UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Determinación de la capacidad de acogida del territorio a usos complementarios y compatibles con la protección en la zona de influencia directa de los embalses.

Caso de estudio Embalses Porce II y Porce III

Sandra Yanneth Ríos Gallego

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Arquitectura

Escuela de Planeación Urbano Regional

Medellín, Colombia

2014

Determinación de la capacidad de acogida del territorio a usos complementarios y compatibles con la protección en la zona de influencia directa de los embalses.

Caso de estudio Embalses Porce II y Porce III

Sandra Yanneth Ríos Gallego

Trabajo Final presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Estudios Urbano Regionales

Director:

Ph.D. Luis Carlos Agudelo Patiño

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Arquitectura

Escuela de Planeación Urbano Regional

Medellín, Colombia

2014

A los amores de mi vida, Alex y Teresa

Agradecimientos

Quiero iniciar agradeciendo a Dios la oportunidad de haber conocido y compartido con personas maravillosas que con su conocimiento y aportes me enseñaron a ampliar mi visión de la vida y de la realidad.

A la Escuela de Planeación Urbano Regional de la Facultad de Arquitectura, por la calidad del programa y por fomentar en mí el espíritu de investigación y de cuestionamiento permanente.
A Luis Carlos, mi asesor y profesor, por creer en mí y brindarme sus valiosos aportes para construir y buscar solución a las preocupaciones que me vienen en mi quehacer profesional.

A Nataly, esa compañera admirable, excelente profesional y coequipera para emprender este trabajo que hemos considerado como colectivo y que seguiremos trabajando juntas.

A Empresas Públicas de Medellín E.S.P. –EPM, por darme la oportunidad de hacer lo que más me gusta, aprender y desaprender para mejorar como profesional y apasionada por lo que hago.

A mis jefes, a Lía por sus valiosos aportes, a todos los expertos que me apoyaron con sus juicios y criterios para enriquecer este trabajo y a todos aquellos que aportaron para el desarrollo de este trabajo.

Y finalmente, y no menos importante, a mi familia, por su comprensión y paciencia, que me ayudaron a dar lo mejor de mí para que todo esto valiera la pena.

Resumen

Esta investigación pretende aportar una metodología para evaluar usos potenciales en los embalses y sus zonas de protección, que sean compatibles y complementarios con la protección, teniendo como referente las restricciones ambientales y operativas de estos territorios, al enmarcarse en proyectos hidroeléctricos de utilidad pública.

En este sentido, se desarrolla un modelo conceptual, lógico y cartográfico, haciendo uso de una potente herramienta de planificación, como lo es la capacidad de acogida del territorio, aplicada con instrumentos valiosos como la Evaluación Multicriterio, la Evaluación Multiobjetivo y los Sistemas de Información Geográfica.

Los resultados de este trabajo, permitirán tener un punto de partida para la planificación de estos territorios, con gran potencial para un uso multipropósito, en el marco de la sostenibilidad ambiental, social y económica.

Palabras clave: embalses, usos potenciales, capacidad de acogida del territorio, evaluación multicriterio, evaluación multiobjetivo, Sistemas de Información Geográfica

Abstract

This research aims to provide a methodology to evaluate potential uses in reservoirs and its protection areas, compatibles and complementaries with the protection, considering environmental and operative restrictions of those territories, by to be in frame of hydroelectric projects of public utility.

In this sense, a conceptual, logical and cartographic model is developed, using a powerful planning tool, as is the territory carrying capacity, applied with valuables instruments as Multicriteria Evaluation, Multiobjective Evaluation and Geographical Information Systems.

This results will allow have a starting point to plan those territories, with a big potential to multipurpose use, in frame of environmental, social and economic sostenibility.

Keywords: reservoirs, potential uses, territory carrying capacity, Multicriteria Evaluation, Multiobjective Evaluation, Geographical Information Systems

Contenido

Pág.
Resumen ..... **V**
Lista de figuras ..... **VIII**
Lista de tablas ..... **XI**
Introducción **13**
1. Marco Referencial **16**
1.1 Usos de embalses **16**
1.1.1 Uso múltiple del agua 17
1.1.2 Los embalses 18
1.1.3 Uso principal, compatible y complementario 19
1.1.4 Usos en embalses 20
1.2 Zonas de protección de embalses **21**
1.2.1 Usos en la zona de protección de embalses 22
1.3 Impactos territoriales de los proyectos hidroeléctricos **25**
1.4 Capacidad de acogida y ordenación del territorio **27**
1.4.1 Ordenación del territorio 27
1.4.2 Capacidad de acogida 28
1.4.3 Descripción general del método de capacidad de acogida 30
1.4.4 La capacidad de acogida en el uso de espacios naturales 32
1.5 Evaluación Multicriterio (EMC) y Evaluación Multiobjetivo (EMO) **33**
1.5.1 Procedimiento 34
1.5.2 Métodos de EMC 35
1.5.3 Enfoques para EMO 37
1.5.4 Manejo de la incertidumbre 40
1.6 Utilización de Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio para determinar la capacidad de acogida del territorio **41**
1.6.1 Componentes de la EMC en el entorno de los SIG 42
1.6.2 Análisis de sensibilidad 47
2. Modelo de capacidad de acogida **49**
2.1 Modelo conceptual **50**
2.1.1 Definición del problema 50
2.1.2 Usos a evaluar 50
2.1.3 Evaluación Multicriterio (EMC) 51
2.1.4 Evaluación Multiobjetivo (EMO) 70
2.2 Modelo lógico **71**
2.2.1 Objetivo 71
2.2.2 Metodología 71
2.2.3 Delimitación del entorno 72

2.2.4 Obtención del modelo de capacidad de acogida para cada uno de los usos (aplicación de la EMC) ... 72
2.2.5 Obtención de los mapas de mejor uso (aplicación de la EMO) ... 73
2.2.6 Diccionario de datos ... 74
3. Aplicación del modelo de capacidad de acogida al caso de estudio ... 77
3.1 Caracterización de la zona de estudio ... 77
3.1.1 Área de Influencia Directa (AID) embalse Porce II ... 77
3.1.2 Área de Influencia Directa (AID) embalse Porce III ... 83
3.1.3 Análisis regional de la zona de estudio ... 89
3.2 Información cartográfica de la zona de estudio ... 96
3.3 Modelo cartográfico ... 97
3.3.1 Exploración y preparación de la información fuente ... 97
3.3.2 Desarrollo del análisis ... 101
4. Análisis de resultados ... 102
4.1 Resultados para los limitantes ... 102
4.2 Resultados para la categoría de turismo ... 103
4.3 Resultados del análisis de mejor uso para la zona de protección ... 110
4.4 Resultados para la categoría de pesca ... 112
4.5 Resultados para la categoría de navegación ... 122
4.6 Resultados para la categoría de recreación ... 131
4.7 Resultados del análisis de mejor uso para el embalse ... 135
5. Conclusiones y recomendaciones ... 138
5.1 Conclusiones ... 138
5.2 Recomendaciones ... 140
A. Anexo: Consulta a expertos ... 141
B. Anexo: Modelos lógicos para EMC y EMO ... 150
Bibliografía ... 164

Lista de figuras

Pág.

Figura 1-1. Modelo para la integración de unidades de capacidad y de vulnerabilidad 31

Figura 1-2. Extensión jerárquica del proceso de evaluación multiobjetivo 38

Figura 1-3. Solución priorizada del proceso de evaluación multiobjetivo 39

Figura1-4. Solución compromiso del proceso de evaluación multiobjetivo 39

Figura 1-5. Fases de un proceso de EMC en un entorno SIG 43

Figura 1-6. Sistema de integración entre SIG y EMC 45

Figura 1-7. Ejemplo de modelado espacial 46

Figura 2-1. Esquema de desarrollo del método Delphi 66

Figura 2-2. Flujo de trabajo de análisis SIG 71

Figura 3-1. Mapa del AID del embalse Porce II 82

Figura 3-2. Mapa del AID del embalse Porce III 88

Figura 3-3. Zonificación del embalse Porce II 93

Figura 3-4. Dinámica del nivel medio del embalse Porce II entre los años 2001 y 2012 93

Figura 3-5. Error correspondiente a geometría nula 98

Figura 3-6. Error correspondiente a intersecciones propias 98

Figura 3-7. Detalle de intersección propia 99

Figura 3-8. Sobreposición de polígonos 100

Figura 3-9. Huecos entre polígonos 100

Figura 4-1. Limitantes 103

Figura 4-2. Comparativo capacidad de acogida usos categoría turismo 105

Figura 4-3. Capacidad de acogida senderismo 106
Figura 4-4. Capacidad de acogida camping 108
Figura 4-5. Capacidad de acogida ciclomontañismo/cabalgatas 109
Figura 4-6. Mejor uso zonas de protección 111
Figura 4-7. Comparativo capacidad de acogida usos categoría pesca embalse Porce II 113
Figura 4-8. Comparativo capacidad de acogida usos categoría pesca embalse Porce III 113
Figura 4-9. Capacidad de acogida pesca recreativa embalse Porce II 114
Figura 4-10. Capacidad de acogida pesca recreativa embalse Porce III 115
Figura 4-11. Capacidad de acogida pesca artesanal embalse Porce II 116
Figura 4-12. Capacidad de acogida pesca artesanal embalse Porce III 117
Figura 4-13. Capacidad de acogida pesca deportiva embalse Porce II 118
Figura 4-14. Capacidad de acogida pesca deportiva embalse Porce III 119
Figura 4-15. Capacidad de acogida acuicultura embalse Porce II 120
Figura 4-16. Capacidad de acogida acuicultura embalse Porce III 121
Figura 4-17. Comparativo capacidad de acogida usos categoría navegación embalse Porce II123
Figura 4-18. Comparativo capacidad de acogida usos categoría navegación embalse Porce III124
Figura 4-19. Capacidad de acogida navegación recreativa embalse Porce II 125
Figura 4-20. Capacidad de acogida navegación recreativa embalse Porce III 126
Figura 4-21. Capacidad de acogida navegación comercial embalse Porce II 127
Figura 4-22. Capacidad de acogida navegación comercial embalse Porce III 128
Figura 4-23. Capacidad de acogida navegación deportiva embalse Porce II 129
Figura 4-24. Capacidad de acogida navegación deportiva embalse Porce III 130
Figura 4-25. Comparativo capacidad de acogida usos categoría recreación embalse Porce II132
Figura 4-26. Comparativo capacidad de acogida usos categoría recreación embalse Porce III133
Figura 4-27. Capacidad de acogida natación embalse Porce II 133
Figura 4-28. Capacidad de acogida natación embalse Porce III 134

Figura 4-29. Mejor uso embalse Porce II 136

Figura 4-30. Mejor uso embalse Porce III 137

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1. Requerimientos territoriales de actividades recreativo-deportivas en la naturaleza24

Tabla 1-2. Matriz de aptitud o capacidad de acogida 32

Tabla 2-1. Usos para evaluar 50

Tabla 2-2. Limitantes 52

Tabla 2-3. Selección de variables 52

Tabla 2-4. Definición de criterios de capacidad 53

Tabla 2-5. Definición de criterios de impacto 54

Tabla 2-6. Criterios de capacidad 55

Tabla 2-7. Criterios de impacto 56

Tabla 2-8. Justificación de los criterios que aplican para usos de la categoría de turismo 57

Tabla 2-9. Justificación de los criterios que aplican para usos de la categoría de recreación 58

Tabla 2-10. Justificación de los criterios que aplican para usos de la categoría de pesca 60

Tabla 2-11. Justificación de los criterios que aplican para usos de la categoría de navegación61

Tabla 2-12. Valoración criterios de capacidad 62

Tabla 2-13. Valoración criterios de impacto 63

Tabla 2-14. Número de encuestas realizadas por uso 65

Tabla 2-15. Ponderación criterios de capacidad 68

Tabla 2-16. Ponderación criterios de impacto 69

Tabla 2-17. Pasos para el proceso de análisis objeto de estudio 72

Tabla 2-18. Diccionario de datos mapas capacidad de acogida 74

Tabla 2-19. Diccionario de datos mapa mejor uso zonas de protección 75
Tabla 2-20. Diccionario de datos mapa mejor uso embalse 75
Tabla 2-21. Dominio para capacidad de acogida 76
Tabla 2-22. Dominio para mejor uso zona de protección 76
Tabla 2-23. Dominio para mejor uso embalse 76
Tabla 3-1. Coordenadas del área de influencia directa del embalse Porce II 78
Tabla 3-2. Coordenadas del área de influencia directa del embalse Porce III 83
Tabla 3-3. Información cartográfica disponible para la zona de estudio 96
Tabla 3-4. Procedimientos para convertir a raster 101
Tabla 4-1. Capacidad de acogida usos categoría turismo 104
Tabla 4-2. Mejor uso en zonas de protección 110
Tabla 4-3. Capacidad de acogida usos categoría pesca embalse Porce II 112
Tabla 4-4. Capacidad de acogida usos categoría pesca embalse Porce III 112
Tabla 4-5. Capacidad de acogida usos categoría navegación embalse Porce II 122
Tabla 4-6. Capacidad de acogida usos categoría navegación embalse Porce III 122
Tabla 4-7. Capacidad de acogida usos categoría recreación embalse Porce II 131
Tabla 4-8. Capacidad de acogida usos categoría recreación embalse Porce III 131
Tabla 4-9. Mejor uso en el embalse Porce II 135
Tabla 4-10. Mejor uso en el embalse Porce III 135

Introducción

Colombia, entre los años 1950 y 2008, presentó una tasa de crecimiento anual de 0,6 % y por ende, aumentó la demanda de energía. En respuesta a esto y luego de la crisis energética en 1992, se potenció la construcción de nuevos embalses para elevar la capacidad instalada en el sistema eléctrico colombiano (UPME, 2008 en Jiménez et al., 2011). En Colombia, la construcción de embalses se ha venido intensificando en las últimas décadas con el objetivo fundamental de generar energía eléctrica.

