóricas y experiencias recientes en el contexto español. *Scripta Nova*, 1, 1–14.
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Frantzeskaki, N., & de Haan, H. (2009). Transitions: Two steps from theory to policy. *Futures*, 41(9), 593–606. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2009.04.009>
- Galanakis, C. M. (2020). The Food Systems in the Era of the Coronavirus. *Foods*, 523, 1–10.
- Galvis, L. A. (Ed.). (2014). *Economía de las grandes ciudades en Colombia: seis estudios de caso* (Primera ed). Banco de la República.
- George, P. (1972). El medio ambiente. *Oikos-Tau*, 5.
- Getis, A., Fellmann, J. D., Getis, J., & Barker, B. W. (1994). *Introduction to geography*. William C. Brown Publishers.
- Gligo, N. (1995). Entorno de la sustentabilidad ambiental del desarrollo agrícola latinoamericano: factores y políticas. En G. C. Gallopín (Ed.), *Gallopín, Gilberto Ccomp. El futuro ecológico de un continente: una visión prospectiva de la América Latina* (p. 336). Universidad de las Naciones Unidas.
- Gobernación del Valle del Cauca. (2016). *Plan del Departamento del Valle del Cauca, 2016-2019: El Valle está en Vos*. <http://www.uesvalle.gov.co/documentos/147/1-plan-de-desarrollo-departamental-2016---2019/>
- Gobernación del Valle del Cauca, & Universidad de San Buenaventura. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial Departamental del Valle del Cauca*.
- Gobernación del Valle del Cauca, & Universidad de San Buenaventura. (2016). Fase II. Formulación. Territorios Urbano Rurales Homogéneos para Orientar la Regulación, Gestión e Implementación del POTD. En *Plan de Ordenamiento Territorial del Valle del Cauca* (p. 7). Universidad de San Buenaventura, Cali.
- Gobernación del Valle del Cauca, & Universidad del Valle. (2011). *Lineamientos Territoriales para la Articulación Regional y Subregional del Valle del Cauca*.
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics; Sustainable Urbanisation: A resilient future*, 86(0), 235–245.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092180091200362X>
- Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. L., & Montes, C. (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets

- and payment schemes. *Ecological Economics*, 69(6), 1209–1218.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>
- Google. (2017). *Google Forms*. <https://www.google.com/forms/about/>
- Gudynas, E. (1999). Concepciones de la naturaleza y desarrollo en América Latina. *Persona y Sociedad*, 13, 101–125.
- Gudynas, E. (2000). *Ecología, Economía y Ética del Desarrollo Sostenible*. Ediciones ABYA-YALA.
- Gudynas, E. (2011a). Imágenes, ideas y conceptos sobre la naturaleza en América Latina. *Cultura y naturaleza. Aproximaciones a propósito del bicentenario de la independencia de Colombia, 1998*, 271–291.
- Gudynas, E. (2011b). Los derechos de la Naturaleza en serio, respuestas y aportes desde la ecología política. *La naturaleza con derechos. De la filosofía a la política*, 239–258.
<http://ecologiasocial.com/biblioteca/GudynasDerechosNaturalezaEnSerio11F.pdf>
- Gudynas, E. (2017). Value, Growth, Development: South American Lessons for a New Ecopolitics. *Capitalism, Nature, Socialism*, 00(0), 1–10.
<https://doi.org/10.1080/10455752.2017.1372502>
- Gulínck, H., Múgica, M., De Lucio, J. V., & Atauri, J. A. (2001). A framework for comparative landscape analysis and evaluation based on land cover data, with an application in the Madrid region (Spain). *Landscape and Urban Planning*, 55(4), 257–270. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00159-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00159-1)
- Haines-Young, R., & Potschin-Young, M. (2013). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES, Version 4.3). *Report to the European Environment Agency, September*, 1–17.
- Harvey, D. (2000). *Spaces of Hope*. Edinburgh University Press.
<https://doi.org/10.2307/3089427>
- Harvey, D. (2018). *Justicia, naturaleza y la geografía de la diferencia*. Traficantes de Sueños.
- Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, M. G., Ahamed, T., & Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development*, 34(April 2019), 100527. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100527>
- Horkheimer, M., & Adorno, T. (2002). *Dialectic of Enlightenment*. Stanford University Press.
- Hunter, G. W., Vettorato, D., & Sagoe, G. (2018). Creating smart energy cities for sustainability through project implementation: A case study of Bolzano, Italy. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7), 1–29. <https://doi.org/10.3390/su10072167>
- IDEAM. (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2019). *Monitoreo de la superficie cubierta por bosque natural*.
http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/superficie-cubierta-por-bosque-natural?p_p_id=110_INSTANCE_dqBGlv6hKQrD&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_110_INSTANCE_dqBGlv6hKQrD_struts_action=%2Fdocument_library_display%2Fview_file_entry&_110_INSTANCE_dqBGlv6hKQrD_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Fecosistemas%2

- Fsuperficie-cubierta-por-bosque-natural%3Fp_p_id%3D110_INSTANCE_dqBGlv6hKQrD%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2&_110_INSTANCE_dqBGlv6hKQrD_fileEntryId=91399289
- IGAC. (2018). *Formatos y Escalas de Mapas*. <https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/formatos-y-escalas-de-mapas>
- Jabareen, Y. (2008). A New Conceptual Framework for Sustainable Development. *Environ Dev Sustain*, 10, 179–192. <https://doi.org/10.1007/s10668-006-9058-z>
- Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., & Schneiders, A. (2015). “The Matrix Reloaded”: A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecological Modelling*, 295, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.024>
- Kallis, G., Kostakis, V., Lange, S., Muraca, B., Paulson, S., & Schmelzer, M. (2018). Research on Degrowth. *Annual Review of Environment and Resources*, 43(1), annurev-environ-102017-025941. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-025941>
- Koschke, L., Fürst, C., Frank, S., & Makeschin, F. (2012). A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological Indicators*, 21, 54–66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.010>
- La República. (2017). *Epsa invertirá hasta \$32.000 millones en talud de La Salvajina*. <https://www.larepublica.co/empresas/epsa-invertira-hasta-32000-millones-en-talud-de-la-salvajina-2518506>
- Lafortezza, R., Davies, C., Sanesi, G., & Konijnendijk, C. C. (2013). Green infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. *IForest*, 6(1), 102–108. <https://doi.org/10.3832/ifor0723-006>
- Lample, P. (2004). *Creating a New Mind: Reflections on the Individual, the Institutions and the Community*. Palabra Publications. http://www.juxta.com/newmind-en-1.1.pdf%5Cnhttp://bahai-library.com/pdf/l/lample_creating_new_mind.pdf
- Langemeyer, J., Calcagni, F., & Baró, F. (2018). Mapping the intangible: Using geolocated social media data to examine landscape aesthetics. *Land Use Policy*, 77(December 2017), 542–552. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.05.049>
- Larondelle, N., Frantzeskaki, N., & Haase, D. (2016). Mapping transition potential with stakeholder- and policy-driven scenarios in Rotterdam City. *Ecological Indicators*, 70, 630–643. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.028>
- Leff, E. (1998). *Saber ambiental. Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Siglo veintiuno editores S.A.
- Leff, E. (2003). La ecología política en América Latina: un campo en construcción. *Sociedade e Estado*, 18(1–2), 17–40. <https://doi.org/10.1590/S0102-69922003000100003>
- Leff, E. (2006). *Aventuras de la Epistemología Ambiental: de la articulación de ciencias al diálogo de saberes*.
- Leff, E. (2012). Political Ecology: a Latin American perspective. *Encyclopedia of Life Support Systems*, 1–51. <https://doi.org/10.5380/dma.v35i0.44381>

- Leh, M. D. K., Matlock, M. D., Cummings, E. C., & Nalley, L. L. (2013). Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 165, 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.12.001>
- Lélé, S. M. (1991). Sustainable development: A Critical Review. *World Development*, 19(6), 607–621. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(91\)90197-P](https://doi.org/10.1016/0305-750X(91)90197-P)
- Loaiza-Cerón, W. (2012). Distribución espacial del índice de propensión al homicidio (IPH) en las comunas de Cali, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 17(17), 169–192. <https://doi.org/10.19053/01233769.2267>
- López-Pardo, I. (2012). *Sostenibilidad débil y fuerte y democracia deliberativa. El caso de la agenda 21 local de Madrid*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Lovell, S. T., & Taylor, J. R. (2013). Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *Landscape Ecology*, 28(8), 1447–1463. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9912-y>
- Martín-López, B., & Montes, C. (2009). Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. *Urdaibai UNESCO*, 1–20.
- Martínez-Alier, J. (2009). Las relaciones entre La ecología política y la economía ecológica. En *El ecologismo de los pobres: conflictos ambientales y lenguajes de valoración* (3a ed., p. 20). Icaria Editorial.
- Martínez-Toro, P. (2014). *La planificación y la gestión interescalar municipal y metropolitana: casos áreas metropolitanas de Valle de Aburrá y Centro Occidente*. Universidad del Valle, Programa Editorial.
- Martínez-Toro, P. (2018). Mercado inmobiliario y la producción del archipiélago metropolitano. La metropolización de Cali. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(1), 9–24. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n1.40237>
- Martínez-Toro, P., & Buitrago-Bermúdez, O. (2011). *Cali: una metrópoli regional en movimiento. La planeación municipal y los procesos de metropolización*. Universidad del Valle, Programa Editorial.
- Martínez-Toro, P., & Patiño-Gómez, Z. L. (2015). *Área metropolitana del sur del Valle y norte del Cauca (AMVACA). Definición, caracterización y propuesta de conformación* (Primera ed). Universidad del Valle, Programa Editorial.
- Marull, J., Delgadillo, O., Cattaneo, C., La Rota, M. J., & Krausmann, F. (2018). Socioecological transition in the Cauca river valley, Colombia (1943–2010): towards an energy–landscape integrated analysis. *Regional Environmental Change*. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1128-2>
- Marull, J., & Mallarach, J. M. (2005). A GIS methodology for assessing ecological connectivity: Application to the Barcelona Metropolitan Area. *Landscape and Urban Planning*, 71(2–4), 243–262. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.03.007>
- Marull, J., Pino, J., Mallarach, J. M., & Cordobilla, M. J. (2007). A Land Suitability Index for Strategic Environmental Assessment in metropolitan areas. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 200–212. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.11.005>
- Mascarenhas, A., Ramos, T. B., Haase, D., & Santos, R. (2016). Participatory selection of ecosystem services for spatial planning: Insights from the Lisbon Metropolitan Area, Portugal. *Ecosystem Services*, 18, 87–99. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.02.011>

- McDonald, R. I., Forman, R. T. T., & Kareiva, P. (2010). Open space loss and land inequality in United States' cities, 1990-2000. *PLoS ONE*, 5(3).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009509>
- McKinney, M. (2002). Urbanization, Biodiversity, and Conservation. *BioScience*, 52(10).
- McLaughlin, N. (1999). Origin myths in the social sciences: Fromm, the Frankfurt School and the emergence of critical theory. *Canadian Journal of Sociology*, 24(1), 109–139.
<https://doi.org/10.2307/3341480>
- Mebratu, D. (1998). Sustainability and sustainable development. *Environmental Impact Assessment Review*, 18(6), 493–520. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(98\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(98)00019-5)
- Mei, Y., Kong, X., Ke, X., & Yang, B. (2017). The impact of cropland balance policy on ecosystem service of water purification-a case study of Wuhan, China. *Water (Switzerland)*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/w9080620>
- Mejia-Llano, J. C. (2020). *Estadísticas de redes sociales 2020: usuarios de Facebook, Instagram, YouTube, LinkedIn, Twitter, Tiktok y otros*.
<https://www.juancmejia.com/marketing-digital/estadisticas-de-redes-sociales-usuarios-de-facebook-instagram-linkedin-twitter-whatsapp-y-otros-infografia/>
- Mignolo, W. D. (2007). Delinking: The rhetoric of modernity, the logic of coloniality and the grammar of de-coloniality. *Cultural Studies*, 21(2–3), 449–514.
<https://doi.org/10.1080/09502380601162647>
- Mignolo, W. D. (2011). *The Darker Side of Western Modernity Part: Global Futures, Decolonial Options*. Duke University Press.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.003>
- Ministerio de Ambiente; Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Decreto 2372 de 2010* (p. 23).
http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_2372_2010.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto 1076 de 2015, Decreto Unico Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible* (p. 654).
<http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/08/Decreto-Unico-Reglamentario-Sector-Ambiental-1076-Mayo-2015.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Plan integral de gestión de cambio climático territorial del Cauca - 2040*.
http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion__al_territorio/Cauca.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Colombia cuenta con 17 POMCAS aprobados bajo el nuevo marco legal de Planificación de Cuencas* (p. 1).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Corporaciones Autónomas Regionales*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2067>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. (2007). *Decreto 3600 de 2007. Ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo* (p. 12).
- Mitchell, B., Priddle, C., Shrubsole, D., Veale, B., & Walters, D. (2014). Integrated water resource management: lessons from conservation authorities in Ontario, Canada. *International Journal of Water Resources Development*, 30(3), 460–474.
<https://doi.org/10.1080/07900627.2013.876328>

- Molina-Triana, A. G. (2014). Las autoridades del Sistema Nacional Ambiental Un análisis desde la política pública. En *Las autoridades del Sistema Nacional Ambiental Un análisis desde la política pública*. Universidad Sergio Arboleda. <https://doi.org/10.22518/9789588745787>
- Monsalve-Cuartas, A. M. (2014). Redes ecológicas en la estructura urbana de la ciudad de Medellín (Colombia). *Boletín CF+S*, 42/43, 69–78. <http://polired.upm.es/index.php/boletincfs/article/view/2805>
- Montoya-Tangarife, C., De La Barrera, F., Salazar, A., & Inostroza, L. (2017). Monitoring the effects of land cover change on the supply of ecosystem services in an urban region: A study of Santiago-Valparaíso, Chile. *PLoS ONE*, 12(11), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188117>
- Motta-González, N., & Perafan-Cabrera, A. (2010). Historia ambiental del Valle del Cauca: Geoespacialidad, cultura y género. En *Historia ambiental del Valle del Cauca*. Programa Editorial, Universidad del Valle. <https://doi.org/10.25100/peu.84>
- Naciones Unidas. (1972). *Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente* (p. 6). <http://www.pnuma.org/docamb/mh1972.php>
- Naciones Unidas. (1992). *Declaración de Río sobre el medioambiente y el desarrollo*.
- Naess, A. (1973). The Shallow and the Deep, Long-Range Ecology Movement: A Summary. *Inquiry*, 16(1), 95–100. <https://doi.org/10.1080/00201747308601682>
- Naess, A. (2005). The Deep Ecology “Eight Points” Revisited. *The Selected Works of Arne Naess*, 57–66. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4519-6_89
- NASA Jet Propulsion Laboratory. (2009). *ASTER Global Digital Elevation Model*. <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>
- Nedkov, S., Bayona, K., & Burkhard, B. (2015). Quantifying, Modelling and Mapping Ecosystem Services in Watersheds. En L. Chicharo, F. Müller, & N. Fohrer (Eds.), *Ecosystem Services and River Basin Ecohydrology* (pp. 133–149). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9846-4>
- Neilson, T. (2014). *Frankfurt Critical Theory in Review*.
- Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., & Al-jabir, A. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review. *International Journal of Surgery*, 78, 185–193.
- Oficina de Planeación Municipal de Cali. (1970). *Plan General de Desarrollo de Cali y su área metropolitana*. Imprenta Departamental.
- Ortega-Varcárcel, J. (2000). *Los horizontes de la geografía: Teoría de la Geografía*. Editorial Ariel.
- Páramo-Bernal, P. (Ed.). (2018). *La investigación en ciencias sociales: técnicas de recolección de la información*. Universidad Piloto de Colombia.
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Watson, R. T., Başak Dessane, E., Islar, M., Kelemen, E., Maris, V., Quaas, M., Subramanian, S. M., Wittmer, H., Adlan, A., Ahn, S. E., Al-Hafedh, Y. S., Amankwah, E., Asah, S. T., ... Yagi, N. (2017). Valuing nature’s contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26–27, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
- Peña, L., Onaindia, M., de Manuel, B. F., Ametzaga-Arregi, I., & Casado-Arzuaga, I. (2018). Analysing the synergies and trade-offs between ecosystem services to reorient