En este sentido, para los comienzos de la década de los 90, se evaluaron posibles proyectos de desarrollo hidroeléctrico para el país, y para Antioquia se propuso Porce II, una central hidroeléctrica que supliría la demanda eléctrica del sistema de Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM) y del Sistema Interconectado Nacional, con entrada en operación en el año 2001. Posteriormente, en el año 2010, EPM incrementa su capacidad instalada para producir 660 megavatios más de energía a través de la central hidroeléctrica Porce III.

Con este creciente desarrollo de proyectos hidroeléctricos, se generan importantes cambios en la geografía regional y se introducen algunos elementos que generan expectativas de usos complementarios y compatibles a la protección y a la generación de energía. Así, el establecimiento de bosques plantados y/o la conservación de bosque natural alrededor de los embalses para su protección y el establecimiento de un espejo de agua, hacen posible la prestación de servicios ambientales, destacándose entre ellos el paisaje, la producción de oxígeno y el potencial de desarrollo de actividades complementarias y compatibles, como el turismo, la navegación y la pesca.

Específicamente para el caso de los proyectos hidroeléctricos Porce II y Porce III, construidos por EPM como resultado del aprovechamiento en cadena del río Porce para generación de energía, la construcción y posterior entrada en operación de los proyectos ha impactado la geografía territorial, en la jurisdicción de cinco municipios del norte y nordeste antioqueño, a saber: Yolombó, Gómez Plata, Amalfi, Guadalupe y Anorí.

Una muestra de ello, es que en los últimos años, a pesar de que las actividades económicas tradicionales de la región han tenido que ver con la agricultura, se han evidenciado intereses de los municipios y algunos de sus pobladores para lograr un aprovechamiento económico de los embalses y sus zonas de protección con actividades complementarias o compatibles, como ya ha sido señalado: servicios ambientales, ecoturismo, pesca y navegación, dirigidos a incorporar o fortalecer el turismo.

Sin embargo, existen unos factores restrictivos para determinar los usos complementarios y compatibles con la protección en los embalses y su zona de influencia directa, tales como: las obligaciones contempladas en la licencia ambiental de cada proyecto; la alta variabilidad en los niveles del agua debido a la baja capacidad de almacenamiento y a la alta demanda de generación de estas centrales hidroeléctricas; la deficiente calidad del agua, debido a la alta contaminación en la fuente principal aportante, entre otros.

Por tanto, EPM como operador de los embalses y propietario de los predios de protección aledaños a los espejos de agua, está llamado a realizar un análisis territorial que contribuya a la posterior realización de procesos de ordenación por parte de las entidades competentes. Para ello, deberá llevar a cabo 2 operaciones complementarias: hacer una evaluación técnica que permita identificar y dimensionar los usos potenciales en estos embalses y sus zonas de protección, propendiendo por la sostenibilidad del territorio en términos ambientales, sociales y económicos; y, en segundo lugar, a partir de un análisis de la normatividad nacional, regional y municipal, identificar cuáles son las alternativas o herramientas que permitan incluir la planeación de los usos de los embalses y de sus áreas de influencia en la ordenación del territorio de la región y los municipios.

Así pues, este Trabajo Final de Maestría, pretende concentrarse en la primera operación, es decir, en el análisis territorial que permita identificar y dimensionar los usos complementarios y compatibles con la protección en los embalses, teniendo como caso de estudio los embalses Porce II y Porce III y sus zonas de influencia; lo cual será insumo para abordar la segunda operación, que será objeto del Trabajo Final de Maestría desarrollado por Nataly Montoya Restrepo, estudiante de la maestría en Estudios Urbano Regionales, titulado *Ordenamiento de los usos del suelo en las áreas de influencia de los embalses: un enfoque normativo*, así, a pesar de su completa independencia, deberá entenderse como complementario al que aquí se desarrolla.

En este sentido, el objetivo principal es diseñar una propuesta metodológica para determinar la capacidad de acogida del territorio a usos complementarios y compatibles con la protección en la zona de influencia directa de los embalses, teniendo como caso de estudio los embalses Porce II y Porce III.

De manera específica, este Trabajo Final de Maestría se propone cumplir con los objetivos de identificar los usos potenciales, de mayor demanda social, en los embalses y sus zonas de protección; definir los criterios a considerar para la evaluación de los usos potenciales identificados; diseñar una propuesta metodológica para determinar la capacidad de acogida del territorio a los usos potenciales identificados, aplicando las herramientas de la evaluación multicriterio (EMC) y multiobjetivo (EMO) con integración en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y aplicar la propuesta metodológica para determinar el modelo de capacidad de acogida en la zona de influencia de los embalses Porce II y Porce III.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, este trabajo se divide en tres capítulos: marco referencial, modelo de capacidad de acogida y aplicación del modelo de capacidad de acogida al caso de estudio.

En el capítulo de marco referencial, se describen los usos potenciales de los embalses y de sus zonas de protección, complementarios y compatibles con su función de protección para la generación de energía eléctrica; se presenta la capacidad de acogida como herramienta de gestión para la ordenación del territorio y se describen la Evaluación Multicriterio (EMC) y Evaluación Multiobjetivo (EMO), como herramientas que aunadas a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten modelar la capacidad de acogida del territorio. Así, pues, se sustenta la selección de la herramienta de gestión y las herramientas metodológicas que se aplicarán en el diseño de la propuesta que se pretende con este Trabajo Final de Maestría.

Con estas bases conceptuales, en el segundo capítulo se aborda el diseño del modelo de capacidad de acogida aplicado a usos potenciales en los embalses y sus zonas de protección, partiendo de la identificación de los usos a evaluar, teniendo en cuenta los usos que más demanda la población local y regional asentada en las zonas de influencia de los embalses. El modelo se desarrolla a través de un modelo conceptual basado en EMC y EMO y un modelo lógico sustentado en la plataforma ArcGIS y su aplicación ModelBuilder, utilizada para crear, editar y administrar modelos, definidos como flujos de trabajo que encadenan secuencias de herramientas de geoprocesamiento[1].

Posteriormente, el modelo de capacidad de acogida propuesto se aplica al caso de estudio, a fin de validarlo y evidenciar opciones de mejora en el diseño.

Finalmente, es importante aclarar que aunque el desarrollo del trabajo considera como caso de estudio los embalses Porce II y Porce III, la propuesta metodológica que se diseñó podrá ser replicada como modelo de análisis territorial para la planificación de los usos del suelo en otras zonas donde estén emplazados proyectos hidroeléctricos.

[1] Análisis y administración de datos geográficos

1. Marco Referencial

En este capítulo se hará referencia a los temas principales que fundamentan este trabajo, es por ello que se hará una descripción general de los usos de los embalses y de la caracterización de sus zonas de protección de embalses; así mismo, se abordará el concepto de capacidad de acogida y su importancia en la ordenación del territorio y se tratarán los temas de la Evaluación Multicriterio (EMC) y Evaluación Multiobjetivo (EMO) y su integración con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramientas metodológicas para determinar la capacidad de acogida del territorio.

1.1 Usos de embalses

Según lo proferido por la Política Nacional del Recurso Hídrico (2010), el agua se considera un recurso estratégico para el desarrollo social, cultural y económico del país por su contribución a la vida, a la salud, al bienestar, a la seguridad alimentaria y al mantenimiento y funcionamiento de los ecosistemas.

Uno de los usos más relevantes del agua es la producción de energía, para dar cumplimiento a uno de los mandatos de la Constitución Política, que profiere que "los servicios públicos son inherentes a la finalidad del papel social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional" (Constitución Política, 1991, Art. 365).

Para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos se pueden contemplar megaproyectos que involucran la conformación de embalses, o pequeñas centrales hidroeléctricas que no requieren de la inundación de terrenos (ICOLD, 1999: p.1 citado por Acosta, 2004).

Los megaproyectos hidroeléctricos pueden ser considerados como agentes de desarrollo económico y transformación del territorio. Lo anterior se explica, en parte, porque el papel que juega el sector de generación de energía eléctrica es permitir que la economía crezca, que el nivel de vida de los habitantes mejore, lo cual se suma a que en la etapa de construcción y operación de estos megaproyectos se realizan inversiones para el desarrollo local y las transformaciones del territorio ofrecen potencialidades que pueden ser aprovechadas por las comunidades asentadas en la zona de influencia, que por lo general han estado al margen del desarrollo regional.

Quizás en ninguna otra tecnología de generación eléctrica existan posibilidades tan reales y probadas de integración y sinergias con propósitos no energéticos, como es el caso de la hidroelectricidad. Realmente, muchas centrales hidroeléctricas de todo el mundo y particularmente en América Latina fueron el origen de relevantes impactos positivos, en términos de promoción del desarrollo local, mejora de la productividad agrícola y fijación de población en regiones rurales (Naciones Unidas, 2004).

1.1.1 Uso múltiple del agua

Entre los principales usos del agua en una cuenca hidrográfica se encuentran: abastecimiento (acueductos), industria, riego (agricultura), generación de energía, recreación, ambiental, minería, entre otros. Cada uno de estos usos demanda ciertas cantidades del recurso hídrico con una variabilidad espacial y temporal según sean las actividades principales.

Leal (1998), destaca cuatro funciones principales del agua: a) biológica (agua para necesidades básicas humanas y animales); b) ecosistema (medio ambiente para seres acuáticos); c) técnica (usos donde el agua desempeña papel de materia prima en la industria y agricultura o residenciales no básicos); d) simbólica (usos asociados a valores sociales y culturales) (Valdez, 2003, p.2).

En la práctica muchas de estas funciones se solapan, llegando a complementarse o antagonizar según las características del uso que se haga de los Recursos Hídricos; en todo caso se trata de dar un uso múltiple al agua; definido por Castro (1995) como, el aprovechamiento de los Recursos Hídricos para atender dos o más propósitos (Valdez, 2003, p.2).

En el caso específico de embalses para generación de energía, Müller (1996) destaca como ventajas del uso múltiple de los embalses, las siguientes: a) despierta el interés en la conservación de recursos relevantes, con visión de largo plazo; b) disminuye costos al combinar beneficios para diferentes propósitos; c) atrae capitales públicos y privados al ofertar múltiples usos; d) considera los factores que influyen en el mejor aprovechamiento de todas las opciones (Valdez, 2003, p.2).

Müller (1996) también destaca que la función primordial de los embalses es la de generar hidroelectricidad; este hecho hace que no sólo se privilegie dicha actividad sino también que se discriminen otros usos (Valdez, 2003, p.2).

En el caso de Brasil, con la promulgación de la Política Nacional de Recursos Hídricos (1997) se hace obligatorio el uso múltiple del agua con fines de su aprovechamiento (Valdez, 2003, p.2).

1.1.2 Los embalses

La generación de energía hidroeléctrica o hidroenergía es considerada una de las fuentes de energía renovables y puede realizarse con centrales que emplean embalses para el almacenamiento de agua o con centrales que emplean captaciones a filo de agua y por tanto no demandan la inundación de terrenos.

En términos generales, los beneficios primarios de las represas en el mundo son el abastecimiento de agua, además de irrigación para la agricultura, control de corrientes, hidroeléctricas, y recreación (ICOLD, 1999: p.1 citado por Acosta, 2004). No obstante, las represas son hechos territoriales de gran impacto que generan una serie de efectos y consecuencias en los ámbitos ambiental, económico, social y cultural, relacionados principalmente con el uso de la tierra y las actividades productivas. De manera que se registra un reemplazo paulatino de las actividades agrícolas por aquellas relacionadas con el turismo, la pesca y la navegación.

De otro lado, los embalses son considerados humedales artificiales, pues tal como define la Convención Ramsar, en los humedales se incluye una amplia variedad de hábitat tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras tales como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, así como humedales artificiales tales como estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses.

Por tanto, en el sentido ecológico, un embalse es un lago artificial generado por la obstrucción de un río con un muro o presa. De esta manera, el sistema lótico o de río pasa a ser un sistema lenítico o de lago y esta condición hace que en el embalse se generen una serie de procesos físicos, biológicos y químicos, que lo configuran como un ecosistema singular y altamente sensible, especialmente por los problemas de eutrofización o acumulación de nutrientes, debidos a las descargas de nutrientes o contaminantes en la cuenca afluente y en el embalse mismo.