- land use planning in Metropolitan Bilbao (northern Spain). *Sustainability (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/su10124376>
- Perafán, A. (2002). Transformaciones paisajísticas en la zona plana vallecaucana. *Historia y espacio*, 24, 18.
- Pittock, J., Cork, S., & Maynard, S. (2012). The state of the application of ecosystems services in Australia. *Ecosystem Services*, 1(1), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.010>
- Planet. (2016). *Rapideye™ Imagery Product Specifications* (p. 50).
- Polasky, S., Nelson, E., Pennington, D., & Johnson, K. A. (2011). The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: A case study in the state of Minnesota. *Environmental and Resource Economics*, 48(2), 219–242. <https://doi.org/10.1007/s10640-010-9407-0>
- Potschin-Young, M., & Haines-Young, R. (2013). Landscapes, sustainability and the place-based analysis of ecosystem services. *Landscape Ecology*, 28(6), 1053–1065. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9756-x>
- Presidencia de Colombia. (1974). *Decreto 2811 de 1974. Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente* (2811 de 1974; p. 71). <https://doi.org/10.1111/j.0954-6820.1937.tb03385.x>
- Presidencia de Colombia. (2002). *Decreto 1729 de 2002. Reglamentación sobre cuencas hidrográficas* (p. 5).
- Presidencia de Colombia. (2007). *Decreto 3600 de 2007* (p. 13).
- Presidencia de Colombia. (2012). *Decreto 1640 de 2012* (p. 44). http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf
- Ramírez-Gómez, S. O. I., Torres-Vitolas, C. A., Schreckenberger, K., Honzák, M., Cruz-García, G. S., Willcock, S., Palacios, E., Pérez-Miñana, E., Verweij, P. A., & Poppy, G. M. (2015). Analysis of ecosystem services provision in the Colombian Amazon using participatory research and mapping techniques. *Ecosystem Services*, 13, 93–107. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.12.009>
- Ramírez-Hernández, V., & Antero-Arango, J. (2013). Evolución de la normativa ambiental colombiana en función de las tendencias mundiales de desarrollo sostenible. *Revista NOOS*, 3, 34–55.
- Robles, F. (2012). Epistemologías de la Modernidad: entre el etnocentrismo, el racionalismo universalista y las alternativas latinoamericanas. *Cinta de moebio*, 45, 169–203. <https://doi.org/10.4067/s0717-554x2012000300001>
- Rojas, C., Munizaga, J., Rojas, O., Martínez, C., & Pino, J. (2019). Urban development versus wetland loss in a coastal Latin American city: Lessons for sustainable land use planning. *Land Use Policy*, 80(October 2018), 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.036>
- Roldán-Charria, J., Ben-Dov, Y., & Gerrero, G. (2014). *La complementariedad: una filosofía para el siglo XXI*. Programa Editorial, Universidad del Valle.
- Rostow, W. W. (1959). The stages of economic growth. *Sociological Worlds: Comparative and Historical Readings on Society*, 12(1), 130–134. <https://doi.org/10.4324/9781315063362-20>

- Rotmans, J., Kemp, R., & Van Asselt, M. (2001). More evolution than revolution: Transition management in public policy. *Foresight*, 3(1), 15–31. <https://doi.org/10.1108/14636680110803003>
- Rubiano-Calderón, K. D. (2019). Distribución de la infraestructura verde y su capacidad de regulación térmica en Bogotá, Colombia. *Colombia forestal*, 22(2), 83–100. <https://doi.org/10.14483/2256201x.14304>
- Rutger, B. (2017). *Utopía para realistas*. Salamandra.
- Sager, T. (2011). Neo-liberal urban planning policies: A literature survey 1990-2010. *Progress in Planning*, 76(4), 147–199. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2011.09.001>
- Salas-Zapata, W. a., Ríos-Osorio, L. a., & Castillo, J. Á. Del. (2012). Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología Austral*, 22(1), 74–79.
- Salitchev, K. (1979). Cartografía. *Pueblo y Educación*.
- Santos, B. de S. (2012). De las dualidades a las ecologías. En *De las dualidades a las ecologías* (Vol. 18).
- Schiappacasse, P., & Müller, B. (2012). *Metropolización y políticas de planificación. Un desafío para Santiago de Chile*.
- Shrubsole, D. (1996). Ontario conservation authorities-principles, practice and challenges 50 years later. *Applied Geography*, 16(4), 319–335.
- SIAC. (2020a). *Catálogos de mapas del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC)*. <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>
- SIAC. (2020b). *Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográfica Hidrográficas (POMCAS)*. <http://www.siac.gov.co/pomcas>
- Sinisterra-O’Byrne, E. (2013). *Un sistema alternativo de manejo y aprovechamiento del agua lluvia*. Universidad del Valle.
- Smith, H. F., & Sullivan, C. A. (2014). Ecosystem services within agricultural landscapes- Farmers’ perceptions. *Ecological Economics*, 98, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.12.008>
- Soja, E. (2008). *Postmetrópolis. Estudios críticos sobre las ciudades y las regiones*. Traficantes de Sueños.
- Song, B., Robinson, G. M., & Zhou, Z. (2017). Agricultural transformation and ecosystem services: A case study from Shaanxi Province, China. *Habitat International*, 69, 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.09.008>
- Tabares-Mosquera, M., & Gaitán-Idárraga, L. F. (2018). *Estructura ecológica del sistema socioecológico «área de influencia metropolitana de Santiago de Cali»* [Universidad del Valle]. <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/11025>
- Tabares-Mosquera, M., Zapata-Caldas, E., & Buitrago-Bermúdez, O. (2020). Valoración de servicios ecosistémicos para la identificación de estructuras ecológicas metropolitanas: el caso de Cali, Colombia. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 46(2), 603–631. <https://doi.org/10.18172/cig.3952>
- Tammi, I., Mustajärvi, K., & Rasinmäki, J. (2017). Integrating spatial valuation of ecosystem services into regional planning and development. *Ecosystem Services*, 26(May 2016), 329–344. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.008>

- Tovar-Tique, Y. P., Escobedo, F., & Clerici, N. (2020). *Evaluación de servicios, diservicios ecosistémicos y motores de cambio a partir de valoración sociocultural en Coyaima, Colombia*. 30. <https://doi.org/10.1155/2010/706872>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. <https://doi.org/10.1201/b20466-7>
- UPRA. (2019). *Sistema para la planificación rural agropecuaria*. <https://sipra.upra.gov.co/>
- UPRA. (2020a). *UPRA. Evaluación de tierras*. <https://upra.gov.co/uso-y-adequacion-de-tierras/evaluacion-de-tierras/zonificacion>
- UPRA. (2020b). *UPRA. Funciones*. <https://www.upra.gov.co/web/guest/upra/funciones>
- Uribe-Castro, H. (2014). Expansión cañera en el Valle del Cauca y resistencias comunitarias (Colombia). *Revista del Doctorado Interinstitucional en Ciencias Ambientales*, 2014(4), 16–30.
- Uribe-Castro, H. (2017). *Transformaciones ambientales y acción colectiva en el valle geográfico del río Cauca frente a la agroindustria cañera 1960-2015. Tres estudios de caso*. Universidad del Valle.
- van der Hammen, T., & Andrade, G. (2003). *Estructura ecológica principal de Colombia: Primera aproximación*. IDEAM.
- Vásquez-Benítez, E. (1990). Historia del desarrollo económico y urbano en Cali. En *Boletín socioeconómico* N°. 20 (p. 28).
- Vásquez-Benítez, E. (2001). *Historia de Cali en el siglo 20: sociedad, economía, cultura y espacio*. Universidad del Valle.
- Villalba-Eguiluz, C. U., Etxano, I., Brown, H. S., Vallejo, M. C., Morais Mourato, J., Bussler, A., Rotmans, J., Fischer-Kowalski, M., Svedin, U., Borgström, S., Liljenström, H., Hunter, G. W., Vettorato, D., Sagoe, G., Hausknost, D., Machin, A., Beling, A. E. A. E., Vanhulst, J., Demaria, F., ... Svendsen, G. T. (2018). Systems analysis approach for complex global challenges. *Ecological Economics*, 10(1), 8863–8871. <https://doi.org/10.1186/s13717-016-0067-z>
- Wangai, P. W., Burkhard, B., & Müller, F. (2016). A review of studies on ecosystem services in Africa. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 225–245. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.08.005>
- Wilheim, J. (1987). Sao Paulo: los problemas ambientales de su metropolización y su control * El paisaje cultural. *Amb. y Des*, 47–60.
- Xu, G. H., & Wu, J. G. (2016). Social-ecological transformations of Inner Mongolia: a sustainability perspective. *Ecological Processes*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s13717-016-0067-z>
- Young, R. F. (2011). Planting the living city: Best practices in planning green infrastructure - Results from major U.S. cities. *Journal of the American Planning Association*, 77(4), 368–381. <https://doi.org/10.1080/01944363.2011.616996>
- Young, R. F., & McPherson, E. G. (2013). Governing metropolitan green infrastructure in the United States. *Landscape and Urban Planning*, 109(1), 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.09.004>
- Yujnovsky, O. (1971). *La estructura interna de la ciudad: El caso latinoamericano*. Ediciones SIAP.

- Zapata-Caldas, E., Calcagni, F., Baró, F., & Langemeyer, J. (s/f). Using crowdsourced imagery to assess cultural ecosystem services in data-scarce urban contexts: The case of the metropolitan area of Cali. *Ecosystem Services*.
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., & Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, 64(2), 253–260.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024>

ANEXOS

Anexo 1. Estructura del script en Python para el muestreo estratificado

```
# -----
# Stratified Random Selection, Merge and Centroids
# By: "Territorios" Research Group
# Created on: 2017-03-28
# -----

# Import arcpy module
from arcpy import env
import os
from arcpy.sa import *
arcpy.env.overwriteOutput = 1

os.system('cls')

# Set of arguments
dirbase = raw_input('Workspace directory: ')
dirout = raw_input('Output directory: ')
inputShapefile = raw_input('Input data: ')
print "-----"
print "    Running script: Stratified Random Selection, Merge and Centroids    "
print "-----"
# Workspace
#outputDirectory = r"H:\X\Prueba\tile_607\escript\Tile607.gdb"
arcpy.env.workspace = dirbase
outputDirectory = arcpy.env.workspace

# Set of variables
inputData = inputShapefile
#inputData = "MS_607_TMS_a"

# PROCESS 1: SELECT CLASSES
for a in range(1, 16): # Number of classes
    print "We're on time %d" % (a)
    outputClass = "MS_607_TMS_class_" + str(a)
    where_clause = "Classvalue = " + str(a)
    # Execute Select
    arcpy.Select_analysis(inputData, outputClass, where_clause)
    print "Done with " + outputClass

# PROCESS 2: SUBSET FEATURES
# Data sets (40% and 60%)
inputClasses = arcpy.ListFeatureClasses("MS_607_TMS_class*")
for b in inputClasses:
    for c in range(1, 21): # Number of groups of 40% and 60% to be created
        output60p = b.split("_")[-2] + "_" + b.split("_")[-1] + "_" + "MS_607_TMS_60p" + "_" + "iteration" + "_" + str(c)
        output40p = b.split("_")[-2] + "_" + b.split("_")[-1] + "_" + "MS_607_TMS_40p" + "_" + "iteration" + "_" + str(c)
        # Execute SubsetFeatures
        arcpy.SubsetFeatures_ga(b, output60p, output40p, "60", "PERCENTAGE_OF_INPUT")
        print "class " + str(b)
        print "Done with SubsetFeatures class " + "iteration " + str(c)

# PROCESS 3: MERGE
# Merge feature classes representing 40% of the records
for d in range(1, 21): # Number of groups of 40% to be merged
    inputFile40 = "MS_607_TMS_40p_iteration_" + str(d)
    listElements40 = arcpy.ListFeatureClasses(inputFile40)
    print "New group", listElements40
    outputFile40 = "MS_607_TMS_40p_all_merge" + "_" + str(d)
    arcpy.Merge_management(listElements40, outputFile40)
    print "Done with merge class " + outputFile40

# Number of groups of 60% to be merged
inputFile60 = "MS_607_TMS_60p_iteration_" + str(d)
listElements60 = arcpy.ListFeatureClasses(inputFile60)
print "New group", listElements60
outputFile60 = "MS_607_TMS_60p_all_merge" + "_" + str(d)
arcpy.Merge_management(listElements60, outputFile60)
print "Done with merge class " + outputFile60

# PROCESS 4: FEATURE TO POINTS (CENTROIDS)
outFeatureClassPts = outputFile40 + "_pts"
# Use FeatureToPoint function to find a point inside polygon
arcpy.FeatureToPoint_management(outputFile40, outFeatureClassPts, "INSIDE")
print "Done finding centroids " + outFeatureClassPts
print "Finished!"
```

Anexo 2. Estructura del script en Python para la clasificación de coberturas

```
# -----
# Created on: 2017-03-23
# By: "Territorios" Research Group
# Description: it runs Random Trees, Classify Raster, Updated Accuracy Assessment Points and Confusion Matrix
# -----

# Import arcpy module
import arcpy, os, sys, string
from arcpy import env
from arcpy.sa import *
arcpy gp.overwriteOutput = 1

os.system('cls')

# Set of arguments
dirbase = raw_input('Workspace directory: ')
dirout = raw_input('Output directory: ')
inputSegmented = raw_input('Enter segmented file name: ')
inputDEM = raw_input('Enter DEM name: ')

print "-----"
print "    Running script: Images Classification    "
print "-----"

# Set the workspace for ListFeatureClasses
arcpy.env.workspace = dirbase #r"D:\Workspace\Procalculo\MeanShift\Tile607.gdb"

# Local variables:
Segmentation = dirbase + "\\" + inputSegmented # r"D:\Workspace\Procalculo\MeanShift\Tile607.gdb\MS_607_spe15_spa15_531"
DEM_30m = dirbase + "\\" + inputDEM
output = dirout # r"D:\Workspace\Procalculo\MeanShift"

# PROCESS: Train Random Trees Classifier
# List of segmements (60 percent of the total)
inputData = arcpy.ListFeatureClasses("MS_607_TMS_60p_all_merge_*")
for a in inputData:
    if a[-3:] <> "pts": # This is used in order to avoid listing point features classes
        outputFileECD = output + "\\" + a.split("_")[-7] + "_" + a.split("_")[-6] + "_" + a.split("_")[-1] + ".ecd"
        print a
        # Run: Train Random Trees Classifier
        arcpy gp.TrainRandomTreesClassifier_sa(Segmentation, a, outputFileECD, DEM_30m, "50", "30", "0",
"COLOR;MEAN;STD;COUNT;COMPACTNESS;RECTANGULARITY")
        print "Done with " + a

# PROCESS: Classify Raster
# Output for Classify Raster
outputFileCR = a.split("_")[-7] + "_" + a.split("_")[-6] + "_" + a.split("_")[-1] + "_cr"
# Run: Classify Raster
arcpy gp.ClassifyRaster_sa(Segmentation, outputFileECD, outputFileCR, DEM_30m)
print "Done with " + outputFileCR

# PROCESS: Updated Accuracy Assessment Points
# List of feature classes for Updated Accuracy Assessment Points
updateAAP = arcpy.ListFeatureClasses("*_pts")
for b in updateAAP:
    print b
    # Output for UAAP feature classes
    outputFileUAAP = a.split("_")[-7] + "_" + a.split("_")[-6] + "_" + a.split("_")[-1] + "_uaap"
    #Run: Update Accuracy Assessment Points
    arcpy gp.UpdateAccuracyAssessmentPoints_sa(outputFileCR, b, outputFileUAAP, "CLASSIFIED")
    print "Done with " + outputFileUAAP

# PROCESS: Compute Confusion Matrix
# Output for Compute Confusion Matrix
outputFileCMM = a.split("_")[-7] + "_" + a.split("_")[-6] + "_" + a.split("_")[-1] + "_cmm"
# Run: Compute Confusion Matrix
arcpy gp.ComputeConfusionMatrix_sa(outputFileUAAP, outputFileCMM)
print "Done with " + outputFileCMM

print "Finished!"
```

Anexo 3. Encuesta de *Google Docs* y ejemplo del formato diligenciado por los expertos.