Es por ello, que al planificar otros usos para los embalses y su entorno, deben considerarse las implicaciones ambientales que puedan generar, ya sea por el aporte de contaminantes, lo cual puede agravar las problemáticas asociadas a la eutrofización o porque las condiciones ambientales del embalse generan limitaciones para el ejercicio de otros usos, por ejemplo, zonas de acumulación de sedimentos, proliferación de plantas acuáticas invasoras, presencia de floraciones de algas que pueden generar problemas de salud pública, malos olores generados por la descomposición de materia orgánica, mala calidad del agua, entre otros.

Igualmente, la fragilidad de estos ecosistemas puede ser un limitante, toda vez que la biota u organismos vivos presentes en el embalse pueden verse afectados por el ejercicio de otros usos en el embalse. Por ejemplo, una pesca indiscriminada puede afectar las redes tróficas o

cadenas alimentarias y comprometer la existencia de otras especies asociadas a la presencia de los peces.

1.1.3 Uso principal, compatible y complementario

Como se referenció anteriormente, según Valdez (2003), muchas de las funciones del agua se solapan, llegando a complementarse o antagonizar según las características del uso que se haga de los Recursos Hídricos y es aquí donde es conveniente definir los conceptos de uso principal, compatible y complementario.

En la normatividad Colombiana, se encuentra una definición de estos usos en el artículo 1 del decreto 3600 de 2007, encontrando:

Uso principal. Uso deseable que coincide con la función específica de la zona y que ofrece las mayores ventajas para el desarrollo sostenible.

Uso compatible o complementario. Uso que no se opone al principal y concuerda con la potencialidad, productividad y protección del suelo y demás recursos naturales conexos.

Uso condicionado o restringido. Uso que presenta algún grado de incompatibilidad urbanística y/o ambiental que se puede controlar de acuerdo con las condiciones que impongan las normas urbanísticas y ambientales correspondientes.

Uso prohibido. Uso incompatible con el uso principal de una zona, con los objetivos de conservación ambiental y de planificación ambiental y territorial, y por consiguiente implica graves riesgos de tipo ecológico y/o social.

Sin embargo, se trata indistintamente el uso compatible y complementario, es por ello que consultando en normas internacionales, se destaca la definición que se encuentra en el Plan de Ordenación del Ayuntamiento de Chinchilla de Montearagón en España (Título II, capítulo 1), encontrando:

Uso característico o mayoritario: Es aquel de implantación prioritaria en una determinada zona del territorio.

Uso permitido: Es aquel uso que se puede dar independientemente de que exista o no uso característico.

Uso compatible: Es aquel que puede coexistir con el uso característico sin perder ninguno de ellos las características y efectos que les son propios.

La simultaneidad de implantación de usos puede establecerse sin perjuicio de que se señalen restricciones en la intensidad del uso compatible, debido a las características de la

ordenación.

Uso complementario: Es aquél, relacionado directamente con el uso característico o permitido y dependiente de él, pero que puede existir de forma independiente.

1.1.4 Usos en embalses

Teniendo presente el alcance de las definiciones de usos principales, compatibles y complementarios, se puede deducir para el caso de los embalses, que su uso principal es aquel que motivó su construcción, es decir, generación de energía, abastecimiento de agua potable, irrigación o control de inundaciones. Por su parte, como usos complementarios y compatibles se encuentran principalmente, la recreación, el turismo, la pesca y la navegación.

El turismo, definido como el conjunto de actividades que realizan las personas -turistas durante sus viajes y estancias en lugares distintos al de su entorno habitual, con fines entre otros de ocio, cultura, salud, eventos, convenciones o negocios (Ley 1558 de 2012, artículo 4, numeral 1), es uno de los usos potenciales de los embalses con mayor demanda social.

De igual modo, el medio acuático sirve de base para la práctica de una gran número de actividades y, tanto los recursos marítimos como los cursos fluviales de interior, lagos y embalses, pueden constituir la base del desarrollo de numerosas actividades deportivas (Luque, 2003, p. 143).

En este sentido, se destaca el ecoturismo, que es una forma de turismo especializado que tiene como motivación principal el disfrute por parte de los turistas de servicios de alojamiento, gastronomía y recreación, prestados durante el desplazamiento por ríos, mares, lagos y en general por cualquier cuerpo de agua, así como de los diversos atractivos turísticos que se encuentren en el recorrido utilizando para ello embarcaciones especialmente adecuadas para tal fin (Ley 300 de 1996, Art. 26, numeral 5).

También se destaca el turismo náutico, definido como vacaciones activas en contacto con el agua que permiten realizar todo tipo de actividades náuticas en tiempo de ocio: vela, motor, windsurf, submarinismo, etc, compartiendo la actividad náutica con el disfrute de la naturaleza y la oferta turística y recreativa de diferentes regiones costeras (Turespaña, 1998).

Así mismo, el turismo náutico se puede entender, como un conjunto de relaciones entre personas, surgidas al efectuar un viaje y con la característica de que la principal motivación es la realización de actividades náuticas, con ánimo recreativo o deportivo, y realizadas en grandes masas de agua, como el mar, los ríos y los lagos (Universidad Politécnica de Cataluña, s.f.).

En relación con la pesca, se tiene que los represamientos más importantes se están llevando a cabo en ríos de alto orden o troncos fluviales principales y en zonas donde la pesca es de relevancia regional, y en algunos casos nacional. Además, los impactos ambientales generados por estas grandes transformaciones se están caracterizando por ser de mayor gravedad debido a sus múltiples trastornos producidos, con especial repercusión en las poblaciones de peces y en su productividad. De esta forma, el aprovechamiento pesquero de los embalses, ya sea como medida de mitigación o como actividad dentro del concepto de aprovechamiento múltiple, se comienza a plantear como de imprescindible ejecución (Valderrama, 1984).

Respecto a la navegación, la ley 1242 de 2008 del Ministerio de Transporte, por la cual se establece el Código Nacional de Navegación y Actividades Portuarias Fluviales, define en su artículo 4 que los embalses son vías para la navegación fluvial. Por tanto, es posible su uso como medio de transporte, especialmente para comunicar las comunidades asentadas en los alrededores del cuerpo de agua con otros modos de transporte.

En la evaluación de los usos potenciales en embalses, es necesario realizar un análisis de los impactos ambientales que puedan generar sobre las condiciones ecológicas del embalse y de las restricciones que éste pueda ocasionar para el ejercicio de dichos usos, como se comentó previamente.

1.2 Zonas de protección de embalses

Los proyectos hidráulicos tienen una clara sinergia ambiental positiva con los proyectos forestales. Una de las lecciones más importantes que han tenido los desarrolladores y operadores de plantas hidroeléctricas –particularmente las que tienen un embalse– es que los bosques son indispensables para la existencia de este tipo de plantas. Bajo esta lógica, cualquier desarrollo moderno de plantas hidroeléctricas va asociado al cuidado de los bosques, lo que puede representar un efecto de sinergia ambiental que alimenta positivamente la reducción de la emisión de gases de efecto de invernadero y la captura del carbono asociado a estas emisiones (Naciones Unidas, 2004).

Esta situación, que se realiza de manera obligatoria por la necesidad de compensar las áreas de bosque afectadas por la inundación, como por la iniciativa voluntaria de conservar bosques alrededor de los embalses para la protección del cuerpo de agua, hace que estas áreas se constituyan en bienes ambientales de la región que proveen servicios ecosistémicos.

En el proceso de adquisición de los predios requeridos para la zona de protección del embalse, las empresas generadoras compran algunos que ya tienen una cobertura vegetal y en cuyo caso las acciones emprendidas por las empresas están encaminadas a la conservación de dichas coberturas, a fin de alcanzar estados sucesionales más avanzados. Además, se adquieren predios en los cuales se venía realizando un aprovechamiento económico y que por lo general están desprovistos de vegetación, en la mayoría de los cuales

las acciones están encaminadas al enriquecimiento florístico mediante la reforestación con especies nativas o exóticas de rápido crecimiento, para permitir que en el corto y mediano plazo dichos predios cumplan con su función de protección y acciones que favorecen el proceso de sucesión natural, como la restricción en la utilización de estos predios para fines agrícolas o ganaderos.

De esta manera, se contribuye a la sostenibilidad ambiental del territorio, mediante la protección de los bosques naturales (primarios intervenidos y secundarios) y rastrojos, donde se alberga una cantidad considerable de especies y hábitats, que en otras circunstancias no tendrían posibilidad de permanencia ante la alta demanda de recursos naturales, la extensión de la frontera agropecuaria y la presión de tenencia y uso de la tierra.

Así mismo, la conservación de áreas de bosques presta servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica, el mejoramiento en la calidad y cantidad del agua, la disminución de pérdida de suelos, entre otros, aunado a ello se obtienen beneficios que son intrínsecos al equilibrio con el entorno natural, tales como la conservación de la biodiversidad, hábitat de fauna y flora, protección de especies raras, amenazadas o en peligro de extinción, conectividad biológica, etc.

1.2.1 Usos en la zona de protección de embalses

La importancia de las zonas de protección de los embalses los convierte en “laboratorios vivos” para la investigación de la riqueza de fauna y flora que albergan y para profundizar en los servicios ecosistémicos que allí se prestan.

No obstante, estas áreas tienen una gran demanda social para la realización de actividades turísticas, especialmente ecoturismo, definida como aquella forma de turismo especializado y dirigido que se desarrolla en áreas con un atractivo natural especial y se enmarca dentro de los parámetros del desarrollo humano sostenible. Estas actividades turísticas, dependen también en gran medida, del desarrollo vial.

El ecoturismo busca la recreación, el esparcimiento y la educación del visitante a través de la observación, el estudio de los valores naturales y de los aspectos culturales relacionados con ellos. Por lo tanto, el ecoturismo es una actividad controlada y dirigida que produce un mínimo impacto sobre los ecosistemas naturales, respeta el patrimonio cultural, educa y sensibiliza a los actores involucrados acerca de la importancia de conservar la naturaleza. El desarrollo de las actividades ecoturísticas debe generar ingresos destinados al apoyo y fomento de la conservación de las áreas naturales en las que se realiza y a las comunidades aledañas (Ley 300 de 1996, Art. 26, numeral 1).

Diferentes hechos constatan el interés creciente de las prácticas turístico-deportivas en la naturaleza (incremento del número de publicaciones, revistas y guías sobre áreas naturales e itinerarios para recorrerlas; crecimiento y surgimiento de nuevas modalidades deportivas con soporte en los recursos naturales; etc.). Esta importancia ha generado efectos positivos y negativos, por ejemplo, ha posibilitado el acercamiento al medio natural y el conocimiento de ecosistemas, el aumento de la conciencia ambiental entre la población o la creación de

nuevos mercados para economías locales y nacionales, sin embargo, los efectos negativos, fundamentalmente provocados por la práctica incontrolada, también se han hecho notar y han supuesto la degradación ambiental de determinados espacios ecológicamente frágiles (Luque, 2003, p. 133).

En la actualidad el principio de "sostenibilidad" se impone en el desarrollo de cualquier tipo de actividad, buscándose no degradar ni agotar los recursos que hacen posible dicho desarrollo. Partiendo de esta idea, la puesta en marcha de cualquier actividad turística en la naturaleza debe asegurar un uso potencial y ordenado de los recursos que le sirven como soporte, siendo esencial llevar a cabo una adecuada distribución territorial de las mismas (Luque, 2003, p. 133).

En consecuencia, antes de poder analizar la potencialidad que presentan los elementos geográficos de un territorio como soporte para la práctica de actividades recreativo-deportivas, se debe realizar un estudio donde aparezcan recogidos y numerados dichos recursos "potenciales" que van a servir de cimiento al desarrollo de estas prácticas, es decir, se debe realizar un inventario previo de recursos naturales (senderos, caminos, ríos, pantanos, etc.) para, a partir de aquí, plantear el posible uso recreativo-deportivos de los mismos. A su vez es fundamental conocer dichos recursos para poder ofertar prácticas que sean respetuosas con el medio y para que el gestor planifique y ordene convenientemente el territorio en este sentido, evitando el impacto ambiental que pueden generar estas prácticas en función de la capacidad de acogida propia de cada uno de los recursos (Luque, 2003, p. 140).

Sin embargo, resulta de enorme complejidad realizar un inventario de recursos con esta finalidad, ya que existen una gran diversidad de prácticas (algunas se adaptan al carácter cambiante del medio y se desarrollan en ambientes geográficos muy diversos, por ejemplo, las rutas de senderismo, de ciclomontañismo o ecuestres; frente a otras que demandan elementos geográficos muy concretos, por ejemplo, los deportes de aguas bravas) y los factores pueden ser muy numerosos y de diversa naturaleza (espaciales, ambientales y dinámicos, etc.); no obstante, no hay que olvidar que en principio serán los recursos ambientales, y dentro de estos los naturales, los verdaderamente determinantes (Luque, 2003, pp. 140, 143).

En este sentido, el medio natural puede llegar a imponer limitaciones a la práctica recreativo-deportiva en función de los rasgos que éste presente. Estas limitaciones pueden ser totales (imposibilidad de realizar una actividad porque aparezcan valores restrictivos para la práctica de la misma, por ejemplo, algunas de las variables que suelen agravar la dificultad y pueden llegar a limitar las prácticas recreativas son la topografía, la litología, la climatología, la hidrología) o parciales, en función del nivel de preparación física y conocimiento de la actividad que posea el practicante (Luque, 2003, p. 143).