Preguntas relativas a la provisión de servicios ecosistémicos. Dirigidas a los expertos identificados para los grupos temáticos «bosques y «áreas seminaturales», «áreas de producción agrícola» y «áreas húmedas»:

Aprovisionamiento de nutrición

1. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para proveer «biomasa para alimentación»?
2. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para proveer «agua para consumo humano»?

Aprovisionamiento de materiales

3. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas de proveer «materiales a partir de biomasa»?
4. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas de proveer «agua como materia prima»?
5. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas de proveer «materiales metálicos y no metálicos»?

Aprovisionamiento de energía

6. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas de proveer «biomasa para producir energía»?
7. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas de proveer «energía renovable»?
8. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas de proveer «energía no renovable»?

Regulación y mantenimiento: regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias

9. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir a la «regulación de residuos y sustancias tóxicas»?

Regulación y mantenimiento: regulación de flujos

10. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir a la «regulación de los flujos de masa»?
11. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir a la «regulación de los flujos de líquido»?
12. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir a la «regulación de los flujos de aire»?

Regulación y mantenimiento: mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas

13. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir al «mantenimiento del ciclo de vida y hábitat»?
14. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir al «control de plagas y enfermedades»?
15. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir a la «formación y composición del suelo»?
16. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir al «mantenimiento de la composición química del agua»?
17. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir a la «regulación del clima y la composición atmosférica»?

Servicios ecosistémicos culturales: interacción física e intelectual

18. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir a la «interacción y experiencia física con la naturaleza»?
19. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir a la «interacción intelectual y representativa con la naturaleza»?

Servicios ecosistémicos culturales: interacción simbólica y espiritual

20. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir a la «interacción espiritual y emblemática con la naturaleza»?
21. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para contribuir al «reconocimiento de la existencia y el valor intrínseco de la naturaleza»?

Preguntas relativas a la demanda de servicios ecosistémicos. Dirigidas a los expertos identificados para el grupo temático «áreas artificializadas»:

Aprovisionamiento de nutrición

1. ¿Cuál es el nivel de demanda de «biomasa para alimentación» de estas coberturas de la tierra?
2. ¿Cuál es el nivel de demanda de «agua para consumo humano» de estas coberturas de la tierra?

Aprovisionamiento de materiales

3. ¿Cuál es el nivel de demanda de «materiales a partir de biomasa» de estas coberturas de la tierra?
4. ¿Cuál es el nivel de demanda de «agua como materia prima» de estas coberturas de la tierra?
5. ¿Cuál es el nivel de demanda de «materiales metálicos y no metálicos» de estas coberturas de la tierra?

Aprovisionamiento de energía

6. ¿Cuál es el nivel de demanda de «biomasa para producir energía» de estas coberturas de la tierra?
7. ¿Cuál es el nivel de demanda de «energía renovable» de estas coberturas de la tierra?
8. ¿Cuál es el nivel de demanda de «energía no renovable» de estas coberturas de la tierra?

Regulación y mantenimiento: regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias

9. ¿Cuál es el nivel de demanda de estas coberturas de la tierra en cuanto a «regulación de residuos y sustancias tóxicas»?

Regulación y mantenimiento: regulación de flujos

10. ¿Cuál es el nivel de demanda de estas coberturas de la tierra en cuanto a «regulación de los flujos de masa»?

11. ¿Cuál es el nivel de demanda de estas coberturas de la tierra en cuanto a «regulación de los flujos de líquido»?
12. ¿Cuál es el nivel de demanda de estas coberturas de la tierra en cuanto a «regulación de los flujos de aire»?

Regulación y mantenimiento: mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas

13. ¿Cuál es el nivel de demanda de «mantenimiento del ciclo de vida y hábitat» de estas coberturas de la tierra?
14. ¿Cuál es el nivel de demanda de «control de plagas y enfermedades» de estas coberturas de la tierra?
15. ¿Cuál es el nivel de demanda de «formación y composición del suelo» de estas coberturas de la tierra?
16. ¿Cuál es el nivel de demanda de «mantenimiento de la composición química del agua» de estas coberturas de la tierra?
17. ¿Cuál es el nivel de demanda de «regulación del clima y la composición atmosférica» de estas coberturas de la tierra?

Servicios ecosistémicos culturales: interacción física e intelectual

18. ¿Cuál es el nivel de demanda de estas coberturas de la tierra en cuanto a «interacción y experiencia física con la naturaleza»?
19. ¿Cuál es el nivel de demanda de estas coberturas de la tierra en cuanto a «interacción intelectual y representativa con la naturaleza»?

Servicios ecosistémicos culturales: interacción simbólica y espiritual

20. ¿Cuál es el nivel de demanda de estas coberturas de la tierra en cuanto a «interacción espiritual y emblemática con la naturaleza»?
21. ¿Cuál es el nivel de demanda de estas coberturas de la tierra en cuanto al «reconocimiento de la existencia y el valor intrínseco de la naturaleza»?

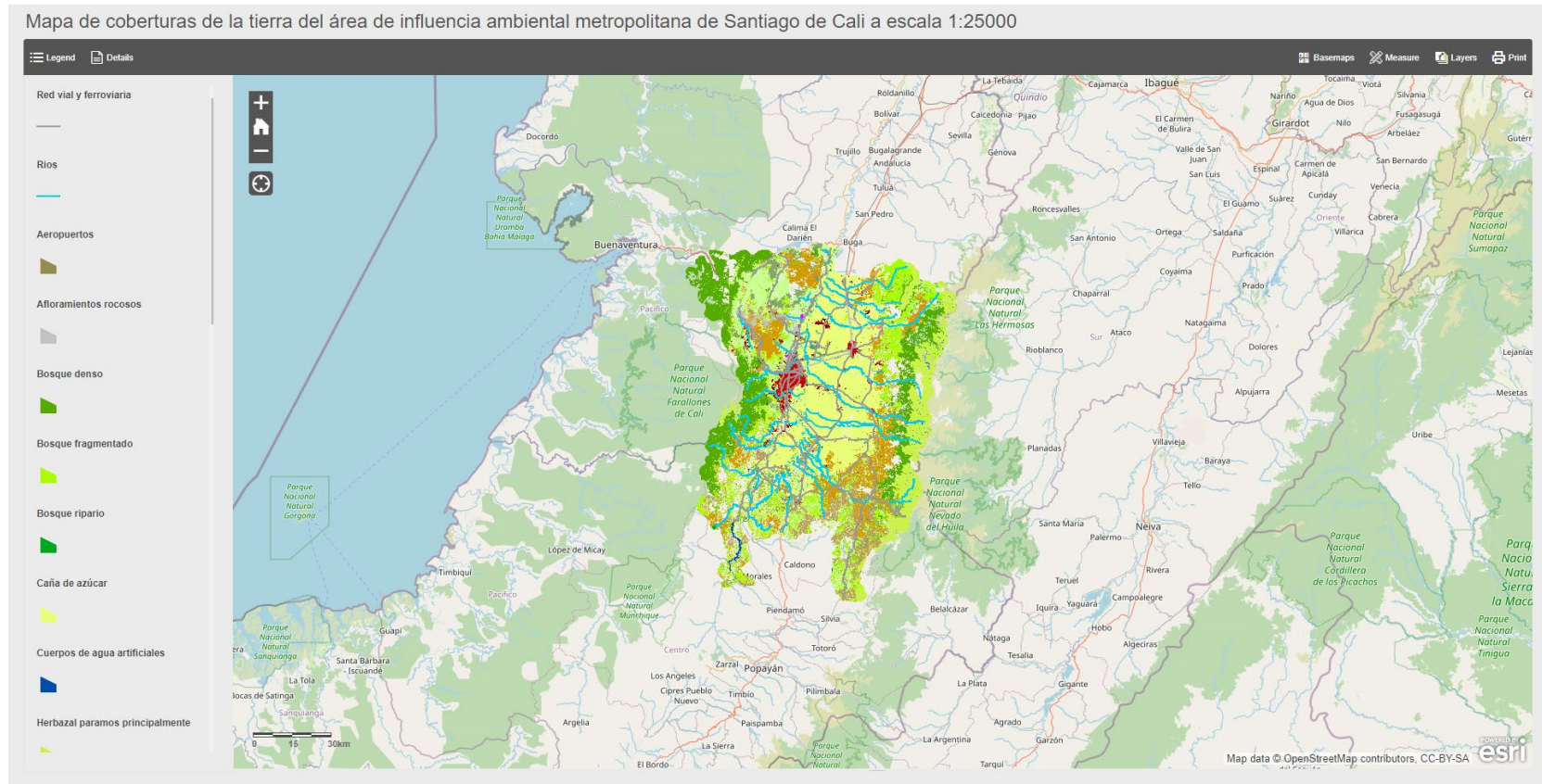
Ejemplo de formato diligenciado por expertos sobre la matriz de capacidad de las coberturas de la tierra para *proporcionar* servicios ecosistémicos (SE)

Servicios ecosistémicos: aprovisionamiento							
Los SE de aprovisionamiento son todas las salidas nutricionales, materiales y energéticas de los sistemas vivos. Esta sección de SE de aprovisionamiento se compone de tres divisiones: a) nutrición, b) material y c) energía.							
SE de aprovisionamiento: nutrición Esta división abarca todas las salidas de los sistemas vivos que son el aprovisionamiento nutricional y alimenticio de la sociedad.							
1. ¿Qué capacidad tienen estas coberturas para proveer "biomasa para alimentación (1.1.1)"? *							
	0 - No relevante	1 - Muy baja	2 - Baja	3 - Media	4 - Alta	5 - Muy alta	No aplica
Cultivos transitorios	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Caña de azúcar	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Otros cultivos permanentes	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Pastos limpios	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Pastos arbolados	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Mosaico de pastos con espacios naturales	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Ejemplo de formato diligenciado por expertos sobre la matriz de capacidad de las coberturas de la tierra para *demandar* servicios ecosistémicos (SE)

Servicios ecosistémicos: aprovisionamiento							
Los SE de aprovisionamiento son todas las salidas nutricionales, materiales y energéticas de los sistemas vivos. Esta sección de SE de aprovisionamiento se compone de tres divisiones: a) nutrición, b) material y c) energía.							
SE de aprovisionamiento: nutrición Esta división abarca todas las salidas de los sistemas vivos que son el aprovisionamiento nutricional y alimenticio de la sociedad.							
1. ¿Cuál es el nivel de demanda de "biomasa para alimentación (1.1.1)" de estas coberturas de la tierra? *							
	0 - Nulo	1 - Muy bajo	2 - Bajo	3 - Medio	4 - Alto	5 - Muy alto	No aplica
Tejido urbano continuo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Tejido urbano discontinuo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Zonas industriales o comerciales	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Aeropuertos	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Zonas de extracción minera	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Zonas de disposición de residuos	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Zonas verdes urbanas	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Instalaciones recreativas	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

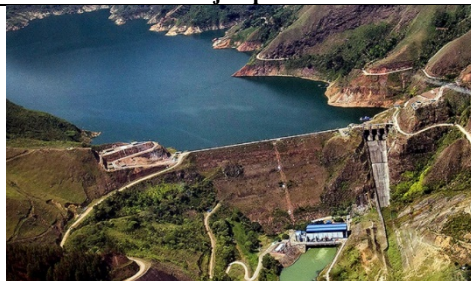
Anexo 4. Muestra de mapa de coberturas de la tierra en ArcGIS Online usado como insumo la consulta a expertos



Anexo 5. Descripción de los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento. Adaptado de Haines-Young y Potschin (2013) y Tabares-Mosquera & Gaitán-Idárraga (2018)

Sección	División	Grupo	Comprende	Ejemplo
1. Aprovisionamiento: todas las salidas nutricionales, materiales y energéticas de los sistemas vivos	1.1. Nutrición: esta división abarca todas las salidas de los sistemas vivos que son el aprovisionamiento nutricional y alimenticio de la sociedad	1.1.1. Biomasa	• Cultivos de cereales, vegetales, frutas • Presencia silvestre de bayas, frutas, setas • Animales encerrados y sus productos • Acuicultura • Pesca comercial y de subsistencia • Cacería de animales	 Piña Oro Miel. Fuente: Agencia UN.
		1.1.2. Agua	• Agua superficial extraída de ríos, lagos y otros cuerpos de agua abiertos para beber	 Captación de agua. Fuente: El Tiempo
	1.2. Materiales: esta división comprende todas las salidas de los sistemas vivos que aprovisionan de materias primas a la humanidad	1.2.1. Biomasa	• Fibras y otros materiales de plantas, algas y animales para uso directo o procesado (madera, flores, huesos, celulosa, algodón, caucho, cera, resina) • Materiales genéticos de toda la biota para bioquímicos y farmacéuticos	 Extracción de madera. Fuente: CVC

Sección	División	Grupo	Comprende	Ejemplo
		1.2.2. Agua	• Agua superficial sin propósito bebible (uso doméstico, riego, consumo de ganado, uso industrial)	 Riego por goteo en cultivo de tomate. Fuente: Agencia UNAL
		1.2.3. Materiales abióticos metálicos y no metálicos	• Minerales metálicos • Pigmentos • Material de construcción (arcilla/barro)	 Extracción de oro en Suárez, Cauca. Fuente: Revista Semana
	1.3. Energía: esta división incluye todas las salidas de los sistemas vivos que la humanidad emplea para la producción de energía	1.3.1. Biomasa	• Combustible de madera • Leña • Paja • Cultivos para quema y producción de energía • Excremento • Grasa • Aceites	 Quema de leña en producción de panela. Fuente: Radio UNAL

Sección	División	Grupo	Comprende	Ejemplo
		1.3.2. Fuente abiótica renovable	• Hidroeléctrica • Viento	 Embalse La Salvajina, Cauca. Fuente: El País
		1.3.3. Fuente abiótica no renovable	• Combustibles fósiles y sus derivados • Carbón • Petróleo • Gas	 Carbón. Fuente: Portafolio.co
2. Regulación y mantenimiento: las formas en que los organismos vivos pueden mediar o moderar el entorno ambiental que afecta la actuación humana	2.1. Regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias: a través de procesos biogeoquímicos, las coberturas de la tierra naturales y seminaturales están en capacidad de filtrar efluentes, descomponer residuos tóxicos y eliminar agentes patógenos nocivos en el ambiente	2.1.1. Mediación por sistemas vivos	• Bio-remediación, filtración, dilución y secuestro biofísicoquímica de contaminantes en los ecosistemas • Adsorción de metales pesados y compuestos orgánicos en los ecosistemas (combinación de factores bióticos y abióticos) • Infraestructura verde para reducir el ruido y los olores	 Humedal Guarino, Jamundí. Fuente: CVC

Sección	División	Grupo	Comprende	Ejemplo
	2.2. Regulación de flujos: las coberturas naturales y seminaturales regulan diversos flujos en el ambiente. Por ejemplo, la cubierta vegetal previene la erosión del suelo y regula los flujos de agua, pero también, crea amortiguadores contra los eventos naturales reduciendo los daños que puedan causar las tormentas, avalanchas, etcétera	2.2.1. Flujos de masa	• Estabilización y control de la tasa de erosión • Cobertura vegetal en pendientes • Amortiguación y atenuación de los flujos de masa • Transporte y almacenamiento de sedimentos por ríos y lagos	 Vegetación en pendientes. Fuente: Portafolio Agrícola
		2.2.2. Flujos de líquido	• Mantenimiento del ciclo hidrológico • Captación efectiva de la precipitación por cobertura vegetal • Protección contra inundaciones por ecosistemas y cobertura vegetal	 Páramo en PNN Las Hermosas. Fuente: parquesnacionales.gov.co
		2.2.3. Flujos de gases / aire	• Protección contra tormentas • Ventilación y transpiración • Vegetación natural o plantada que sirve de cinturón de protección y permite la ventilación del aire	 Barrera natural arbustiva. Fuente: CVC

Sección	División	Grupo	Comprende	Ejemplo
	2.3. Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas: mediante procesos biogeoquímicos, las coberturas de la tierra naturales y seminaturales mantienen condiciones aptas para la vida de todas las especies. Es así como se regulan los hábitats de las especies, se fijan nutrientes formadores de suelo, se purifica la composición química del agua y se regula el clima y la composición de la atmósfera.	2.3.1. Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	• Polinización y dispersión de semillas por insectos, aves y otros animales • Hábitats de reproducción y cría de plantas y animales (pastizales, microestructura de ríos)	 Río Cauca, hábitat de cría y reproducción de fauna. Fuente: El País
		2.3.2. Control de plagas y enfermedades	• Regulación de especies invasoras • Control de enfermedades en cultivos y poblaciones humanas	 Los bosques son reserva de organismos erradicadores de plagas. Fuente: CVC
		2.3.3. Formación y composición del suelo	• Meteorización física, química y biológica • Descomposición / mineralización de material orgánico • Fijación de nutrientes	 Formación de material orgánica. Fuente: ICA

Sección	División	Grupo	Comprende	Ejemplo
		2.3.4. Mantenimiento de la composición química del agua	• Purificación de agua • Amortiguación de sedimentos • Desnitrificación • Remineralización de fósforo	 Los humedales filtran contaminantes. Humedal Timbique, Palmira. Fuente: CVC
		2.3.5. Composición atmosférica y regulación del clima	• Reducción de los gases de efecto invernadero • Secuestro de carbono • Regulación del clima local y regional • Mantenimiento de la calidad del aire • Regulación de los patrones de temperatura y precipitación	 Zona verde urbanas de Cali. Fuente: Panoramio
3. Cultural: las salidas no materiales, y normalmente no consumibles, de los ecosistemas que afectan el estado físico y mental de las personas	3.1. Interacción física e intelectual: la interacción con la naturaleza ofrece oportunidades recreativas que desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la salud mental y física de los seres humanos. También, los animales, las plantas y los ecosistemas han sido fuente de inspiración para gran parte del arte, ciencia, cultura y el diseño.	3.1.1. Experiencia física	• Recreación • Turismo	 Viaje en parapente. Fuente; El Tiempo

Sección	División	Grupo	Comprende	Ejemplo
		3.1.2. Intelectual y representativa	• Ciencia • Arte • Educación • Entretenimiento	 Paisaje del Valle del Cauca. Fuente: El País
	3.2. Interacción simbólica y espiritual: la naturaleza es un elemento común en la mayoría de las principales religiones. El patrimonio natural, el sentimiento espiritual de pertenencia, el conocimiento tradicional y las costumbres conexas son importantes para crear un sentido de pertenencia.	3.2.1. Espiritual y/o emblemática	• Simbólico • Sagrado • Religioso • Fauna y flora emblemática • Lugares sagrados	 Kwet Wala, casa sagrada de la tribu Nasa. Fuente: pradera-valle.gov.co
		3.2.2. Existencia y valor intrínseco natural	• Valoración de especies silvestres • Legado generacional natural • Creencia ética y moral por la naturaleza	 Puma en PNN Las Hermosas. Fuente: parquesnacionales.gov.co

Anexo 6. Descripción de las coberturas de la tierra «Territorios Agrícolas». Adaptado de IDEAM (2010) y Tabares-Mosquera & Gaitán-Idárraga (2018)

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
1. Áreas artificializadas	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo		Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno	• Centro de aglomeraciones y centros históricos • Zonas de habitación periféricas • Parqueaderos y áreas cubiertas por asfalto o cemento • Estructuras y edificaciones artificializadas con área mayor a una (1) hectárea	 Panorámica urbana de Cali. Fuente: El País
		Simbología RGB 204 0 0				
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo		Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación	• Casas individuales, con jardín y espacios verdes • Manzanas menos densas con espacios verdes al interior • Parques y áreas verdes urbanas con área menor a una (1) hectárea	 Sur de Santiago de Cali. Fuente: Cali.gov
		Simbología RGB 248 0 0				
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales		Son las áreas cubiertas por infraestructura artificial (terrenos cimentados, alquitranados, asfaltados o estabilizados), sin	• Áreas de producción industrial • Centros de investigación y desarrollo • Centros comerciales y de exposiciones con su infraestructura	

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
		Simbología RGB 255 204 0		presencia de áreas verdes dominantes, las cuales se utilizan también para actividades comerciales o industriales	Equipamientos con área mayor a una (1) hectárea de: seguridad pública y penal; centros hospitalarios y psiquiátricos; universidades, escuelas; infraestructura de telecomunicaciones; bases militares; plantas de tratamiento de aguas; subestaciones eléctricas	 Zona industrial ACOPI. Fuente: inelco.com
		1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados		Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; se incluye la infraestructura conexa y las instalaciones asociadas tales como: estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes	- Infraestructura vial como carreteras, autopistas, puentes y parqueaderos - Infraestructura férrea como vías, intercambiadores, estaciones de abordaje, sitios de mantenimiento y zonas verdes conexas a las estaciones	 Ferrocarril del Pacífico. Fuente: El País
		Simbología RGB 194 194 194				
		1.2.4. Aeropuertos		Comprende la infraestructura donde funciona una terminal aérea. Incluye las pistas de aterrizaje y carreteo, los edificios, las superficies libres, las zonas de amortiguación y la vegetación asociada	- Aeropuertos militares, comerciales y deportivos - Terminales de pasajeros, talleres, bodegas, parqueaderos - Pistas de aterrizaje y carreteo - Superficies cubiertas de vegetación y los espacios asociados	 Aeropuerto Bonilla Aragón de Palmira. Fuente: El País
		Simbología RGB 150 140 80				

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
	1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera		Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales asociados con actividades mineras, de construcción, y producción de residuos de diferente origen	• Arenales; canteras; gravilleras • Infraestructuras industriales asociadas (fábricas de cemento) • Superficies de agua con área menor a una (1) hectárea producto de la extracción • Los sitios de extracción a cielo abierto en actividad o abandonados sin vegetación	 Fábrica San Marcos. Fuente: El País
		Simbología RGB 211 23 255				
		1.3.2. Zonas de disposición de residuos		Son espacios en los que se depositan residuos urbanos, restos de construcción, desechos industriales y material estéril de minas	• Vertederos públicos o de municipalidades • Vertederos industriales de residuos líquidos y sólidos • Edificios, parqueaderos y carreteras asociadas con la estructura, con área menor a una (1) hectárea	 Relleno sanitario Colomba-El Guabal, Yotoco. Fuente: El País
	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas					
		1.4.1. Zonas verdes urbanas		Comprende las áreas cubiertas por vegetación dentro del tejido urbano con tamaño superior a 1 hectárea, incluyendo parques urbanos y cementerios	• Cementerios con zonas verdes • Jardines ornamentales • Parques, estanques de parques, áreas cubiertas por césped • Parques botánicos y zoológicos incluidos o al lado del “tejido urbano” • Espacios arbolados ubicados entre los edificios del “tejido urbano”	 Parque La Flora, Cali. Fuente: Google Earth
		Simbología RGB 180 215 158				

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
		1.4.2. Instalaciones recreativas		Son los terrenos dedicados a las actividades de camping, deporte, parques de atracción, golf, hipódromos y otras actividades de recreación y ocio, incluyendo los parques habilitados para esparcimiento, no incluidos dentro del “tejido urbano”	• Áreas de carreras automovilísticas • Zonas arqueológicas declaradas • Parques botánicos y zoológicos no incluidos en “tejido urbano” • Campos de fútbol y la infraestructura asociada • Fincas y condominios recreativos ubicados en las afueras de las ciudades o a lo largo de las vías • Zonas de pastos en áreas de entrenamiento militar	 Club Campestre de Cali. Fuente: El País
2. Territorios agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Otros cultivos transitorios		Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año. También suelos en preparación para próximos cultivos transitorios	Cultivos de: • Cereales: arroz, maíz, sorgo, cebada, trigo • Oleaginosas y leguminosas: algodón, ajonjolí, frijol, soya, maní • Hortalizas: cebolla, zanahoria, remolacha • Tubérculos: papa, yuca, flores a cielo abierto	 Frijol Cargamanto. Fuente: FENALCE
		Simbología RGB 255 255 166				
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Otros cultivos permanentes		Comprende las áreas dedicadas a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar. También suelos en preparación para próximos cultivos permanentes	Cultivos de: • Herbáceas: caña panelera, plátano y banano • Arbustivos: café y cacao • Arbóreos: palma africana y árboles frutales	 Cultivo de café. Fuente: El País

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
			2.2.1.2. Caña de azúcar	Cobertura compuesta por el cultivo de caña de azúcar y su infraestructura asociada. Es un cultivo industrial para la producción de azúcar, que se corta cada 12 meses, y una duración de la plantación de aproximadamente cinco años	• Cultivos de caña de azúcar con área mayor a una (1) hectárea • Suelos en preparación y de corte reciente para próximos cultivos de caña de azúcar • Infraestructura asociada con el cultivo de caña de azúcar con área menor a una (1) hectárea (vías, campamentos, bodegas)	 Caña de azúcar. Fuente: ASOCAÑA
		Simbología RGB 231 160 89	Simbología RGB 233 255 122			
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios		Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70% de la unidad; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalado y/o fertilización) y el nivel tecnológico utilizados, impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas.	• Pastos limpios con área mayor a una (1) hectárea • Zonas de pastos limpios sujetas a inundaciones temporales con área menor de 1 hectárea • Pastos con presencia esporádica de arbustales y cultivos • Infraestructuras asociadas con los pastos manejados (viviendas rurales, cercas vivas)	 Pastos limpios. Fuente: El País
		Simbología RGB 204 255 153				

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
		2.3.2. Pastos arbolados		Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. En Colombia, se ubican en general sobre áreas planas ganaderas de climas cálidos.	• Pastos arbolados con área mayor a una (1) hectárea • Pastos arbolados con zonas inundables con área mayor a una (1) hectárea • Infraestructuras asociadas con los pastos arbolados con área menor a una (1) hectárea (corrales o establos)	 Pastos arbolados: Fuente: Banco de la República de Colombia
		Simbología RGB 51 153 102				
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		Comprende las superficies ocupadas por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las coberturas no puede ser representado individualmente, como parcelas con tamaño mayor a 6 hectáreas. Las áreas de cultivos y pastos ocupan entre 30% y 70% de la superficie total de la unidad	• Mezcla de parcelas de pastos y cultivos con relictos de bosques, arbustales y vegetación secundaria, con área mayor a seis (6) hectáreas • Infraestructuras asociadas con los cultivos y los pastos manejados (viviendas rurales, vías, corrales)	 Mosaico de cultivos, pastos y áreas naturales. Fuente: IDEAM
		Simbología RGB 214 153 0				

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
		2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales		Constituida por las superficies ocupadas por coberturas de pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las zonas de pastos y de espacios naturales no puede ser representado individualmente y las parcelas de pastos presentan un área menor a 6 hectáreas. Las coberturas de pastos representan entre 30% y 70% de la superficie total del mosaico.	• Mezcla de pastos con relictos de bosques, arbustales y vegetación secundaria, con área mayor a seis (6) hectáreas • Infraestructuras asociadas con los pastos manejados con área menor a una (1) hectárea (viviendas rurales, vías, corrales)	 Mosaico de pastos y zonas naturales. Fuente: IDEAM
3. Bosques y áreas semi naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso		Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) continuo. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva sin alterar su estructura original.	• Áreas con una cobertura densa de palmas naturales con área superior a una (1) hectárea. • Áreas con una cobertura densa de guadua y extensión mayor a una (1) hectárea. • Formaciones arbóreas secundarias regeneradas de manera natural	 Bosque denso en Farallones de Cali. Fuente: cali.gov

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
		3.1.3. Bosque fragmentado		Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición. Los bosques fragmentados tienden a presentarse en la periferia urbana y zonas de colonización	• Parches de bosque natural generalmente de forma geométrica con área mayor a una (1) hectárea	 Bosque fragmentado. Fuente: Banco de la República de Colombia
		Simbología RGB 170 255 0				
		3.1.4. Bosque ripario		Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Mientras en las regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas, las franjas de bosque en cursos de agua son conocidas como bosque ripario en las zonas andinas	• Bosque ripario con área superior a una (1) hectárea • Coberturas de asociaciones de palma y guadua a lo largo de los márgenes de los ríos, con altura y densidad de bosque natural	 Bosque ripario. Fuente: El País
		Simbología RGB 0 168 132				