Existe un gran número de actividades que conllevan un ejercicio físico y que se desarrollan en contacto con el medio natural, entre ellas el montañismo y variantes (senderismo, etc.) son la que mayor prestigio poseen, a partir de aquí las actividades se identifican con el sobreesfuerzo y el riesgo (escalada, barranquismo, ciclomontañismo, parapente, etc.), llegando hasta los que se han venido a denominar como "deportes extremos" (puenting, etc.), y a los que rehúyen el esfuerzo y buscan el placer de sensaciones nuevas muy relacionadas

con la velocidad y la destreza (conducción de vehículos todo terreno, esquí acuático, etc.) (Blázquez y Sánchez, 2001, p.6 citado por Luque, 2003, p. 136).

En la tabla 1-1, se describen los requerimientos del medio natural para la realización de actividades recreativo-deportivas.

Tabla 1-1. Requerimientos territoriales de actividades recreativo-deportivas en la naturaleza

Actividades	Requerimientos ambientales
SENDERISMO CICLOMONTAÑISMO RECORRIDOS ECUESTRES RUTAS EN 4X4	- Caminos preferentemente no asfaltados (pistas forestales, senderos, vías pecuarias, etc) y con una amplitud mínima (menor para el senderismo y mayor para el ciclomontañismo, recorridos ecuestres y recorridos en 4x4). - Áreas que no gocen de ninguna restricción legal para la práctica de las actividades - Áreas que cuenten con un interés natural o paisajístico - Cercanía a núcleos de población - Topografía suave - Firmes terrizos, evitar terrenos duros, pedregales o suelos excesivamente blandos - Áreas libres de obstáculos determinados (cursos de agua difícilmente transitables, etc)
ESPELEOLOGÍA	- Presencia de cuevas o simas - Fácil accesibilidad a las cavidades subterráneas - Facilidad de recorrido (morfología ancha, salas de volumen medio-alto, escasez de pasos estrechos, etc) - Presencia de elementos atractivos (belleza de formaciones geológicas, cursos subterráneos de agua, etc)
DESCENSO DE QUEBRADAS	- Presencia de una fuente de agua - Desniveles pequeños - Caudales de agua escasos o moderados - Facilidad de accesibilidad - Existencia de vías de escape - Existencia de firmes compactos y poco resbaladizos - Inexistencia de obstáculos peligrosos (rebufos, sifones, etc)
ACTIVIDADES DEPORTIVAS EN AGUAS TRANQUILAS	- Presencia de lagos, embalses, tramos medios e inferiores de ríos, etc. - Fácil accesibilidad - Adecuada calidad de las aguas - Naturaleza del firme sin excesivos fangos - Temperatura del agua adecuada - Zona libre de peligros (corrientes, remolinos, etc)

Fuente: Luque, 2003

1.3 Impactos territoriales de los proyectos hidroeléctricos

Ubicada tradicionalmente entre las fuentes renovables, la hidroenergía asociada a medianas y grandes centrales ha recibido últimamente fuertes críticas, por sus impactos ambientales y sociales (Naciones Unidas, 2004).

Según Naciones Unidas (2004), León (2008) y MAB (2011), los factores negativos se levantan en contra de las centrales hidroeléctricas de elevada capacidad y con grandes embalses, son:

- Emisiones de gases de efecto invernadero (inclusive gas metano) por descomposición de la vegetación inundada,
- Reducción de la velocidad de las corrientes, con cambios de la biota que pueden favorecer la difusión de vectores patógenos,
- Cambios en el transporte de sedimentos que afectan regiones costeras situadas aguas abajo de la presa,
- Desviación de ríos y consecuente pérdida de acceso para las comunidades circundantes,
- Deforestación para establecer el tendido eléctrico,
- Procesos de erosión del suelo,
- Pérdida de la biodiversidad debido a la edificación de las obras de infraestructura y cambios drásticos en los hábitats de los ríos embalsados, situación que lleva en última medida a la desaparición de las especies nativas y la reproducción acelerada de especies plantadas invasoras, relacionadas con la actividad productiva de la pesca,
- Pérdida de bosques y de hábitats naturales, de poblaciones de especies, y la degradación de las cuencas río arriba debido a la inundación de la zona de los embalses,
- Pérdida de la biodiversidad acuática, de las pesquerías río arriba y abajo, y de los servicios brindados por las planicies de inundación río abajo, por los humedales, y por los ecosistemas de las riberas, y estuarios adyacentes,
- Impactos acumulativos en la calidad del agua, en las inundaciones naturales y en la composición de las especies, cuando en el mismo río se construyen varias represas,
- Empeoramiento de la calidad y salubridad de las aguas tanto río arriba como río abajo por la modificación artificial de las cuencas hidrográficas. Bloquear el flujo natural causa aumentos en la sedimentación, con acumulación de nutrientes y organismos que incitan la proliferación de algas, pudiendo cubrir la superficie del embalse e inutilizar su agua para el consumo doméstico e industrial. Los grandes embalses pueden también producir contaminación con sustancias o bacterias tóxicas que amenacen la salud pública,
- Degradación de los ecosistemas acuáticos, de hecho, las grandes represas son la principal causa física de ésta degradación. Al menos 400,000 km2 de los ecosistemas ribereños más diversos del mundo, se han perdido al ser inundados para crear represas,
- Afectaciones a especies de peces migratorios por la construcción de grandes represas en sus hábitats, debido a que estas especies requieren una fuente de agua dulce fluida y no obstruida para poder procrear y desovar,

- Impactos en el cambio climático por el aumento en la emisión de gases efecto invernadero causados por la descomposición de materia orgánica inundada por la obra. Asimismo, el cambio climático podría impactar la seguridad y productividad de las represas por cambios drásticos en precipitaciones y sequías,
- Efectos sísmicos que las grandes represas y los embalses pueden producir por la alta presión del agua del embalse, lo cual puede lubricar las fallas tectónicas y reducir el rozamiento entre las superficies de las rocas subterráneas,
- Desplazamiento de poblaciones por la formación de embalses e inundación de grandes extensiones de tierra,
- Pérdida de vestigios arqueológicos por la remoción de masas de tierra para la construcción de las represas,
- Pérdida de tierra y otros bienes,
- Pérdida o restricción del acceso a recursos necesarios para la reproducción del modo de vida,
- Pérdida o reducción de fuentes de empleo, renta o medios de sobrevivencia.
- Ruptura de cadenas económicas,
- Inconformidad por parte de las comunidades afectadas por falta de consulta previa,
- Desencadenamiento de procesos de resistencia contra la construcción de represas e hidroeléctricas; resistencias que paulatinamente sobrepasan su ámbito local, para transformarse en espacios de resistencia de carácter regional.

No obstante, la existencia de embalses que están en operación y la proyección de nuevos espejos de agua para abastecer la demanda de energía, debido a los bajos costos de producción en comparación con otros desarrollos energéticos, hace necesario analizar detenidamente el costo de oportunidad que estos entornos ofrecen por las potencialidades referenciadas en los numerales ya desarrollados y como un mecanismo para compensar y propiciar el desarrollo de las comunidades asentadas en estos territorios.

Pero en el análisis de la potencialidad para usos complementarios o compatibles con la protección en estos entornos, se debe tener presente los impactos acumulativos, entendidos como los impactos en el ambiente que resultan del efecto incremental de una acción, agregada a los efectos de acciones pasadas, presentes y razonablemente previsibles en el futuro (U.S. Environmental Protection Agency, 1999).

En este sentido, la metodología de capacidad de acogida del territorio desarrollada en este trabajo, se propone como una Evaluación de Impactos Acumulativos en entornos de embalses, ya que parte de considerar las capacidades del territorio luego de la entrada en operación del proyecto para analizar la viabilidad de usos potenciales, teniendo presente sus impactos.

1.4 Capacidad de acogida y ordenación del territorio

1.4.1 Ordenación del territorio

Los elementos que conforman la ordenación del territorio son (Gómez Orea, 2007):

- Las actividades humanas a ordenar, que soportan y dan cauce al desarrollo.
- Su localización en el espacio.
- La regulación de su comportamiento.

Respecto a la localización de las actividades, debe realizarse acorde con la "lectura" del entorno, lo que se concreta en los cuatro criterios siguientes, todos ellos directamente asociados al sistema territorial:

- Adecuarse a la "lectura" del medio físico, lo que se traduce en respetar la capacidad acogida del medio físico.
- Aspirar a la máxima funcionalidad del conjunto, es decir, optimizar las relaciones con otros planes concurrentes en la zona y con las actividades existentes en el entorno.
- Procurar el uso múltiple de los espacios.
- Coherencia de los elementos físicos en su entorno.

La adecuación a la "lectura" del medio físico, se refiere a que toda actividad ocupa y transforma un espacio; en realidad toda actividad puede interpretarse como un espacio adaptado para cumplir unas determinadas funciones. Por su parte, el entorno no es homogéneo sino que se organiza en "unidades ambientales" y está afectado por todo tipo de procesos y riesgos; pues bien, las características y ubicación relativa de las unidades ambientales y los procesos activos que le afectan permiten "leer" su vocación natural o capacidad de acogida. El criterio de integración consiste, pues, en respetar la capacidad de acogida del medio físico.
En la medida en que la localización de las actividades se aproxime más o menos a la capacidad de acogida, se estará consiguiendo mejor o peor integración con el entorno.

Así mismo, se considera que la ordenación territorial implica tres facetas complementarias e iterativas (Gómez Orea, 2007):

- El diagnóstico territorial o análisis e interpretación del sistema territorial a la luz de la evolución histórica y de las tendencias evolutivas sin intervención.

- La planificación territorial o definición del sistema territorial futuro y de las medidas (de regulación, de intervención y de gestión) para avanzar hacia él. Dentro de ésta, la prospectiva territorial, define escenarios o situaciones futuras imaginables que se adoptan como referencia para seleccionar la imagen objetivo a conseguir a largo plazo.

- La gestión territorial o conjunto de diligencias para aplicar las medidas capaces de conducir el sistema territorial en la dirección marcada por la imagen objetivo.

Por tanto, a partir de un buen diagnóstico o análisis territorial, se obtendrán planes asertivos y efectivos para contribuir a la sostenibilidad ambiental, social y económica del territorio.

El diagnóstico territorial consiste en la identificación y evaluación de las oportunidades, limitantes y problemas de los diferentes componentes y dimensiones del territorio (biofísico, usos, sistemas de producción y extracción funcional del espacio, etc.) Estará guiado por las políticas, planes y programas formulados por la entidad territorial, así como por la normativa y en general el contexto jurídico legal que da soporte al plan. Precisa de una aproximación integral al conocimiento de los procesos y estructuras que integran el territorio (biofísicas, sociales, económicas, culturales, administrativas), así como las causas y efectos de las actuaciones en él (Corporación Regional del Cauca, s.f.).

En este sentido, el concepto de capacidad de acogida es considerado el más importante para aportar el análisis y diagnóstico del medio físico a la ordenación territorial (Gómez Orea, 2007).

La capacidad de acogida es un concepto tomado de la ordenación territorial que expresa la relación del medio con las actividades humanas en términos de vocación, compatibilidad o incompatibilidad, u otros calificativos; el respeto a la capacidad de acogida viene a representar la concertación de dos puntos de vista que se suponen dialécticamente contrapuestos: el del "conservacionista" y el del "promotor"; el primero mira la relación actividad-entorno desde éste último, en términos de impacto, mientras el promotor la percibe desde la actividad, en términos de aptitud o potencial del medio: tiende a poner éste al servicio de aquél y a ignorar las alteraciones indeseables –externalidades negativas- que pueden surgir, a no ser que afecten al propio funcionamiento de la actividad prevista (Gómez Orea, 2007).

Tal concertación se conseguirá en la medida en que el Plan localice las actividades respetando la “lectura” del medio físico; los conflictos surgen porque frecuentemente coincide una capacidad de acogida alta para actividades incompatibles en tiempo y/o espacio, y porque la demanda social no suele cuadrar con la "oferta ambiental", es decir con el modelo óptimo que proporciona la capacidad de acogida máxima. La capacidad de acogida se suele asociar a un plano de unidades ambientales, cuya identificación, conocimiento y valoración constituye un elemento fundamental del diagnóstico del entorno o del territorio (Gómez Orea, 2007).

1.4.2 Capacidad de acogida

Se define como el “grado de idoneidad” o la cabida del territorio para una actividad, teniendo en cuenta la medida en que el territorio cubre los requerimientos locacionales de la actividad

(capacidad) y los efectos de ésta sobre el medio (impacto o vulnerabilidad). Por tanto, es un indicador del mejor uso que puede hacerse del territorio (Antequera, 2008).

Así mismo, se considera una metodología que permite la integración de variables de diferentes categorías, permite una posición media entre la conservación de los recursos y el uso deseado, permite encontrar los puntos del territorio que pueden utilizarse en beneficio del hombre sin impactos inaceptables, reevalúa la pertinencia de usos preexistentes en un área determinada y considera variables adicionales a las físico-bióticas (Gómez Orea, 2007).