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.1.5. Plantación forestal		Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. Esta cobertura presenta un patrón geométrico regular, constituido por filas y columnas de árboles generalmente de la misma edad.	• Plantaciones de coníferas o latifoliadas con área mayor a una (1) hectárea. • Zonas quemadas dentro de la plantación con área mayor a una (1) hectárea. • Parcelas de plantaciones en proceso de aprovechamiento (zonas en tala). • Infraestructura asociada con área menor a una (1) hectárea (vías, campamentos, aserraderos)	 Plantación forestal en La Cumbre, Valle del Cauca. Fuente: Google Earth
		3.2.1. Herbazal (páramos)		Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes sustratos, los cuales forman una cobertura densa. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original ni sus características funcionales	• Coberturas naturales de herbáceas de páramo y subpáramo • Coberturas de herbazales quemados • Coberturas de arbustales	 Páramo en PNN Farallones. Fuente: CVC

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición		Comprende aquella cobertura vegetal en proceso de sucesión natural producto de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos o en áreas agrícolas abandonadas.	• Áreas de arbustos con extensión mayor a una (1) hectárea. • Pequeños fragmentos de pastos y arbustos en sucesión con área mayor a una (1) hectárea.	 Vegetación en transición. Fuente: El Tiempo
		Simbología RGB 153 204 0				
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.2. Afloramientos rocosos		Áreas en las que la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas y sin/exiguo desarrollo de vegetación. En la región andina, se localizan principalmente en las áreas de fuerte pendiente, donde predominan los sustratos de rocas duras y resistentes. Los afloramientos rocosos son producto de la dinámica natural del terreno.	• Áreas de afloramientos rocosos con área superior a una (1) hectárea • Áreas rocosas con cobertura vegetal escasa que representa menos de 30% de la superficie	 Afloramiento rocoso en PNN Farallones. Fuente: Mauricio Tabares Mosquera
		Simbología RGB 194 194 194				

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
		3.3.3. Tierras desnudas y degradadas		Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema.	• Zonas de tierras desnudas y degradadas con área superior a una (1) hectárea. • Zonas semidesérticas, con vegetación seca y ocurrencia de procesos de erosión. • Áreas de rocas, cantos rodados o cascajo en laderas empinadas en las que se presenta una cobertura vegetal escasa que representa menos de 30% de la superficie	 Cárcavas. Fuente: CVC
		Simbología RGB 236 236 236				
4 y 5. Áreas húmedas y superficies de agua	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1 Áreas húmedas continentales (humedales)		En las planicies aluviales se forman cuerpos de agua denominados humedales que están asociadas con las áreas de desborde de los grandes ríos con el nivel freático a nivel del suelo en forma temporal o permanente	• Cuerpos de agua ubicados en las llanuras de inundación de los ríos con área mayor a una (1) hectárea • Cuerpos de agua con presencia de vegetación acuática con área mayor a una (1) hectárea	 Humedal del Valle del Cauca. Fuente: CVC
		Simbología RGB 51 204 204				
	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos		Corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Esta cobertura comprende los cauces principales de las cuencas hidrográficas que	• Cursos de agua naturales con área de polígono mayor a una (1) hectárea	 Río Cauca. Fuente: CVC
		Simbología RGB 0 204 242				

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Descripción	Contiene	Fotografía
				componen el área de estudio		
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales		Superficies o depósitos de agua naturales de carácter abierto o cerrado, que pueden estar conectadas con un río o con el mar. En la zona andina hay cuerpos de agua (lagos y lagunas) situados en alta montaña que constituyen las áreas de nacimiento de ríos	• Lagunas u otros cuerpos agua naturales con área mayor a una (1) hectárea	 Laguna de páramo en PNN Farallones. Fuente: Mauricio Tabares Mosquera
		Simbología RGB 51 102 255				
		5.1.4. Cuerpos de agua artificiales		Esta cobertura comprende los cuerpos de agua de carácter artificial que fueron creados por el hombre para almacenar agua, usualmente con el propósito de generación de electricidad y el abastecimiento de acueductos, aunque también para prestar otros servicios como: control de caudales e inundaciones, riego y con fines turísticos y recreativos	• El cuerpo de agua y las áreas secas expuestas en periodos de vaciado y estiaje • La infraestructura asociada con área menor a una (1) hectárea (presa, generador, transformador) • Las islas presentes en los cuerpos de agua con área menor a una (1) hectárea • Lagunas para irrigación de cultivos	 Embalse Salvajina. Fuente: El País
		Simbología RGB 0 77 168				

Anexo 7. Glosario de términos usado por expertos para la valoración de servicios ecosistémicos. Adaptado Tabares-Mosquera & Gaitán-Idárraga (2018)

Área de influencia metropolitana: entidad funcional de gran escala que contiene múltiples áreas urbanizadas y construidas de forma discontinua, pero que funcionan como un todo económico integrado (Getis et al., 1994; Martínez-Toro, 2014).

Cobertura de la tierra: cubierta física y biológica observable de la superficie terrestre (Burley, 1961).

Demanda de servicio ecosistémico: sumatoria de todos los bienes y servicios ecosistémicos requeridos por un área particular (Baró et al., 2016; Burkhard et al., 2012).

Estructura ecológica: conjunto de coberturas de la tierra naturales y seminaturales que cumplen procesos biogeoquímicos concebidos por los seres humanos como servicios, pero que contribuyen al mantenimiento de las diferentes formas de vida (van der Hammen & Andrade, 2003).

Estructura urbana: conjunto de elementos que favorece la consolidación y el funcionamiento de superficies urbanas a escala regional metropolitana (George, 1972; Yujnovsky, 1971).

Oferta de servicio ecosistémico: capacidad de un área particular de proveer un conjunto de bienes y servicios de los ecosistemas (Baró et al., 2016; Burkhard et al., 2012).

Servicio ecosistémico: el beneficio final directo o indirecto que tiene la humanidad de la naturaleza (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Servicio ecosistémico de aprovisionamiento: todas las salidas nutricionales, materiales y energéticas de los sistemas vivos (Haines-Young & Potschin-Young, 2013).

Servicio ecosistémico cultural: todas las salidas no materiales, y normalmente no consumibles, de los sistemas vivos que afectan el estado físico y mental de las personas (Haines-Young & Potschin-Young, 2013).

Servicio ecosistémico de regulación y mantenimiento: las formas en que los organismos vivos pueden moderar el entorno ambiental que afecta la actuación humana (Haines-Young & Potschin-Young, 2013).

Anexo 8. Matriz de capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos con los valores constantes de multifuncionalidad y singularidad utilizados para generar esas dos matrices

	<i>Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra</i>	Nutrición		Materiales			Energía			Regulación de residuos...	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas				Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual					
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable	Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa	Espiritual y/o emblemática	Existencia y valor intrínseco natural	Promedio	Desviación estándar	Multifuncionalidad= conteo SE>1 / 21
Áreas artificializadas	Zonas verdes urbanas	2,8	2,8	2,6	2,6	2,2	2,2	2,6	0,8	2,6	3,4	3,4	4,2	3,8	3,4	3,2	2,8	4,2	4,8	4,6	4,6	4,8	3,3	1,0	1,0
	Instalaciones recreativas	1,6	1,0	1,2	1,0	1,4	1,2	2,0	0,8	1,8	1,8	2,0	2,2	2,8	1,4	1,4	1,4	3,0	4,0	3,2	3,8	3,8	2,1	1,0	0,9
Áreas de producción agrícola	Cultivos transitorios	5,0	1,0	2,6	1,0	0,3	2,6	1,7	0,7	2,0	1,9	1,9	1,9	2,6	2,1	2,4	1,7	2,3	2,4	2,7	2,6	2,7	2,0	0,7	0,8
	Caña de azúcar	2,6	0,7	3,0	0,9	0,1	4,1	2,0	1,3	1,6	1,4	1,4	1,7	2,0	1,1	2,1	1,3	1,9	1,0	1,9	1,1	0,9	1,6	0,8	0,8
	Otros cultivos permanentes	4,0	2,0	3,0	2,3	0,7	3,7	2,6	1,7	2,9	3,3	3,0	2,9	3,4	2,9	3,0	2,4	3,6	3,1	3,6	2,6	3,0	2,8	0,7	1,0
	Pastos limpios	2,6	0,9	1,3	1,1	0,1	1,4	1,1	0,7	1,7	1,6	1,7	1,4	1,6	1,1	1,6	1,9	2,0	1,9	1,7	1,4	1,1	1,4	0,4	0,9
	Pastos arbolados	3,0	2,4	2,9	2,0	0,7	2,3	1,7	1,6	2,6	2,9	2,9	2,9	2,9	2,6	2,7	3,1	3,1	2,9	3,0	3,1	2,9	2,6	0,6	1,0
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3,6	3,0	3,3	2,6	1,0	2,7	2,6	1,4	3,3	3,6	3,3	3,4	4,1	4,1	3,7	3,3	4,0	4,0	4,3	4,1	4,3	3,3	0,9	1,0
	Mosaico de pastos con espacios naturales	2,7	3,4	3,1	2,9	1,3	2,4	2,3	1,7	3,4	3,7	3,6	3,7	4,1	3,7	4,0	3,4	4,1	3,7	4,3	3,6	3,9	3,3	0,8	1,0

	<i>Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra</i>	Nutrición		Materiales			Energía			Regulación de residuos...	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas					Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual				
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable	Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa	Espiritual y/o emblemática	Existencia y valor intrínseco natural	Promedio	Desviación estándar	Multifuncionalidad= conteo SE>1 / 21
Bosques y áreas seminaturales	Bosque denso	3,4	5,0	4,9	4,7	1,4	3,4	3,9	1,9	4,0	4,9	5,0	4,7	5,0	3,9	4,9	4,9	5,0	4,7	5,0	4,9	5,0	4,3	1,0	1,0
	Bosque fragmentado	2,9	3,4	3,6	3,9	1,3	3,0	3,0	1,4	3,1	3,7	3,9	3,4	3,4	3,0	3,9	3,7	3,7	3,4	3,6	3,1	3,4	3,3	0,7	1,0
	Bosque ripario (ribereño)	2,0	4,0	3,4	3,9	1,7	2,9	3,1	1,6	3,6	3,0	3,7	3,9	4,1	3,0	4,0	4,0	4,1	3,7	3,9	3,3	4,0	3,4	0,7	1,0
	Plantación forestal	1,7	1,9	4,0	2,0	1,0	4,7	2,1	2,1	2,6	3,4	2,9	3,9	2,6	1,7	2,6	2,3	3,3	1,9	2,7	1,0	1,1	2,5	1,0	0,9
	Herbazal (páramos)	2,0	4,3	2,9	4,3	1,7	1,9	3,1	1,1	2,6	3,3	4,3	3,4	4,4	2,9	4,7	4,7	4,9	4,0	4,6	4,7	4,9	3,6	1,1	1,0
	Vegetación secundaria o en transición	2,1	2,7	2,7	2,6	1,4	2,7	1,9	1,0	2,6	3,3	3,0	2,9	3,0	2,6	3,4	2,6	3,1	2,9	2,9	2,3	2,6	2,6	0,6	1,0
	Afloramientos rocosos	0,6	0,9	0,4	0,4	2,6	0,3	2,1	1,4	0,6	1,0	0,4	1,0	1,0	0,7	0,9	0,6	0,4	3,3	3,3	3,4	3,3	1,4	1,1	0,3
	Tierras desnudas y degradadas	0,3	0,3	0,1	0,1	1,6	0,4	0,9	1,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,1	0,1	0,6	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,1
Áreas húmedas	Áreas húmedas continentales (humedales)	3,3	2,2	2,2	2,7	1,9	2,1	1,9	1,2	2,6	2,9	3,8	2,3	4,3	2,2	3,3	3,8	3,2	4,2	3,9	4,1	4,0	2,9	0,9	1,0
Superficies de agua	Ríos	3,0	4,1	2,2	4,1	3,3	2,1	3,8	1,8	2,8	2,6	3,4	2,6	4,3	2,4	3,7	4,0	3,4	4,2	4,3	4,2	4,1	3,4	0,8	1,0
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	2,9	3,0	1,8	3,1	1,8	1,9	2,3	1,3	2,7	3,0	4,0	2,4	4,2	2,2	3,3	4,1	3,3	4,4	4,2	4,4	4,2	3,1	1,0	1,0
	Cuerpos de agua artificiales	2,9	4,3	1,9	4,2	1,9	1,9	3,1	1,2	2,4	3,3	4,1	2,7	3,3	2,1	2,7	3,3	3,3	4,2	3,4	3,0	2,8	3,0	0,8	1,0
	Singularidad = conteo SE>1 / 21	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9			

Anexo 9. La importancia de los servicios ecosistémicos culturales proporcionados por las zonas verdes urbanas

Los servicios ecosistémicos culturales asociados a las zonas verdes urbanas fueron valorados por encima 4,6 sobre 5,0 (Tabla 19) en la consulta a expertos. Este resultado es importante debido a que la escala de trabajo a partir de la cual se clasificaron las imágenes satelitales fue 1:25 000 —con base en la unidad mínima cartográfica de una hectárea—. Por tanto, no fue posible observar el detalle de las zonas verdes urbanas ubicadas en los centros urbanos (p. ej., parques, corredores ecológicos, áreas recreacionales, etc.) del sistema. Muchas de estas zonas urbanas quedaron ocultas bajo las coberturas de tejido urbano continuo y discontinuo.

Tabla 19. Valoración de la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos culturales en el sistema socioecológico

Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual	
Experiencia física	Intelectual y representativa	Espiritual y/o emblemática	Existencia y valor intrínseco natural
4,8	4,6	4,6	4,8

Fuente: Elaboración propia

Con base en este hallazgo, durante la estancia doctoral realizada en ICTA de la UAB, se desarrolló una investigación para entender la relación entre la capacidad —medida a partir de la consulta a expertos— y el flujo —medido a partir de fotografías de la red social «Flickr» del período 2004 a 2018 mediante el uso una interfaz de programación de aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) de Flickr— de los servicios ecosistémicos culturales evaluados en el sistema socioecológico. Esta metodología ha sido ampliamente usada en el contexto europeo y norteamericano, pero recientemente se está abriendo paso en Suramérica. Aunque se realizó un análisis que incluyó las escalas del sistema socioecológico metropolitana y de ciudad de Cali, aquí se presentarán los hallazgos de la segunda. Para conocer el estudio completo, ver Zapata-Caldas et al., (en revisión).

La cantidad total de fotografías a escala de ciudad fue 545 —aproximadamente un tercio de las 1686 ubicadas dentro en el sistema socioecológico—. Sin embargo, al analizar el flujo de fotografías por cobertura del POT de Cali, se observó que solo 425 fotografías se cruzaban con los cuatro tipos de cobertura clasificados en el POT a escala de ciudad (Figura 35).

193

Esta situación podría indicar que un número considerable de fotografías fueron tomadas en pequeños parques a nivel de barrio y que las personas no necesariamente disfrutaban servicios ecosistémicos culturales únicamente en grandes parques públicos. El servicio ecosistémico «existencia y valor intrínseco» reportó 366 imágenes asociadas a escala de ciudad (86% del total), mientras que el servicio de «interacción intelectual y representativa» reportó 59 imágenes (14%).

La Figura 35 también muestra que las imágenes están distribuidas en los extremos noroccidental (322 fotos) y sur (103 fotos) de la ciudad. En el noroccidente, se tomaron 289 fotos en el zoológico —el 66% de ellas asociadas al servicio de «existencia y valor intrínseco» y el 2% al servicio «interacción intelectual y representativa» (Figura 35)—. Las coberturas de la tierra restantes registraron un bajo número de fotografías (menos de once) y tres de ellas solo reportaron fotografías para el servicio de «interacción intelectual y representativa» (*i. e.*, los parques El Aguacatal y Cristo Rey, y el corredor ecológico del río Cali). Por otro lado, al sur de la ciudad, el humedal de Las Garzas registró la mayoría de las imágenes —64 en total—, 14% de las cuales estuvieron asociadas al servicio «existencia y valor intrínseco» y el 1% al servicio «interacción intelectual y representativa». Las demás coberturas de la tierra reportaron menos de ocho imágenes (Figura 35).

El hecho de que un número considerable de fotografías se concentrara en el noroccidente de la ciudad puede estar relacionado con temas de seguridad pública (p. ej., alto porcentaje de robos y homicidios) en algunas comunas del centro y oriente de la ciudad (Alcaldía de Santiago de Cali, 2011; Loaiza-Cerón, 2012). También puede tener relación con el mayor número de áreas abiertas a los ciudadanos y turistas en el noroccidente (p. ej., como se ha visto, el zoológico). No obstante, se debe desarrollar un estudio más detallado —idealmente complementado con otros datos socioeconómicos (Amorim-Maia et al., 2020)— para comprender la lógica de este patrón. En este sentido, podría ser perjudicial descuidar la utilidad de metodologías emergentes como esta, puesto que, al observar las conclusiones iniciales, destaca su potencial para identificar el flujo de servicios ecosistémicos culturales en zonas verdes urbanas (Andersson et al., 2015) a escala de ciudad.

Si bien se aplicó una metodología ampliamente utilizada y validada en otros estudios utilizando la plataforma Flickr, asumimos que, en el contexto latinoamericano, otras opciones (como por ejemplo Instagram, Facebook o Twitter) podrían proporcionar una mayor cantidad de datos de entrada (Mejia-Llano, 2020). En cualquier caso, es importante considerar que las restricciones sobre el uso de datos para investigación establecidas por Facebook o Instagram podrían convertirse en una desventaja (Calcagni et al., 2019). Sin embargo, este primer intento puede servir como piloto para otras experiencias sobre el uso de redes sociales para identificar el flujo de servicios ecosistémicos culturales en áreas urbanas de Suramérica.

Anexo 10. Matriz de balance de servicios ecosistémicos por cobertura de la tierra

		Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra																		Nutrición		Materiales			Energía			Regulación de residuos...	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas				Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual			
																				Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable		Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido										
Áreas artificializadas	Tejido urbano continuo	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4																	
	Tejido urbano discontinuo	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4																	
	Zonas industriales o comerciales	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0,3	0,5																		
	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	2	2	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	0,6																		
	Aeropuertos	2	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0,7	0,6																		
	Zonas de extracción minera	2	1	2	0	0	1	2	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	1,0	0,8																		
	Zonas de disposición de residuos	2	2	2	1	1	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	2	2	1,0	0,9																		
	Zonas verdes urbanas	4	4	4	3	3	4	4	2	3	4	4	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3,3	0,6																		
	Instalaciones recreativas	2	1	2	1	2	3	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	3	3	1,9	0,6																	
Áreas de producción agrícola	Cultivos transitorios	5	3	3	1	2	3	3	2	2	2	2	3	2	1	2	1	1	3	4	3	3	2,4	1,0																	
	Caña de azúcar	4	2	3	0	2	4	3	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	3	3	2	2,0	1,0																		
	Otros cultivos permanentes	4	3	3	2	2	4	3	2	3	3	2	3	2	2	2	2	4	4	3	3	2,8	0,8																		
	Pastos limpios	4	3	3	1	2	3	3	2	2	2	2	1	1	1	2	2	3	3	3	2	2,2	0,8																		
	Pastos arbolados	4	3	4	2	3	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	4	4	4	3	3,0	0,8																		
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	4	4	4	2	3	4	3	2	3	3	3	4	3	3	2	2	2	4	4	4	4	3,2	0,8																	

	Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra	Nutrición		Materiales			Energía		Regulación de residuos...	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas					Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual		Promedio	Desviación estándar	
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable		Fuente abiótica no renovable	Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa			Espiritual y/o emblemática
		4	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	4	3	3	3	2	3	4	4	4	4	3,4	0,6
Bosques y áreas seminaturales	Mosaico de pastos con espacios naturales	4	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	4	3	3	2	3	4	4	4	4	3,4	0,6	
	Bosque denso	5	5	5	5	3	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,9	0,5	
	Bosque fragmentado	4	5	5	5	3	4	4	3	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4,5	0,7
	Bosque ripario (ribereño)	4	5	5	5	4	4	4	3	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4,6	0,6
	Plantación forestal	3	3	4	2	3	5	3	3	2	3	3	4	2	2	2	2	2	3	4	3	2	2,9	0,9
	Herbazal (páramos)	4	5	4	5	4	4	4	3	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4,5	0,6
	Vegetación secundaria o en transición	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4,0	0,4
	Afloramientos rocosos	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	5	4	3,3	0,6
	Tierras desnudas y degradadas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3,0	0,2
Áreas húmeda	Áreas húmedas continentales (humedales)	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	4,3	0,6	
Superficies de agua	Ríos	4	5	4	5	4	4	5	4	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4,6	0,5	
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	5	4	5	4	4	5	4	5	5	5	5	4,3	0,6
	Cuerpos de agua artificiales	4	5	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3,0	0,7

Nota: A mayor intensidad del color azul, mejor valoración de la cobertura de la tierra para proporcionar servicios ecosistémicos. En cuanto a la columna de «Desviación estándar», a mayor intensidad en el color naranja, menor variabilidad en las respuestas de los expertos.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11. Matriz de multifuncionalidad de servicios ecosistémicos por cobertura de la tierra

	Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra	Nutrición		Materiales			Energía			Regulación de residuos...	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas					Interacción física e intelectual	Interacción simbólica y espiritual				
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable	Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa	Espiritual y/o emblemática	Existencia y valor intrínseco natural	Promedio	Desviación estándar
Áreas artificializadas	Zonas verdes urbanas	2,7	2,7	2,5	2,5	2,1	2,1	2,5	0,8	2,5	3,2	3,2	4,0	3,6	3,2	3,0	2,7	4,0	4,6	4,4	4,4	4,6	3,1	1,0
	Instalaciones recreativas	1,4	0,9	1,0	0,9	1,2	1,0	1,7	0,7	1,5	1,5	1,7	1,9	2,4	1,2	1,2	1,2	2,6	3,4	2,7	3,3	3,3	1,7	0,9
Áreas de producción agrícola	Cultivos transitorios	4,0	0,8	2,1	0,8	0,2	2,1	1,4	0,6	1,6	1,5	1,5	1,5	2,1	1,7	2,0	1,4	1,9	2,0	2,2	2,1	2,2	1,7	0,8
	Caña de azúcar	2,0	0,5	2,3	0,7	0,1	3,2	1,5	1,0	1,2	1,1	1,1	1,3	1,5	0,9	1,6	1,0	1,4	0,8	1,4	0,9	0,7	1,2	0,7
	Otros cultivos permanentes	3,8	1,9	2,9	2,2	0,7	3,5	2,4	1,6	2,7	3,1	2,9	2,7	3,3	2,7	2,9	2,3	3,4	3,0	3,4	2,4	2,9	2,7	0,7
	Pastos limpios	2,2	0,7	1,1	1,0	0,1	1,2	1,0	0,6	1,5	1,3	1,5	1,2	1,3	1,0	1,3	1,6	1,7	1,6	1,5	1,2	1,0	1,2	0,4
	Pastos arbolados	2,9	2,3	2,7	1,9	0,7	2,2	1,6	1,5	2,4	2,7	2,7	2,7	2,7	2,4	2,6	3,0	3,0	2,7	2,9	3,0	2,7	2,4	0,6
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3,4	2,9	3,1	2,4	1,0	2,6	2,4	1,4	3,1	3,4	3,1	3,3	3,9	3,9	3,5	3,1	3,8	3,8	4,1	3,9	4,1	3,2	0,8
	Mosaico de pastos con espacios naturales	2,7	3,4	3,1	2,9	1,3	2,4	2,3	1,7	3,4	3,7	3,6	3,7	4,1	3,7	4,0	3,4	4,1	3,7	4,3	3,6	3,9	3,3	0,8
Bosques y áreas seminaturales	Bosque denso	3,4	5,0	4,9	4,7	1,4	3,4	3,9	1,9	4,0	4,9	5,0	4,7	5,0	3,9	4,9	4,9	5,0	4,7	5,0	4,9	5,0	4,3	1,0
	Bosque fragmentado	2,9	3,4	3,6	3,9	1,3	3,0	3,0	1,4	3,1	3,7	3,9	3,4	3,4	3,0	3,9	3,7	3,7	3,4	3,6	3,1	3,4	3,2	0,7
	Bosque ripario (ribereño)	2,0	4,0	3,4	3,9	1,7	2,9	3,1	1,6	3,6	3,0	3,7	3,9	4,1	3,0	4,0	4,0	4,1	3,7	3,9	3,3	4,0	3,4	0,8
	Plantación forestal	1,6	1,7	3,6	1,8	0,9	4,3	1,9	1,9	2,3	3,1	2,6	3,5	2,3	1,6	2,3	2,1	3,0	1,7	2,5	0,9	1,0	2,2	0,9

	Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra	Nutrición		Materiales			Energía			Regulación de residuos...	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas					Interacción física e intelectual	Interacción simbólica y espiritual				
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable		Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua		Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física			Intelectual y representativa
	Herbazal (páramos)	2,0	4,3	2,9	4,3	1,7	1,9	3,1	1,1	2,6	3,3	4,3	3,4	4,4	2,9	4,7	4,7	4,9	4,0	4,6	4,7	4,9	3,6	1,2
	Vegetación secundaria o en transición	2,0	2,6	2,6	2,4	1,4	2,6	1,8	1,0	2,4	3,1	2,9	2,7	2,9	2,4	3,3	2,4	3,0	2,7	2,7	2,2	2,4	2,5	0,6
	Afloramientos rocosos	0,2	0,3	0,1	0,1	0,9	0,1	0,7	0,5	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,5	0,4
	Tierras desnudas y degradadas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Áreas húmedas	Áreas húmedas continentales (humedales)	3,3	2,2	2,2	2,7	1,9	2,1	1,9	1,2	2,6	2,9	3,8	2,3	4,3	2,2	3,3	3,8	3,2	4,2	3,9	4,1	4,0	3,0	0,9
Superficies de agua	Ríos	3,0	4,1	2,2	4,1	3,3	2,1	3,8	1,8	2,8	2,6	3,4	2,6	4,3	2,4	3,7	4,0	3,4	4,2	4,3	4,2	4,1	3,4	0,8
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	2,9	3,0	1,8	3,1	1,8	1,9	2,3	1,3	2,7	3,0	4,0	2,4	4,2	2,2	3,3	4,1	3,3	4,4	4,2	4,4	4,2	3,1	1,0
	Cuerpos de agua artificiales	2,9	4,3	1,9	4,2	1,9	1,9	3,1	1,2	2,4	3,3	4,1	2,7	3,3	2,1	2,7	3,3	3,3	4,2	3,4	3,0	2,8	3,0	0,9

Nota: El gradiente de color azul significa mayor multifuncionalidad. El gradiente de color rojo significa menor multifuncionalidad. En cuanto a la columna de «Desviación estándar», a mayor intensidad en el color naranja, menor variabilidad en las respuestas de los expertos.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12. Matriz de singularidad de servicios ecosistémicos por cobertura de la tierra