Gómez Orea (2007) hace las siguientes referencias del concepto de capacidad de acogida:

- La determinación de la capacidad de acogida del territorio puede considerarse como un invariante en todas las metodologías, porque representa la "lectura" del territorio, su vocación natural, y es, por tanto, un paso obligado para establecer el control del uso del suelo así como para formular la imagen objetivo óptima del sistema en todos los aspectos que lo componen: uso del suelo (ordenación del medio físico), actividades económicas, equilibrios intersectoriales, empleo, población y su distribución en el espacio, redes de conexión, etc.

- La capacidad de acogida de una unidad ambiental representa el uso que puede hacerse de ella teniendo en cuenta conjuntamente el punto de vista del promotor de la actividad que ese uso comporta, y el punto de vista social representado por la necesidad de conservar el medio. Por otro lado, junto con los recursos existentes, determina el potencial del medio físico para el desarrollo.

- En la medida en que la localización de las actividades se aproxime más o menos a la capacidad de acogida, se estará consiguiendo mejor o peor integración con el entorno.

Por tanto, teniendo presente la importancia de este concepto en el ordenamiento territorial, se realizó una búsqueda de estudios territoriales que apliquen este concepto. En este sentido, se tiene el trabajo desarrollado por Otero y otros (2001) en España, en el que aplica el modelo de capacidad de acogida con la finalidad de: i) evaluar el funcionamiento del propio modelo, ii) analizar el estado y situación actual de la red de vías pecuarias de la zona y iii) establecer las pautas para el cambio de usos de la red de vías pecuarias de la zona.

De otro lado, se tiene el trabajo de Gómez (2007), que tiene por objeto determinar la capacidad de acogida para la definición de áreas aptas para el establecimiento de uso suburbano en el corregimiento de San Cristóbal, municipio de Medellín. Se encontraron diferencias respecto a lo contemplado como zona de expansión urbana por el Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín, determinando un área total para la expansión urbana menor a la contemplada en el POT, la cual es un área homogénea, mientras que el estudio de Gómez (2007) discrimina los fragmentos de territorio con capacidad alta y media.

Por último, se tiene el trabajo de Agudelo (1998), el cual emplea la metodología de capacidad de acogida para identificar las limitaciones y posibilidades que el medio físico impone a la expansión de los distintos usos del suelo en el Valle de Aburrá y facilitar herramientas para evaluar la factibilidad ambiental de proyectos de desarrollo o conservación de áreas naturales. Este trabajo identificó dificultades en la aplicación del método, que radican en la subjetividad en la asignación de valores a los atributos considerados relevantes, la poca calidad temática y cartográfica de la información de cada variable, errores en el manejo de la información en los SIG y la escala de trabajo.

1.4.3 Descripción general del método de capacidad de acogida

La capacidad de acogida se interpreta como síntesis de dos requerimientos o factores que la condicionan (Antequera, 2008):

- **Capacidad** del territorio como soporte físico de una actividad

- **Vulnerabilidad o impacto** del medio físico frente a una actividad o uso concreto. Los impactos considerados son aquellos derivados de la implantación de la actividad y de su posterior uso.

La valoración de la capacidad y de la vulnerabilidad se realiza de forma cualitativa en cinco niveles: MUY ALTO (MA), ALTO (A), MEDIO (M), BAJO (B) Y MUY BAJO (MB). Por tanto, los requerimientos óptimos para implantar un uso determinado se dará en aquellas áreas donde para dicho uso, la **capacidad** sea muy alta (MA) y la **vulnerabilidad o impacto**, muy baja (MB).

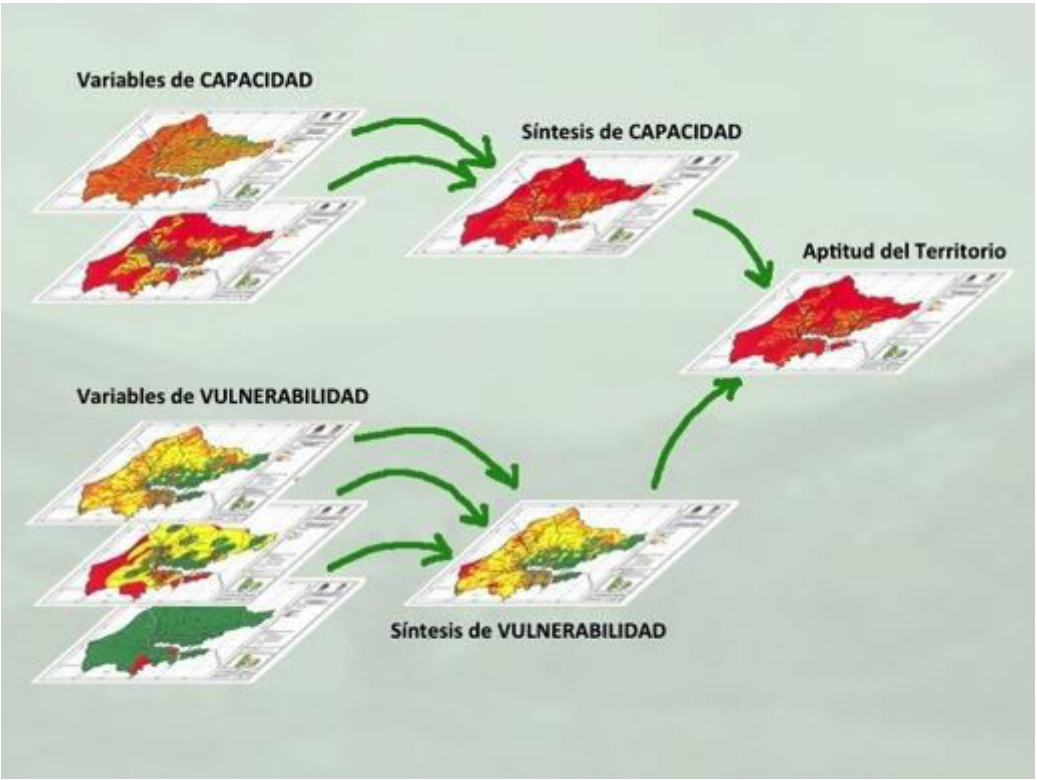
Para aplicar la metodología, se deben seleccionar las actividades que se quiere ubicar, los factores que van a determinar la capacidad y la vulnerabilidad y un conjunto de procedimientos para integrar toda la información temática disponible.

En este sentido, Antequera (2008) describe el método desarrollado por Miralles, Altur y Gielen, que consta de las siguientes fases:

a) Cada factor del medio físico debe expresarse en mapas de clase o unidades temáticas homogéneas para ese factor. La escala de trabajo debe ser similar para todos los factores.
b) Se deben identificar para cada uso o actividad, aquellos factores susceptibles de ser tenidos en cuenta desde el punto de vista de la capacidad y de la vulnerabilidad.
c) Cartografía temática de cada una de las variables y definición de las diferentes clases asociadas a ellas.
d) Elaboración de las matrices de capacidad para cada factor seleccionado. Los usos aparecen en columnas y las unidades, en términos de clase o nivel del factor correspondiente, en filas. En las casillas de cruce se coloca la capacidad de la zona para asentar la actividad en relación al factor considerado.
   Análogamente se definen las matrices de vulnerabilidad y los mapas de capacidad y vulnerabilidad para cada uso y factor.
e) Definición de las Unidades de Capacidad y de Vulnerabilidad mediante la integración cartográfica de las variables utilizadas en la definición de la capacidad y de la vulnerabilidad.

f) Asignar a cada unidad de integración de capacidad y de vulnerabilidad un valor integrado y único de capacidad y vulnerabilidad, respectivamente.
g) Obtención de las unidades de integración finales obtenidas por intersección de las unidades de capacidad y de vulnerabilidad y determinación de la aptitud o capacidad de acogida de cada una de dichas unidades finales para cada uso considerado (ver figura 1).

Figura 1-1. Modelo para la integración de unidades de capacidad y de vulnerabilidad



Fuente: Gómez, 2007

Los resultados que se pueden obtener para la aptitud o capacidad de acogida se describen en la Tabla 1-2.

Es importante aclarar que los resultados obtenidos son sólo indicativos de una vocación de uso, ya que dependen de las variables empleadas para definir la capacidad y la vulnerabilidad, del método para la valoración de cada variable y del método de integración. Así mismo, sólo se consideran factores del medio físico, por tanto, se requiere considerar en el análisis otras consideraciones distintas de las exclusivas del medio físico, que complementen y concreten con más detalle la asignación final de usos realizada.

Tabla 1-2. Matriz de aptitud o capacidad de acogida

Capacidad	Vulnerabilidad		
	Baja	**Media**	**Alta**
Alta	SL	A (IVA)	DES
Media	A (VTE)	A (IVA + VTE)	
Baja	NP		

Fuente: Antequera, 2008

Dónde:

SL: Se permite el uso sin limitación
A (VTE): Se permite el uso, previo informe de viabilidad técnica
A (IVA): Se permite el uso, previo informe de viabilidad ambiental
A (IVA + VTE): Se permite el uso, previo informe de viabilidad técnica y ambiental
DES: Se desaconseja la localización del uso por ser incompatible con un desarrollo económico sostenible
NP: Uso prohibido

1.4.4 La capacidad de acogida en el uso de espacios naturales

La Organización Mundial del Turismo define la capacidad de acogida como el número máximo de personas que pueden visitar al tiempo un lugar turístico, sin dañar el medio físico, económico o sociocultural, y sin reducir de manera inaceptable la cantidad de la experiencia de los visitantes (Vera y col., 1997 citado por Sandoval y Abellán, 2000). Sin embargo, este concepto de capacidad de acogida como número de visitantes es insuficiente para estimar realmente los impactos producidos en un área recreativa. Es necesario considerar otros factores que también influyen en la gravedad de estos efectos, como la duración de la visita, la época del año, la conducta del visitante y la distribución de estos dentro del área, la fragilidad ecológica del entorno considerado, la capacidad de regeneración del medio y las medidas de gestión y restauración que los gestores deciden aplicar.

Por tanto, la gestión de los espacios naturales se ha de apoyar en el análisis de la capacidad de acogida, del tipo y distribución de los impactos, y de las oportunidades recreativas del área concreta, para elaborar escenarios de uso público acordes con las opciones más probables de desarrollo, ya que no todos los ecosistemas responden de igual manera. Por lo general, la opción de un desarrollo libre sin restricciones o el rechazo del turismo como alternativa de desarrollo resultan inaceptables. Es el escenario del turismo sostenible el que se preconiza, de conformidad con las opciones que conciernen a otros sectores. De este modo, la planificación, la implantación y la gestión del desarrollo turístico se integra en un proceso a largo plazo, capaz de compatibilizar la satisfacción de las necesidades de la población actual (visitantes, empresarios) sin comprometer las bases de los recursos necesarios para generaciones futuras (Abreu, 1975 citado por Sandoval y Abellán, 2000, pp. 13-14).

De otro lado, la vertiente más espacial dentro de la ordenación territorial pretende asegurar que las actividades humanas se distribuyan de manera acorde con las características físicas, biológicas y perceptuales que coexisten en el espacio. Una adecuada planificación ambiental supone el establecimiento de los usos más apropiados para cada área o punto del territorio, por lo que, una correcta ordenación de las actividades turístico-deportivas en la naturaleza debe basarse en la determinación de la capacidad del medio para acoger dichas prácticas y en el impacto que pueden llegar a causar las mismas, buscándose la utilización óptima de los recursos naturales existentes y una acorde distribución de estas actividades en función de las características físicas y biológicas del espacio.

Por tanto, la expansión reciente de las prácticas turístico-deportivas en la naturaleza demanda en sobremanera tal trabajo, estimándose como muy necesarios estudios previos del medio que posibiliten la localización idónea de las actividades en el medio natural, en este sentido los distintos modelos de evaluación del medio, entre los que los de capacidad de acogida adquieren un protagonismo claro, alcanzan gran trascendencia (Luque, 2003, p. 133).

De esta manera, la importancia que poseen las condiciones ambientales y el intento por hacer disminuir el grado de incertidumbre de las prácticas recreativas en el medio natural, hacen que resulte básico localizar las actividades en espacios físicos estables y con condiciones ambientales idóneas, para lo cual, un análisis territorial previo a la ubicación de estas actividades en el cual se determinen las áreas de mayor aptitud y menor incertidumbre para la práctica de las mismas serviría de gran ayuda para los gestores y planificadores territoriales. (Luque, 2003, p. 6)

1.5 Evaluación Multicriterio (EMC) y Evaluación Multiobjetivo (EMO)

Las técnicas de Evaluación Multicriterio son herramientas que se insertan en un marco teórico más amplio, la “Teoría de la Decisión” y tienen su origen en la teoría económica, principalmente, en las investigaciones llevadas a cabo a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, fecha a partir de la cual los economistas comenzaron a buscar las relaciones entre el comportamiento de los agentes económicos y la economía en general. En los años sesenta se consolida esta teoría, que experimenta un crecimiento importante en los años ochenta con la incorporación de la informática. No obstante y, a pesar de que provengan de la teoría económica, en la actualidad se han convertido en una importante vía metodológica para la planificación territorial y ambiental, por ello es una herramienta cada vez más utilizada en geografía como técnica orientada a asistir a los procesos de toma de decisión (Santos, 1997, p. 130 citado por Luque, 2003, p. 144).

Así mismo, los problemas de toma de decisiones hoy en día son tan complejos y requieren de visiones integrales de todo el problemas, que pensar en soportar las decisiones asociadas a

estos problemas con base en un solo objetivo sería una consideración demasiado simplista. Se requiere, por tanto, de la consideración de múltiples objetivos para soportar adecuadamente cualquier proceso de toma de decisiones (Smith et al, 2005, p. 2-1), lo cual da origen a la Evaluación Multiobjetivo (EMO).

En el ámbito de la EMC, la determinación de la capacidad de acogida para una actividad en un territorio se enmarca en una evaluación de objetivo simple y criterios múltiples. También es posible establecer varios modelos de este tipo, es decir, varios modelos de capacidad de acogida para diferentes actividades en un mismo territorio, lo que permitiría integrarlos *a posteriori* en una evaluación multi-objetivo, logrando así determinar la localización óptima de las actividades evaluadas en el territorio (Gómez y Barredo, 2005, p. 121).

En este sentido, un enfoque para el análisis de la capacidad de acogida es el de impacto-aptitud. Así, la obtención de un valor que refleja la capacidad de acogida de un territorio puede obtenerse con base en la aptitud del mismo para cada uso y el impacto potencial generado por los usos planteados sobre el medio. El procedimiento definido como modelo impacto-aptitud (Gómez Orea, 1992) basa su implementación en la definición de un valor de impacto y otro de aptitud para cada lugar del territorio, estableciendo así posteriormente una serie de clases de capacidad, a partir de dichos valores y para el uso que se esté evaluando (Gómez y Barredo, 2005, p. 124).

1.5.1 Procedimiento

En principio se debe considerar que el concepto de capacidad se relaciona con otra serie de términos representativos, entre los que adquieren especial importancia el de aptitud, vocación potencial del territorio a los requerimientos impuestos por la actividad evaluada; impacto, efectos negativos de una actuación determinada sobre el medio; y restricción, factores que son incompatibles con el uso analizado (Luque, 2003, p. 146).

Para valorar la capacidad del territorio y tratando de ajustar una solución óptima[2] a la problemática planteada, se propone una estructura metodológica que pasa por recoger secuencialmente los criterios de restricción (restringen la posibilidad de la práctica de la actividad o uso evaluado), y los que definen la aptitud e impacto (realzan o detractan la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad).

[2] La optimización del uso del suelo pasa por la condición de maximizar la aptitud de un territorio para esta práctica y minimizar el impacto, no obstante, la determinación de dicha capacidad no puede ser taxativa ya que cada decisor puede aplicar unos valores distintos en función del mayor o menor rigor conservacionista que se adopte y de las demandas sociales de un lugar, sin embargo, nunca se deben superar unos umbrales máximos de impacto negativo ni unos niveles mínimos de aptitud.

También se deben determinar los factores[3] por los que se miden estos criterios y las variables territoriales adecuadas para medir y puntuar factores y criterios (Luque, 2003, pp. 146, 147).

Una vez establecidas las variables, factores y criterios de evaluación, se procede a la combinación de los mismos por medio de una serie de "reglas de decisión" o "juicios de valor", según la terminología del método, apoyados en diversos procedimientos aritmético-estadísticos, que pueden ser compensatorios (que son aquellos donde el centro decisor debe especificar los pesos de los criterios como valores cardinales o funciones de prioridad así, un valor alto de una alternativa en un criterio puede compensar un valor bajo de la misma alternativa en otro criterio) o no compensatorios (que demanda un menor proceso cognitivo del centro decisor y donde un valor bajo en un criterio no puede ser equilibrado por uno alto en otro) (Barredo, 1996, p. 63 citado por Luque, 2003, p. 147).

Específicamente, para la práctica de actividades recreativo-deportivas en la naturaleza, la determinación de los criterios de evaluación en la valoración de la capacidad del territorio como soporte, es especialmente importante ya que el correcto funcionamiento de la herramienta se ve condicionada por una selección y valoración correcta de estos criterios. En este sentido, la escasa, por no decir nula tradición geográfica en el estudio de las implicaciones territoriales de las actividades deportivas en general (a pesar de estar muy extendidas entre la población y ser claras consumidoras de espacio), supone una investigación compleja para llegar a establecer una serie de criterios, lo suficientemente documentados y argumentados, que sirvan de base a posteriores evaluaciones del territorio, con lo cual, el contacto con expertos en cada una de las prácticas y el trabajo en grupos multidisciplinares, se convierten en dos requerimientos básicos para llevar a cabo una evaluación correcta (Luque, 2003, p. 147).

1.5.2 Métodos de EMC

Los distintos métodos o técnicas de EMC se diferencian básicamente en los procedimientos aritméticos-estadísticos que realizan sobre las matrices de evaluación y de prioridades, con lo cual se obtiene una evaluación final de las alternativas (Gómez y Barrredo, 2005, p. 84).

Una clasificación de métodos de EMC, desde el punto de vista del tipo de procedimientos que desarrollan, es presentada por Jankowski (1995). En dicha clasificación se diferencian dos

[3] Gómez Orea indica que existen diversos factores capaces de orientar sobre el potencial de un territorio: los relacionados con el medio natural, donde se incluirían una larga lista de elementos del medio físico, cuya influencia en la localización de las actividades puede ser determinante (pendiente, vegetación, paisaje, tipo de suelo, etc.); factores basados en el mantenimiento del patrón o modelo locacional existente; factores relativos a los rasgos espaciales o esencialmente geográficos (distancia, accesibilidad, etc.); factores basados en otro tipo de condicionantes locacionales (desarrollo económico, etc)

grupos de técnicas de EMC: compensatorias y no compensatorias. En las técnicas compensatorias se deben establecer los pesos de los criterios de manera numérica; mientras que las técnicas no compensatorias indican el valor de importancia de los criterios, sin establecer un peso de manera cuantitativa (Gómez y Barrredo, 2005, p. 85).

Los procedimientos enmarcados en las técnicas compensatorias pueden ser divididos en dos subclases: técnicas aditivas y técnicas basadas en la aproximación del punto ideal. (Gómez y Barrredo, 2005, p. 87).

En los procedimientos aditivos, el valor obtenido en cada alternativa es el producto del peso del criterio y las puntuaciones de los criterios, siendo la alternativa que obtenga el valor más alto la más adecuada o la mejor para la actividad evaluada. Entre las técnicas aditivas se destacan: la Sumatoria Lineal Ponderada, el método de las Jerarquías Analíticas, el procedimiento Concordancia-Discordancia y el Sistema de Propiedades Multi-Atributo (MATS) (Gómez y Barrredo, 2005, p. 87).

Uno de los métodos más empleados en este tipo de evaluaciones por ser sencillo, intuitivo y fácil de implementar, es la Sumatoria Lineal Ponderada. La obtención del nivel de adecuación de cada alternativa se halla sumando el resultado de multiplicar el valor de cada criterio por su peso (Gómez y Barrredo, 2005, p. 87) y es el método utilizado para definir la capacidad de acogida en función de la aptitud y el impacto (Gómez y Barrredo, 2005, p. 125).

De otro lado, Voogd (1983) citado por Gómez y Barredo (2005, pp. 118, 119), plantea una serie de ventajas y desventajas asociadas a los métodos de EMC y su aplicación en planificación urbana y regional. En relación a las ventajas se destacan:

- Ofrece mayores posibilidades de conocer el problema en estudio: la clasificación final de alternativas permite reconsiderar el valor y/o significado de los criterios inicialmente fijados, asimismo, el problema queda acotado por una serie de factores y variables conocidos por el centro decisor.
- Permiten integrar de modo coherente y práctico un aspecto de suma importancia en la planificación actual, como son los distintos enfoques frente a un mismo problema, esto se refiere a los “puntos de vista” incluidos en la matriz de prioridades.
- Permiten tomar decisiones de un modo más coherente, basadas en el principio de la multidimensionalidad de criterios y puntos de vista.
- Proveen una justificación para las decisiones políticas, las cuales ocasionalmente son tomadas con un alto grado de arbitrariedad no cuantificable.

No obstante, los métodos de EMC cuentan con varios aspectos negativos o desventajas, como:

- Ciertos aspectos de los métodos de EMC pueden ser “técnicamente complejos”
- Uso indebido de los métodos, por la complejidad de algunos procesos.

1.5.3 Enfoques para EMO

Se cuenta con tres enfoques diferentes para la resolución de problemas de decisión (evaluaciones) con múltiples objetivos y múltiples criterios, a saber: extensión jerárquica, solución priorizada y solución compromiso; cuyo uso depende si se trata de objetivos complementarios o conflictivos (Gómez y Barredo, 2005, p. 63).

En el caso de objetivos complementarios, las decisiones a tomar a través de un método de EMC pueden ser resueltas a través de una **extensión jerárquica** del proceso. Esto se puede llevar a cabo asignando un peso a cada objetivo (o no), combinando posteriormente las capas correspondientes a cada objetivo (modelo) en una sola capa que represente el índice de simple composición. A partir de este índice se podrían seleccionar las alternativas que hayan obtenido el valor más alto, siendo éstas las que ofrecerían mayor disponibilidad considerando todos los objetivos propuestos.

Cuando se trabaja con objetivos conflictivos, es posible asignar un orden de importancia a los objetivos para poder alcanzar una **solución priorizada** (Rosenthal, 1985). En este caso, los objetivos con una mayor jerarquía serán satisfechos antes que los de menor.

En algunas ocasiones la asignación de un orden jerárquico a los objetivos no es posible, por tanto se plantea el desarrollo de una **solución compromiso** (Gómez y Barredo, p. 64).
A continuación se presentan cada uno de los enfoques:

Extensión jerárquica. En este tipo de evaluación las alternativas pueden satisfacer varios objetivos al mismo tiempo, de esta manera la extensión jerárquica produce una capa (modelo de decisión) en la cual las alternativas con los mayores valores ofrecen la mayor capacidad para los objetivos propuestos, es decir, los satisfacen simultáneamente.

Cuando se conoce la prioridad de los objetivos, es posible establecer una regla de decisión que permita asignar pesos a cada uno de los objetivos. Para ello son aplicables los mismos procedimientos que los usados para la asignación de pesos a los criterios, por ejemplo, el método de las Jerarquías Analíticas.

Los objetivos en este caso deben plantearse como un problema multicriterio separado (Eastman *et al.*, 1993), representándolos posteriormente en capas de capacidad individuales, "los cuales serán tratados como factores en el siguiente nivel de análisis" (Eastman *et al.*, 1993, p. 59). A continuación estos factores, junto con los pesos asignados inicialmente, participan en la regla de decisión final. Las mejores áreas indican el mayor grado de satisfacción para todos los objetivos planteados inicialmente (Gómez y Barredo, p. 65).

Solución priorizada. Se emplea cuando se tienen objetivos conflictivos y jerarquías conocidas.

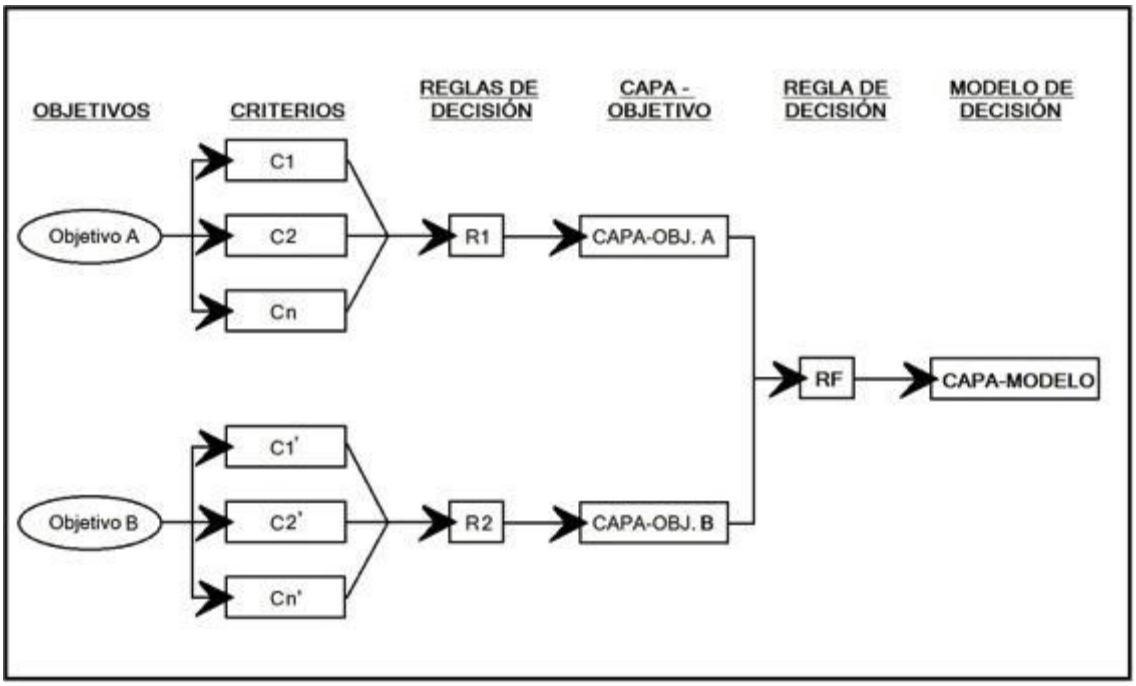
La solución priorizada, tal como lo establece Eastman *et al.* (1993), plantea generar una capa de capacidad para cada objetivo. Así mismo, debe establecerse a partir de la jerarquía de cada objetivo, un peso que indique el orden en que van a ser satisfechos sus requerimientos.