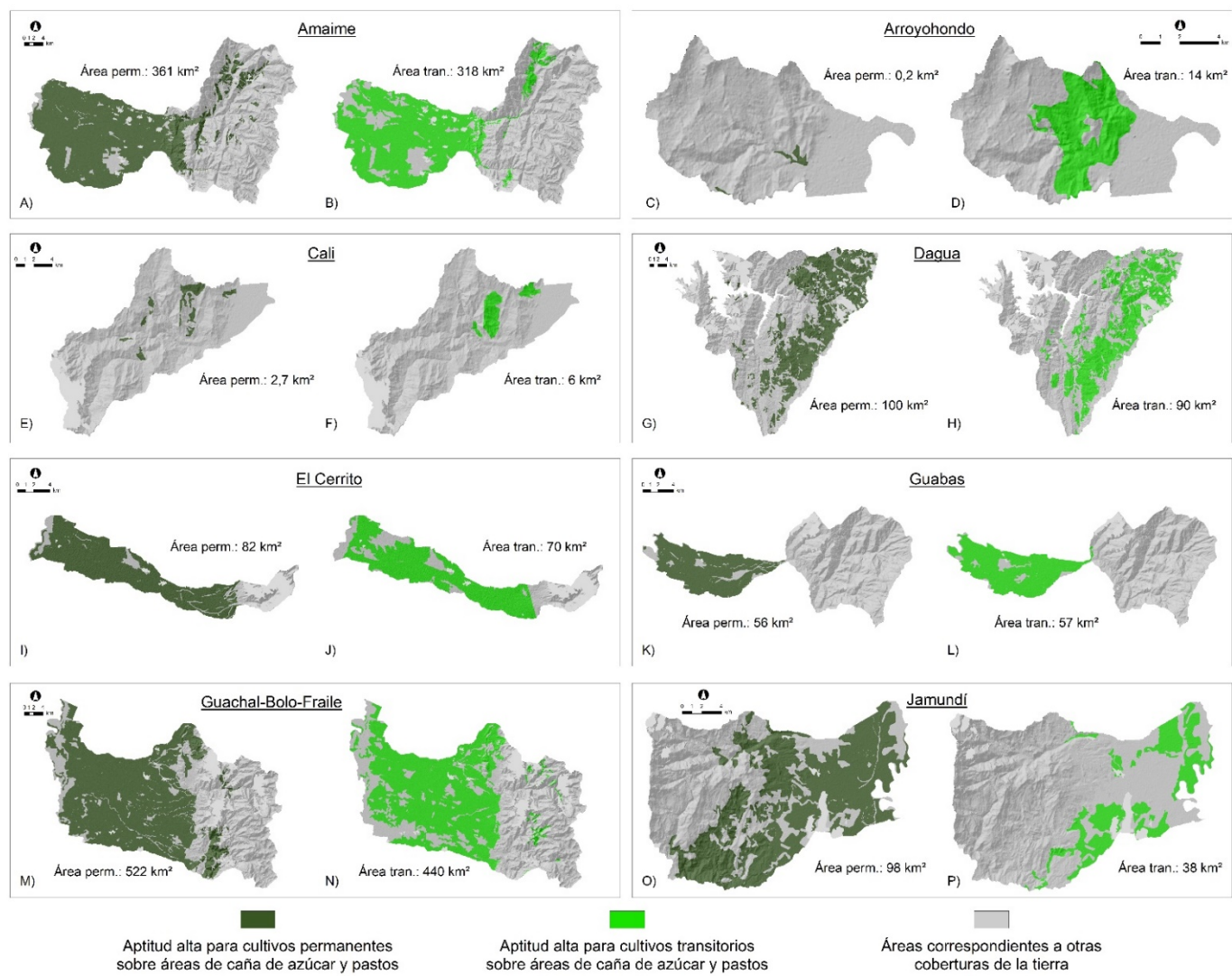
	Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra	Nutrición		Materiales			Energía			Regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas				Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual				
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa	Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable		Mediación por sistemas vivos	Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa			Espiritual y/o emblemática
Áreas artificializadas	Zonas verdes urbanas	2,5	2,0	2,4	2,0	1,5	2,0	2,5	0,6	2,4	3,1	3,1	3,8	3,4	3,1	2,9	2,5	3,8	4,3	4,4	4,2	4,3	2,9	1,0
	Instalaciones recreativas	1,4	0,7	1,1	0,8	0,9	1,1	1,9	0,6	1,6	1,6	1,8	2,0	2,5	1,3	1,3	1,3	2,7	3,6	3,0	3,4	3,4	1,8	1,0
Áreas de producción agrícola	Cultivos transitorios	4,5	0,7	2,3	0,8	0,2	2,3	1,6	0,5	1,8	1,7	1,7	1,7	2,3	1,9	2,2	1,6	2,1	2,2	2,6	2,3	2,5	1,9	0,9
	Caña de azúcar	2,3	0,5	2,7	0,7	0,1	3,7	1,9	1,0	1,4	1,3	1,3	1,6	1,8	1,0	1,9	1,2	1,7	0,9	1,8	1,0	0,8	1,5	0,8
	Otros cultivos permanentes	3,6	1,4	2,7	1,7	0,5	3,4	2,4	1,3	2,6	3,0	2,7	2,6	3,1	2,6	2,7	2,2	3,2	2,8	3,4	2,3	2,7	2,5	0,8
	Pastos limpios	2,3	0,6	1,2	0,9	0,1	1,3	1,1	0,5	1,6	1,4	1,6	1,3	1,4	1,0	1,4	1,7	1,8	1,7	1,6	1,3	1,0	1,3	0,5
	Pastos arbolados	2,7	1,7	2,6	1,5	0,5	2,1	1,6	1,2	2,3	2,6	2,6	2,6	2,6	2,3	2,5	2,8	2,8	2,6	2,9	2,8	2,6	2,3	0,6
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3,2	2,1	3,0	2,0	0,7	2,5	2,4	1,1	3,0	3,2	3,0	3,1	3,7	3,7	3,4	3,0	3,6	3,6	4,1	3,7	3,9	3,0	0,9
	Mosaico de pastos con espacios naturales	2,5	2,4	2,8	2,2	0,9	2,2	2,2	1,3	3,1	3,4	3,2	3,4	3,7	3,4	3,6	3,1	3,7	3,4	4,1	3,2	3,5	2,9	0,8
Bosques y áreas seminaturales	Bosque denso	3,1	3,6	4,4	3,6	1,0	3,1	3,7	1,4	3,6	4,4	4,5	4,3	4,5	3,5	4,4	4,4	4,5	4,3	4,8	4,4	4,5	3,8	1,0
	Bosque fragmentado	2,6	2,4	3,2	2,9	0,9	2,7	2,9	1,1	2,8	3,4	3,5	3,1	3,1	2,7	3,5	3,4	3,4	3,1	3,4	2,8	3,1	2,9	0,7

	Categorías y servicios ecosistémicos / Coberturas de la tierra	Nutrición		Materiales		Energía		Regulación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias	Regulación de flujos			Mantenimiento de condiciones físicas, químicas y biológicas	Interacción física e intelectual		Interacción simbólica y espiritual									
		Biomasa	Agua	Biomasa	Agua	Materiales abióticos metálicos y no metálicos	Biomasa		Fuente abiótica renovable	Fuente abiótica no renovable	Mediación por sistemas vivos		Flujos de masa	Flujos de líquido	Flujos de gases / aire	Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de reserva genética	Control de plagas y enfermedades	Formación y composición del suelo	Mantenimiento de la composición química del agua	Composición atmosférica y regulación del clima	Experiencia física	Intelectual y representativa	Espiritual y/o emblemática	Existencia y valor intrínseco natural
	Bosque ripario (ribereño)	1,8	2,9	3,1	2,9	1,1	2,6	3,0	1,2	3,2	2,7	3,4	3,5	3,7	2,7	3,6	3,6	3,7	3,4	3,7	3,0	3,6	3,0	0,8
	Plantación forestal	1,6	1,3	3,6	1,5	0,7	4,3	2,0	1,6	2,3	3,1	2,6	3,5	2,3	1,6	2,3	2,1	3,0	1,7	2,6	0,9	1,0	2,2	0,9
	Herbazal (páramos)	1,8	3,1	2,6	3,3	1,1	1,7	3,0	0,9	2,3	3,0	3,9	3,1	4,0	2,6	4,3	4,3	4,4	3,6	4,4	4,3	4,4	3,1	1,1
	Vegetación secundaria o en transición	1,9	1,9	2,5	2,0	1,0	2,5	1,8	0,8	2,3	3,0	2,7	2,6	2,7	2,3	3,1	2,3	2,8	2,6	2,7	2,1	2,3	2,3	0,6
	Afloramientos rocosos	0,5	0,6	0,4	0,3	1,7	0,3	2,0	1,1	0,5	0,9	0,4	0,9	0,9	0,6	0,8	0,5	0,4	3,0	3,1	3,1	3,0	1,2	1,0
	Tierras desnudas y degradadas	0,3	0,2	0,1	0,1	1,0	0,4	0,8	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,1	0,1	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3
Áreas húmedas	Áreas húmedas continentales (humedales)	3,0	1,6	2,0	2,0	1,3	1,9	1,8	0,9	2,3	2,6	3,4	2,1	3,9	2,0	3,0	3,4	2,9	3,8	3,7	3,7	3,6	2,6	0,9
Superficies de agua	Ríos	2,7	2,9	2,0	3,1	2,2	1,9	3,6	1,4	2,5	2,3	3,1	2,3	3,9	2,2	3,3	3,6	3,1	3,8	4,1	3,8	3,7	2,9	0,8
	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	2,6	2,1	1,6	2,4	1,2	1,7	2,2	1,0	2,4	2,7	3,6	2,2	3,8	2,0	3,0	3,7	3,0	4,0	4,0	4,0	3,8	2,7	1,0
	Cuerpos de agua artificiales	2,6	3,1	1,7	3,2	1,3	1,7	3,0	0,9	2,2	3,0	3,7	2,4	3,0	1,9	2,4	3,0	3,0	3,8	3,3	2,7	2,5	2,6	0,8

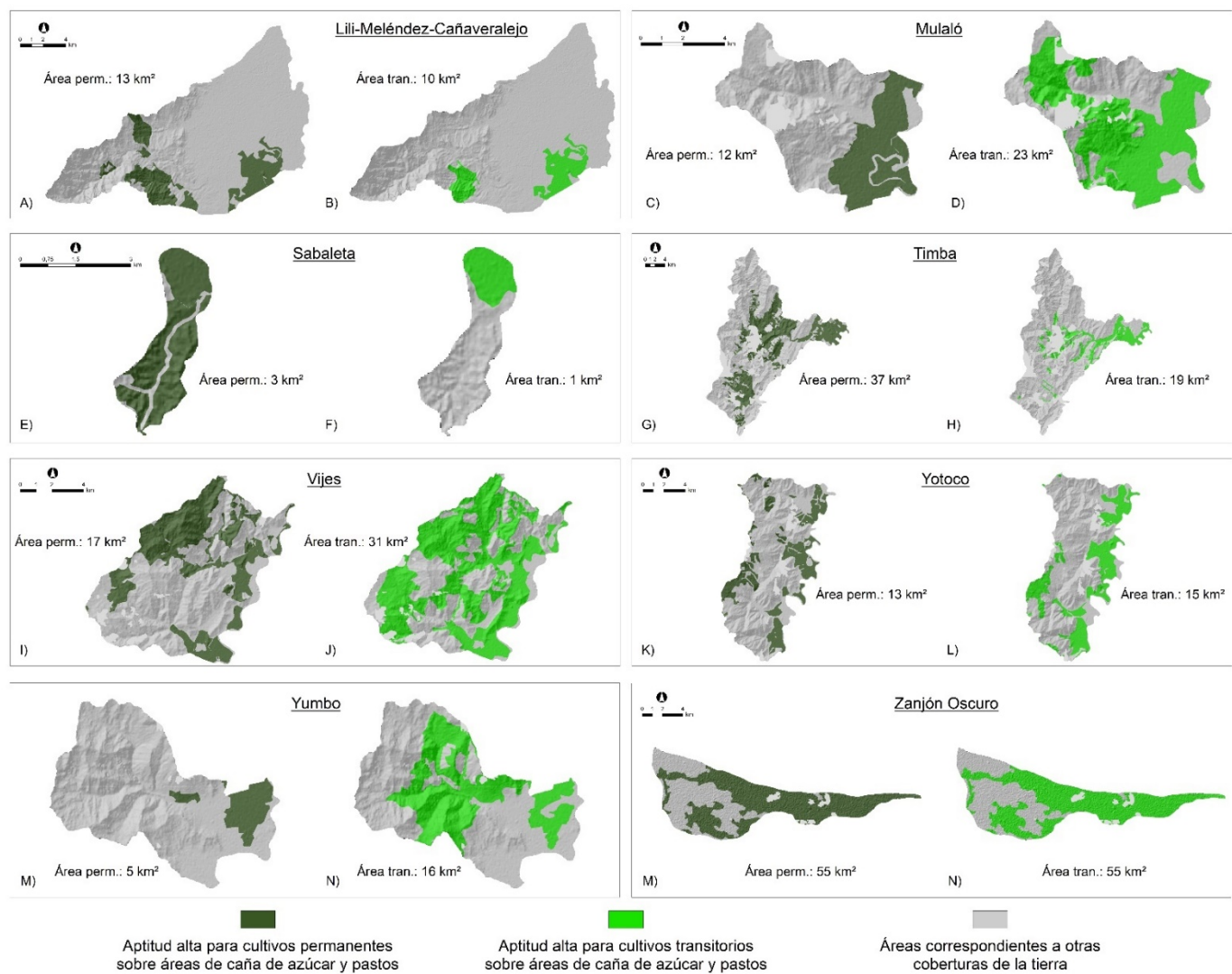
Nota: El gradiente de color azul significa mayor multifuncionalidad. El gradiente de color rojo significa menor multifuncionalidad. En cuanto a la columna de «Desviación estándar», a mayor intensidad en el color naranja, menor variabilidad en las respuestas de los expertos.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13. Valle del Cauca. Mapas de áreas aptas para cultivos permanentes y transitorios para cada cuenca hidrográfica