En este proceso, inicialmente se asigna al objetivo con mayor peso las áreas en orden de mejor a peor capacidad, hasta alcanzar la meta de superficie establecida para él. Luego,

dichas áreas son consideradas excluyentes para los demás objetivos, en los cuales se realizará el mismo proceso de selección de áreas, sobre las no elegidas por los objetivos precedentes. Este proceso se realiza para cada objetivo, obteniendo finalmente una capa (modelo de decisión) en la que se han asignado las áreas correspondientes a cada objetivo (Gómez y Barredo, p. 67).

Este procedimiento puede resultar en ocasiones algo drástico, ya que en el caso de objetivos con pesos cercanos o parecidos, el de mayor peso puede ocasionalmente seleccionar y ocupar áreas de capacidad media o baja, que podrían ser óptimas para el objetivo de menor peso.

Figura 1-2. Extensión jerárquica del proceso de evaluación multiobjetivo



Fuente: Gómez y Barredo (2005, p. 66)

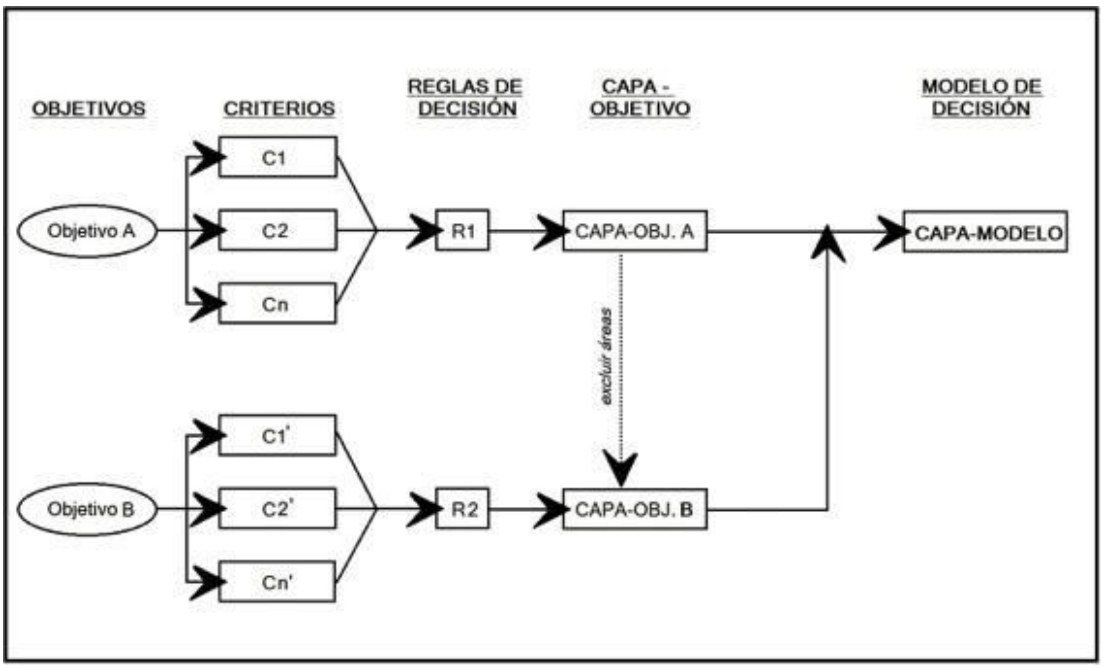
Solución compromiso. Permite evaluar objetivos conflictivos de jerarquías desconocidas o conocidas. Este tipo de evaluaciones son frecuentes en procesos de ordenamiento territorial, en los cuales una serie de objetivos se plantean inicialmente para ser desarrollados en una zona de estudio.

Entre los procedimientos utilizados para este tipo de evaluaciones, se encuentran: asignación de actividades multiobjetivo (MOLA en Eastman *et al.*, 1993) y el análisis de punto ideal.

El procedimiento de análisis de punto ideal basa su estructura aritmética en el cálculo de la distancia entre cada alternativa y el punto ideal definido para cada objetivo. Para realizar este procedimiento, los objetivos deben expresarse como capas de capacidad, asimismo, deben establecerse sus pesos en caso de ser conocidos, para posteriormente ser integrados en la regla de decisión, con lo cual se obtiene finalmente el modelo de decisión (Gómez y Barredo, p. 69).

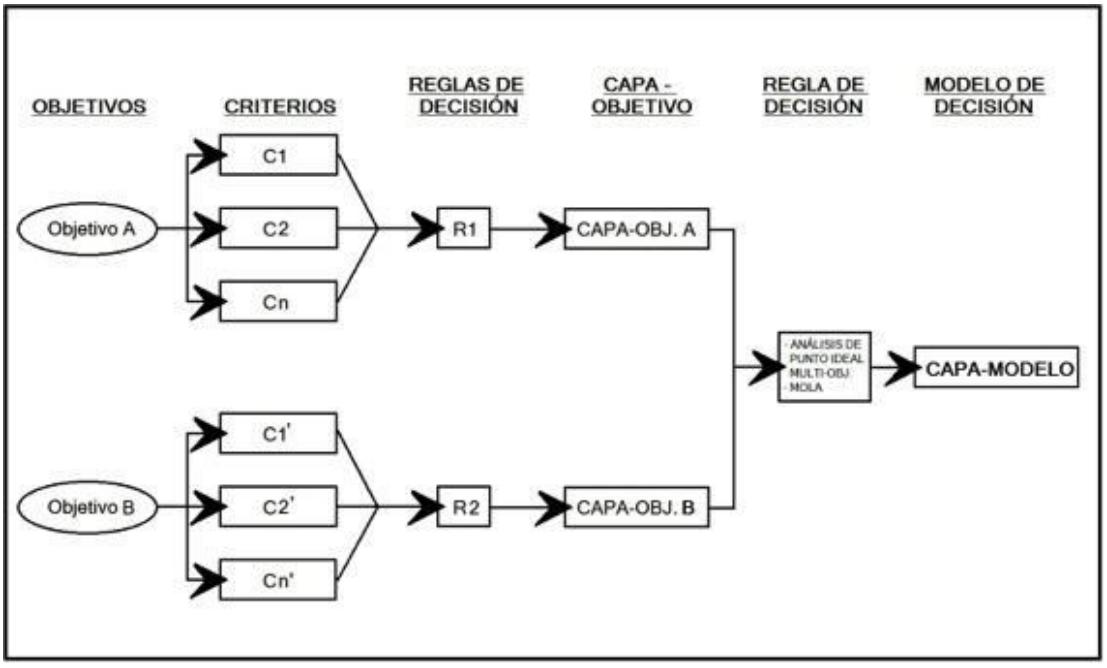
Con este procedimiento se evalúa la capacidad de todos los objetivos planteados en cada una de las alternativas de selección, disminuyendo la rigidez o el carácter drástico de la solución priorizada (Gómez y Barredo, p. 79).

Figura 1-3. Solución priorizada del proceso de evaluación multiobjetivo



Fuente: Gómez y Barredo (2005, p. 68)

Figura1-4. Solución compromiso del proceso de evaluación multiobjetivo



Fuente: Gómez y Barredo (2005, p. 79)

1.5.4 Manejo de la incertidumbre

En los procesos de toma de decisiones con múltiples objetivos hay entonces dos elementos de primera importancia a considerar: la imprecisión y la incertidumbre. En la jerga de la ciencia de la decisión, la imprecisión es la situación en la que la información no es cuantificable, o es incompleta o no puede obtenerse. La imprecisión en análisis de decisiones se maneja básicamente a través de teoría de la probabilidad o de la teoría de "conjuntos difusos". La incertidumbre proviene de la naturaleza probabilística o estocástica de las variables implicadas en la decisión (Smith et al, 2005, p.1-7).

Según Smith et al (2005, p. 2-4), "incertidumbre" es un término genérico para describir algo que no es conocido, porque ocurre en el futuro o tiene un impacto que es desconocido (Ku,1995). El término "incertidumbre" ha sido usado para referirse a algo desconocido que no se puede resolver determinísticamente o algo desconocido que solo se puede resolver a través del tiempo. Schweppe et al. (1989), definen la incertidumbre como cantidades o eventos que están más allá del conocimiento previo o del control del decisor. Paraskevopoulos et al. (1991), atribuyen los orígenes de la incertidumbre a errores en la especificación, estimación estadística de relaciones y suposición de variables exógenas. La incertidumbre surge debido a la información incompleta como puede ser contradicciones en fuentes de información, imprecisiones lingüísticas, ambigüedad o simplemente falta de información. Tal información incompleta también puede provenir de simplificaciones y aproximaciones que es necesario hacer para hacer los modelos manejables. La incertidumbre algunas veces se refiere a la aleatoriedad en la naturaleza o variabilidad en los datos.

Algunas opciones de manejo de incertidumbre son (Smith et al, 2005, p. 2-6):

- Métodos Multiobjetivo Estocásticos Explícitos. Métodos Probabilísticos
- Uso de Indicadores de riesgo e incertidumbre
- Métodos Multiobjetivo Estocásticos Implícitos. Simulación de Monte Carlo
- Análisis de sensibilidad
- Escenarios - Análisis de riesgos

Los tres últimos métodos no son realmente metodologías formales de considerar aspectos de riesgo e incertidumbre en procesos de toma de decisiones multiobjetivo. Estos métodos corresponden a procesos que tratan de aportar elementos para reducir la incertidumbre en la toma de decisiones. Por ejemplo, cuando se realiza un análisis de sensibilidad se trata de mirar en que rangos de variación de los parámetros la decisión no se ve afectada, dando de esta manera una idea sobre el nivel de incertidumbre alrededor de ciertos valores de esos parámetros (Smith et al, 2005, p. 2-7).

Un importante aspecto sobre el análisis de sensibilidad está relacionado sobre la justificación de la búsqueda de soluciones robustas. Uno de los elementos que justifican esa búsqueda está asociado con el desarrollo sostenible, donde se asume que los costos de las decisiones de hoy no deben heredarse a las generaciones futuras. (Smith et al, 2005, p. 8-1)

De acuerdo con Gómez Barredo (2005, p. 120), una vez finalizado el proceso de EMC es necesario validar el modelo y realizar un análisis de sensibilidad o estabilidad del mismo (Panell, 1997; Malczewski, 1999).

Unos análisis se basan en los datos y otros se refieren a los modelos (de decisión). Lo más habitual es realizar un análisis basado en los datos, con el que se pretende responder a preguntas como:

- Cambiará la ordenación si cambiamos los pesos?
- Como cambiaría la solución óptima si cambiamos los parámetros más importantes del modelo?
- Entre qué límites pueden variar los parámetros sin que se afecte la ordenación final?
- Se pueden obtener zonas de parámetros que dejen intacto el resultado final?

Los métodos más empleados se han centrado, tradicionalmente, en la simulación de diferentes escenarios en los que se introduce algún tipo de variación con el objetivo de observar cómo se modifican los resultados. Estas variaciones suelen realizarse sobre los pesos otorgados a los factores, mediante la utilización de distintos métodos de EMC o, en el caso de los métodos basados en la distancia al punto ideal, aplicando distintos tipos de métricas.

1.6 Utilización de Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio para determinar la capacidad de acogida del territorio

Uno de los problemas de usar la EMC para la ciencia geográfica son las numerosas alternativas existentes en la resolución de un problema de planificación ambiental, por ello, el uso de una segunda herramienta puede resultar clave: los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estos posibilitan el trabajo con múltiples factores en formato de capas de información temática o sectorial, y resultan muy útiles para ordenar los datos de forma georreferenciada y evaluar los resultados alcanzados eficazmente (Santos, 1997, p. 130 citado por Luque, 2003, p. 146).

Los SIG pueden ser utilizados para la entrada, transformación, almacenamiento y manipulación de los datos digitales espaciales relevantes para el problema planteado (Carver, 1991). Con dichas funciones se puede obtener un conjunto reducido de alternativas disponibles para cierta actividad así como su localización; sin embargo, dichos datos espaciales deben ser evaluados a la luz de procedimientos de EMC para poder establecer órdenes de preferencias, conjuntos compromiso, jerarquías de capacidad, etc. De allí, que la integración de los SIG y la EMC permite contar con una herramienta sumamente poderosa para estudios de localización-asignación de recursos o actividades, o bien de capacidad de acogida del territorio (Gómez y Barredo, 2005, p. 59).

Por tanto, la integración de las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) y Evaluación Multiobjetivo (EMO) con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y programas de procesamiento de imágenes, todos ellos incluidos en el concepto amplio de Geomática, constituyen una poderosa herramienta para determinar la aptitud del territorio para ciertas actividades y usos/coberturas del suelo que requieren condiciones específicas para su expansión o consolidación en el paisaje y con ello generar lineamientos para un ordenamiento territorial efectivo (Henriquez y Quense, 2009, p. 1).