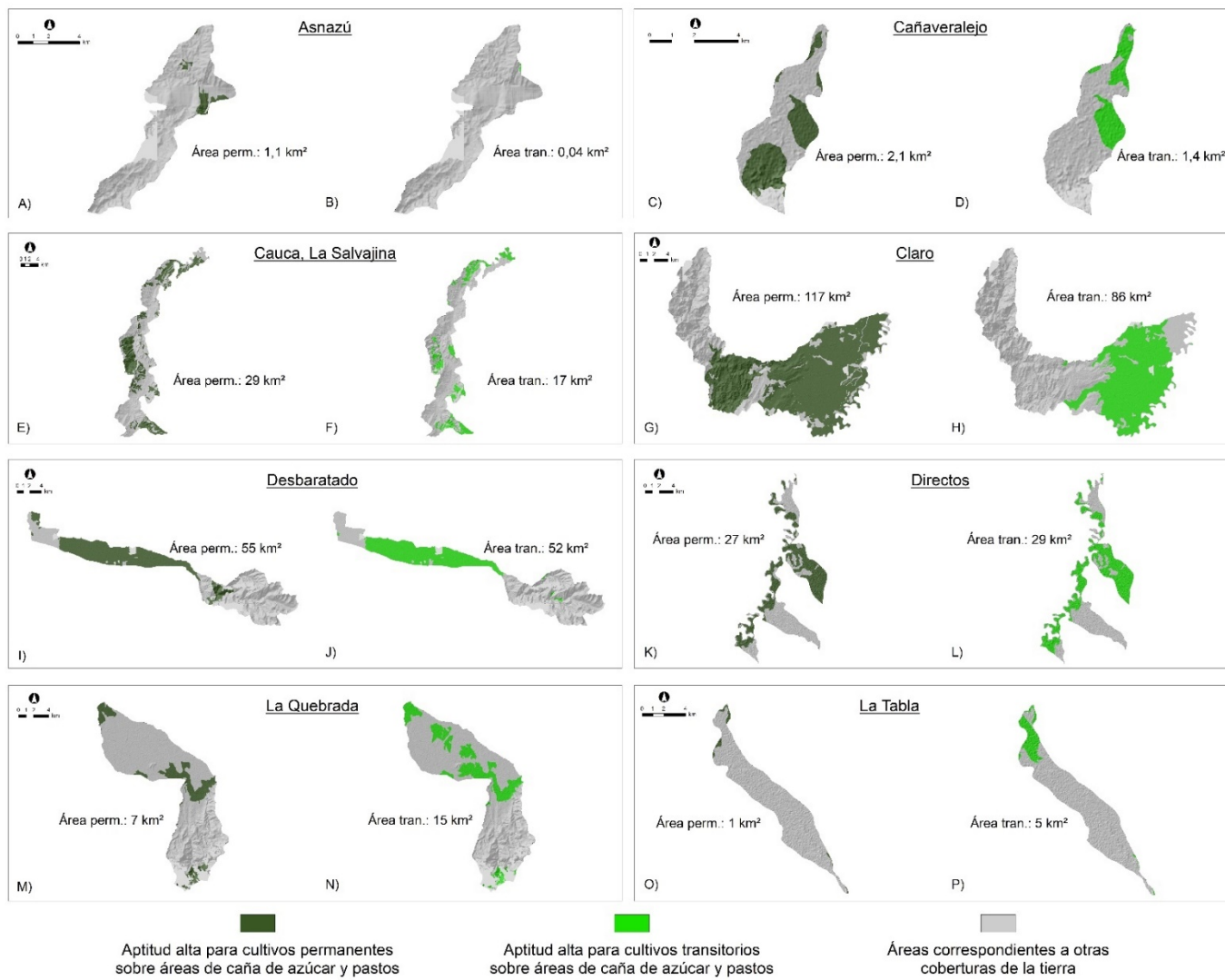


Fuente: Elaboración propia

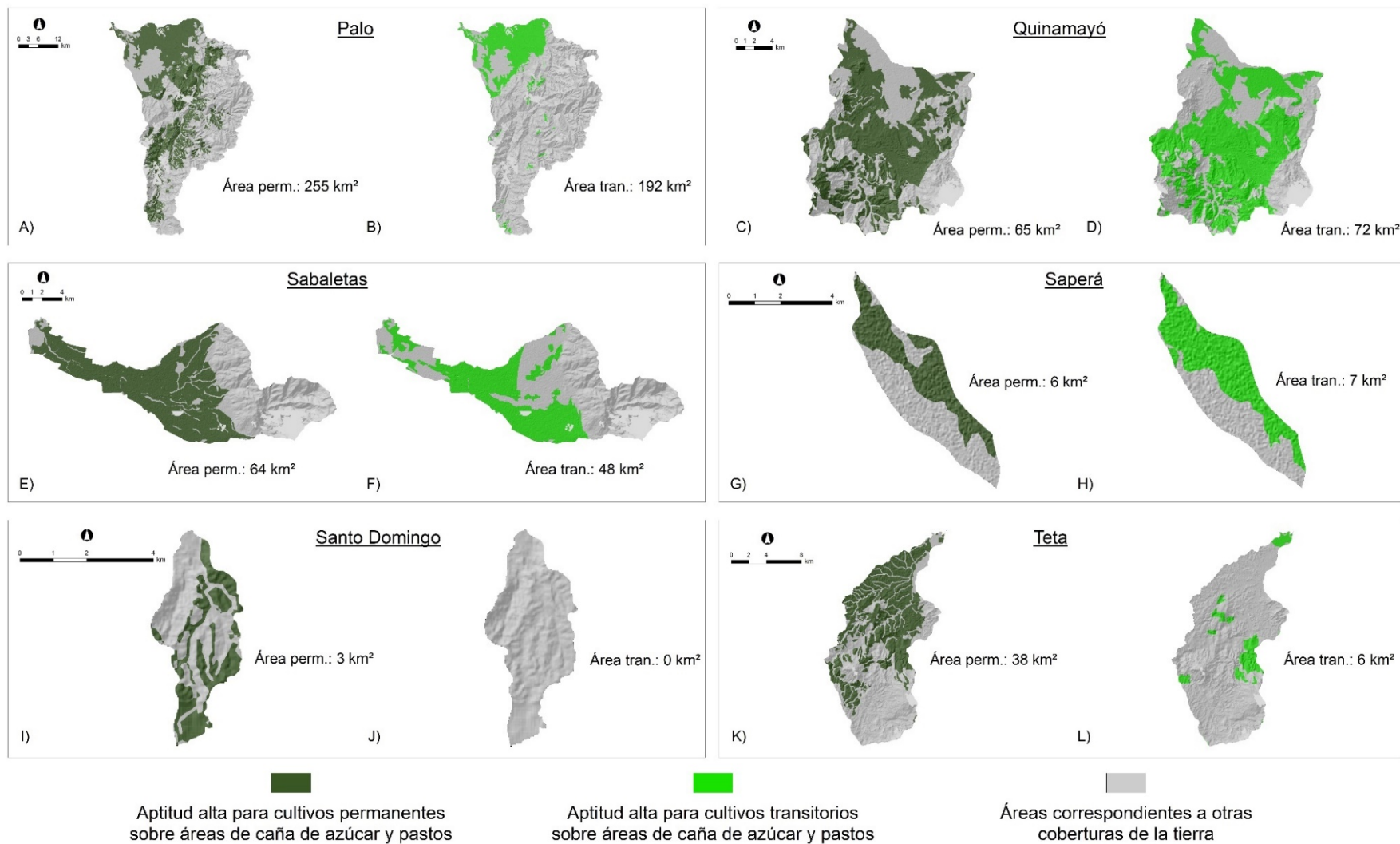


Fuente: Elaboración propia

Anexo 14. Cauca. Mapas de áreas aptas para cultivos permanentes y transitorios para cada cuenca hidrográfica

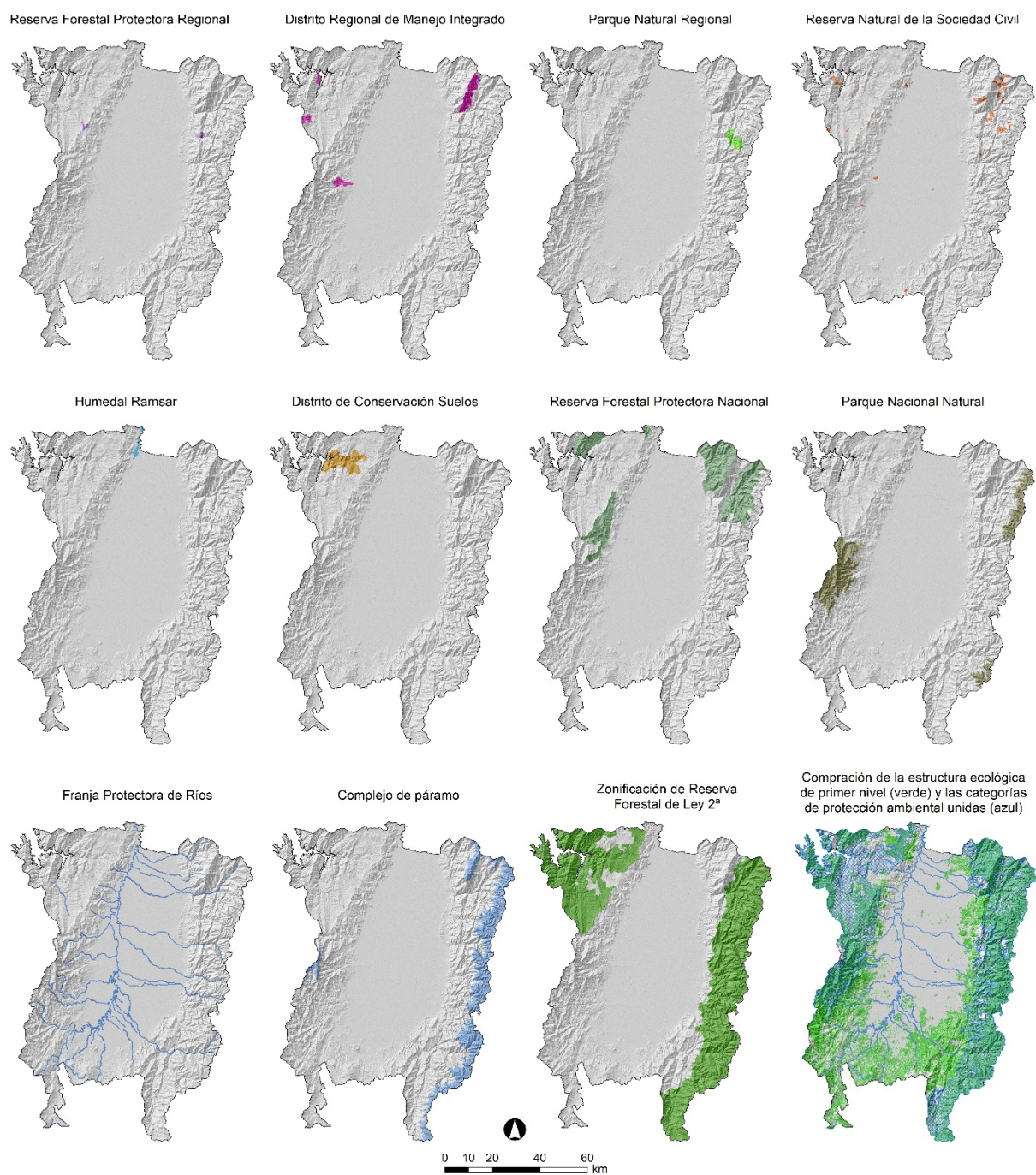


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Anexo 15. Representación espacial de las once categorías de protección ambiental con jurisdicción en el sistema socioecológico



Fuente: Elaboración propia

Anexo 16. Categorías de protección ambiental con jurisdicción en el área de estudio

#	Categoría	Escala	Objetivo
1	Complejo de páramos: Ley 99 de 1993, Decreto 1076 de 2015, y Ley 1753 de 2015	Nacional	• «Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial» (Núm. 4, Art. 1, Ley 99 de 1993) • «Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos como áreas de especial importancia ecológica gozan de protección especial, por lo que las autoridades ambientales deberán adelantar las acciones tendientes a su conservación y manejo, las que podrán incluir su designación como áreas protegidas bajo alguna de las categorías de manejo previstas en el presente decreto» (Art. 2.2.2.1.3.8., Decreto 1076 de 2015) • «En las áreas delimitadas como páramos no se podrán adelantar actividades agropecuarias ni de exploración o explotación de recursos naturales no renovables, ni construcción de refinerías de hidrocarburos» (Art. 173, Ley 1753 de 2015)
2	Franja Protectora de Río: Decreto Ley 2811 de 1974 y Decreto 1076 de 2015		• «Salvo derechos adquiridos por particulares son bienes inalienables e imprescriptibles del Estado (..) d. una faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho» (Núm. d, Art. 83, Decreto Ley 2811 de 1974) • «En relación con la protección y conservación de los bosques, los propietarios de predios están obligados a mantener en cobertura boscosa dentro del predio las áreas forestales protectoras (...) b) Una faja no inferior a 30 metros de ancha, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no, y alrededor de los lagos o depósitos de agua» (Núm. b, Art. 2.2.1.1.18.2., Decreto 2015 de 1976)
3	Humedales Ramsar: Ley 357 de 1997 y Decreto 1076 de 2015		• «[El Estado colombiano] deberá elaborar y aplicar su planificación de forma que favorezca la conservación de los humedales incluidos en la Lista y en la medida de lo posible el uso racional de los humedales de su territorio» (Art. 3, Ley 357 de 1997) • «Distinciones internacionales: las distinciones internacionales tales como Sitios Ramsar, Reservas de Biósfera (AICAS) y Patrimonio de la Humanidad, entre otras, no son categorías de manejo de áreas protegidas, sino estrategias complementarias para la conservación de la diversidad biológica. Las autoridades encargadas de la designación de áreas protegidas deberán priorizar estos sitios atendiendo a la importancia internacional reconocida con la distinción, con el fin de adelantar acciones de conservación que podrán incluir su designación bajo alguna de las categorías de manejo previstas en el presente decreto» (Art. 2.2.2.1.3.7., Decreto 1076 de 2015)

#	Categoría	Escala	Objetivo
4	Reserva Forestal Protectora Nacional: Decreto 1076 de 2015		«Espacio geográfico en el que los ecosistemas de bosque mantienen su función, aunque su estructura y composición haya sido modificada y los valores naturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su preservación, uso sostenible, restauración, conocimiento y disfrute. Esta zona de propiedad pública o privada se reserva para destinarla al establecimiento o mantenimiento y utilización sostenible de los bosques y demás coberturas vegetales naturales (..) la reserva, delimitación, declaración y sustracción de las Reservas Forestales que alberguen ecosistemas estratégicos en la escala nacional, corresponde al MADS, en cuyo caso se denominarán Reservas Forestales Protectoras Nacionales» (Art. 2.2.2.1.2.3., Decreto 1076 de 2015)
5	Zonificación Reserva Forestal de Ley 2ª: Ley 2ª de 1959 y Decreto 1076 de 2015		«Para el desarrollo de la economía forestal y protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre, se establecen con carácter de Zonas Forestales Protectoras y "Bosques de Interés General» (Art. 1, Decreto 1076 de 2015) «Las categorías de protección y manejo de los recursos naturales renovables reguladas por la Ley 2ª de 1959, el Decreto-ley 2811 de 1974, o por la Ley 99 de 1993 (...) mantendrán plena vigencia y continuarán rigiéndose para todos sus efectos por las normas que las regulan. Sin embargo, esas áreas no se considerarán como áreas protegidas integrantes del SINAP, sino como estrategias de conservación in situ que aportan a la protección, planeación, y manejo de los recursos naturales renovables y al cumplimiento de los objetivos generales de conservación del país» (Art. 2.2.2.1.3.1., Decreto 1076 de 2015)
6	Parques Nacionales Naturales: Decreto Ley 2811 de 1974 y Decreto 1076 de 2015		«Se denomina sistema de parques nacionales el conjunto de áreas con valores excepcionales para el patrimonio nacional que, en beneficio de los habitantes de la nación y debido a sus características naturales, culturales o históricas, se reserva y declara comprendida en cualquiera de las categorías que adelante se enumeran» (Art. 327. Decreto Ley 2811 de 1974) «El Sistema de Parques Nacionales Naturales forma parte del SINAP y está integrado por los tipos de áreas consagrados en el Artículo 329 del Decreto Ley 2811 de 1974» (Art. 2.2.2.1.2.2., Decreto 1076 de 2015)
7	Reserva Natural de la Sociedad Civil: Decreto 1076 de 2015		«Parte o todo del área de un inmueble que conserve una muestra de un ecosistema natural y sea manejado bajo los principios de sustentabilidad en el uso de los recursos naturales y que por la voluntad de su propietario se destina para su uso sostenible, preservación o restauración con vocación de largo plazo» (Art. 2.2.2.1.2.8., Decreto 1076 de 2015)

#	Categoría	Escala	Objetivo
8	Distrito de Conservación de Suelos: Decreto 1076 de 2015		«Espacio geográfico cuyos ecosistemas estratégicos en la escala regional, mantienen su función, aunque su estructura y composición hayan sido modificadas y aportan esencialmente a la generación de bienes y servicios ambientales, cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su restauración, uso sostenible, preservación, conocimiento y disfrute. Esta área se delimita para someterla a un manejo especial orientado a la recuperación de suelos alterados o degradados o la prevención de fenómenos que causen alteración o degradación en áreas especialmente vulnerables por sus condiciones físicas o climáticas o por la clase de utilidad que en ellas se desarrolla» (Art. 2.2.2.1.2.7., Decreto 1076)
9	Distrito Regional de Manejo Integrado: Decreto 1076 de 2015	Regional	«Distritos de manejo integrado. Espacio geográfico, en el que los paisajes y ecosistemas mantienen su composición y función, aunque su estructura haya sido modificada y cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su uso sostenible, preservación, restauración, conocimiento y disfrute» (Art. 2.2.2.1.2.5., Decreto 1076 de 2015)
10	Parque Natural Regional: Decreto 1076 de 2015		«Espacio geográfico en el que paisajes y ecosistemas estratégicos en la escala regional, mantienen la estructura, composición y función, así como los procesos ecológicos y evolutivos que los sustentan y cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlas a su preservación, restauración, conocimiento y disfrute» (Art. 2.2.2.1.2.4., Decreto 1076 de 2015)
11	Reserva Forestal Protectora Regional: Decreto 1076 de 2015		«Espacio geográfico en el que los ecosistemas de bosque mantienen su función, aunque su estructura y composición haya sido modificada y los valores naturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su preservación, uso sostenible, restauración, conocimiento y disfrute. Esta zona de propiedad pública o privada se reserva para destinarla al establecimiento o mantenimiento y utilización sostenible de los bosques y demás coberturas vegetales naturales (..) la reserva, delimitación, declaración, administración y sustracción de las Reservas Forestales que alberguen ecosistemas estratégicos en la escala regional, corresponde a las CAR, en cuyo caso se denominarán Reservas Forestales Protectoras Regionales» (Art. 2.2.2.1.2.3., Decreto 1076 de 2015)

Fuente: Elaboración propia con base en Tabares-Mosquera & Gaitán-Idárraga (2018)