1.6.1 Componentes de la EMC en el entorno de los SIG

El análisis o evaluación multicriterio se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en procesos de decisión (Barredo, 1996). La evaluación multicriterio se basa en que la actividad objeto de estudio va a venir definida por una serie de factores o variables. Dichos factores van a influir de manera positiva (Aptitud) o negativa (Impacto) sobre la actividad objeto de decisión y deben ser inventariados y clasificados previamente. (García, Cadenas y Simón, s.f., p.2)

Por tanto, la EMC en relación con los SIG, se basa en que cada factor venga representado por una capa de información cartográfica georreferenciada, en la cual todos los puntos del territorio toman un valor con respecto a la actividad objeto de decisión. Todas las capas de información geográfica a integrar deben ser transformadas y normalizadas para que todas fluctúen dentro de un mismo rango de valores (Bosque et al., 1994; Romero, 1996 citados por García, Cadenas y Simón, s.f., p.2)

Los métodos EMC siguen un modelo racional de toma de decisiones, que se puede estructurar en las siguientes grandes fases (ver figura 5) (Gómez y Barredo, 2005, p. 60):

- Definición del problema. Se formula un problema de decisión con base en la diferencia entre un estado actual y un estado deseado.
- Búsqueda de alternativas y selección de criterios. Se plantean las posibles alternativas o potenciales soluciones al problema y se establecen los criterios mediante los cuales se evaluarán dichas alternativas.
- Evaluación de las alternativas. Se calcula el nivel de adecuación e impacto de cada alternativa en función de los criterios establecidos.
- Selección de alternativas. Se ordenan las alternativas de la más "deseable" a la menos "deseable" y se realiza la selección final.
- Análisis de sensibilidad. Puesto que el proceso se basa en unas asignaciones subjetivas, se deben realizar modificaciones sobre los componentes del modelo para comprobar la estabilidad del proceso y la medida en que estas modificaciones alteran el resultado final.

La EMC puede entenderse como la productora de los insumos en forma de modelos (capas) para la EMO.

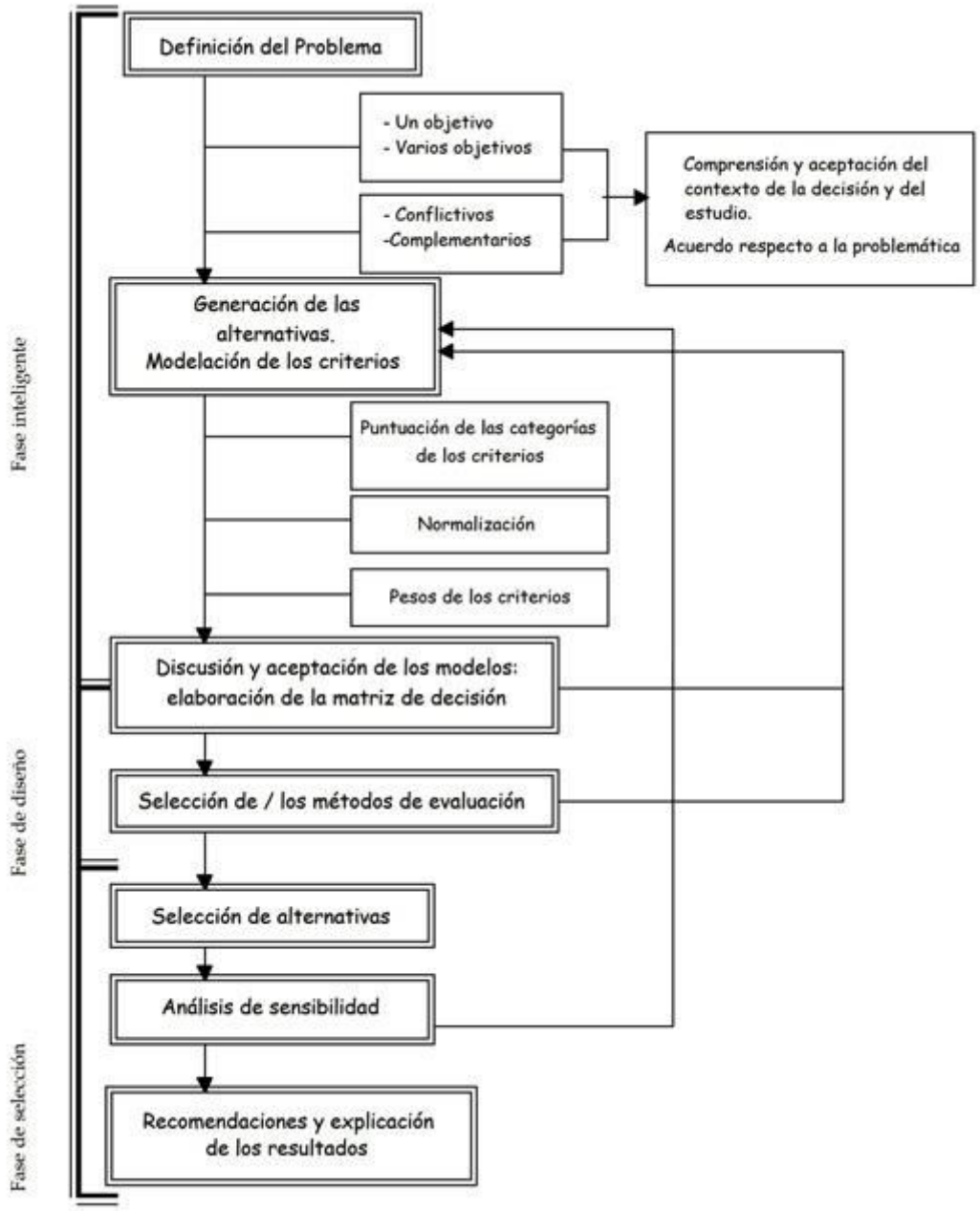
a) Objetivos y alternativas: En la EMC un objetivo se puede entender como una función a desarrollar e indica la estructuración de la regla de decisión o el tipo de regla de decisión a utilizar.

Los objetivos son un aspecto básico para el desarrollo de un proyecto de EMC; pueden ser múltiples, con lo cual se plantea una evaluación multiobjetivo. En evaluaciones de este tipo los objetivos pueden ser complementarios o conflictivos.

Estos objetivos y decisiones se plantean sobre una serie de alternativas. Desde el punto de vista de la planificación territorial, se trataría de cada una de las partes del territorio susceptibles de ser evaluadas y sobre las que se realizará la selección final. Cada alternativa está caracterizada o definida por los distintos criterios o factores que intervienen en la evaluación (ver figura 6).

En el entorno de los SIG, las alternativas están representadas por objetos o unidades espaciales, por tanto, la capa temática de objetos espaciales se constituyen en el conjunto global de alternativas de selección (Gómez y Barredo, 2005, p. 48).

Figura 1-5. Fases de un proceso de EMC en un entorno SIG



Fuente: Gómez y Barredo (2005, p. 61)

b) Criterios: factores y limitantes*:* El criterio es el punto de referencia para una decisión; por tanto, es muy importante la puntuación de los criterios o valoración de las alternativas.

Los criterios pueden ser de dos tipos: factores y limitantes. "Un factor es un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración, éste por lo tanto debe ser medido en una escala continua" (Eastman *et al.*, 1993: p.2).

El criterio de tipo limitante restringe la disponibilidad de algunas alternativas en función de la actividad evaluada, con este tipo de criterio se excluyen varias categorías de la capa analizada para la evaluación, es decir, se genera una capa binaria (es decir, una en la que sólo se representan dos valores temáticos para los datos espaciales, por lo general 1 y 0), en la cual un código representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad, y otro la no disponibilidad para la actividad.

Los limitantes representan las unidades territoriales donde el uso evaluado está totalmente restringido.

A partir de un criterio específico y de una capa que represente la variable relacionada con dicho criterio, se puede generar a través de su evaluación, la capa que represente la capacidad en cuanto a ese criterio para cada uno de los datos espaciales de la capa original.

Una vez que las capas temáticas correspondientes a los criterios han sido generadas, pueden ser combinadas a través de las reglas de decisión para lograr la evaluación (Gómez y Barredo, 2005, pp. 49, 50).

c) La regla de decisión: funciones de selección y selecciones heurísticas

La regla de decisión es el procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular.

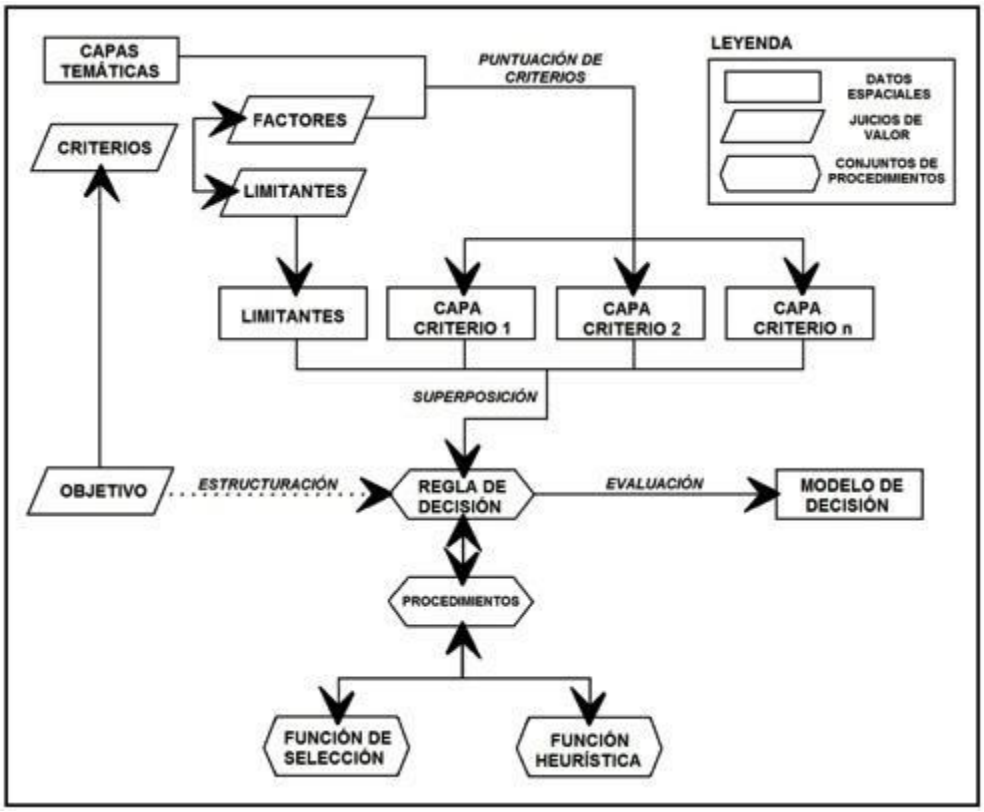
Es alimentada con los criterios y se estructura a partir de los objetivos. "La naturaleza de un objetivo y como éste es visualizado por el centro decisor sirve como guía fundamental en el desarrollo de una regla de decisión específica" (Eastman *et al.*, 1993: p.4).

La regla de decisión puede realizar dos procedimientos: la función de selección y la selección heurística.

En la función de selección se intentan clasificar las alternativas, en función de una característica medible; mientras que la selección heurística, persigue obtener una selección de solo algunas alternativas del conjunto global de éstas.

El conjunto de procedimientos de EMC aplicables en un entorno SIG, basan su funcionamiento aritmético en la regla de decisión. Este aspecto suele ser disímil en cada uno de los procedimientos, sin embargo, los demás componentes de la EMC suelen estructurarse de manera similar (Gómez y Barredo, 2005, pp. 50, 52).

Figura 1-6. Sistema de integración entre SIG y EMC



Fuente: Gómez y Barredo (2005, p. 48)

d) La evaluación

Una vez que la regla de decisión ha sido estructurada, el proceso de aplicarla sobre las capa-criterio es llamado evaluación, y será el que producirá finalmente el modelo de decisión (Gómez y Barredo, 2005, p. 52).

e) Organización de la EMC: las matrices

La EMC basa su funcionamiento en la evaluación de una serie de alternativas sobre la base de una serie de criterios. Un método de EMC "puede servir para inventariar, clasificar, analizar y ordenar convenientemente" (Eastman *et al.*, 1993) una serie de alternativas, a partir de los criterios que hayamos considerado pertinentes en una evaluación.

La mejor organización para representar la relación de criterios y alternativas, es una matriz, conocida como **matriz de evaluación**.

Los valores internos de esta matriz son llamados puntuaciones de criterios (x_{ij}), que representan el valor o nivel de adecuación que ha obtenido cada alternativa en función de cada criterio.

La "puntuación de criterios" o asignación de valores a un criterio, se establece a través de clases temáticas existentes en cada criterio.

Una vez establecida la matriz de evaluación, se establece un orden de capacidad para las alternativas, evaluando cuantitativamente los valores de las alternativas en cada criterio, utilizando alguno de los métodos de EMC disponibles.

Una vez constituida la matriz de evaluación, es necesario considerar la importancia relativa de cada criterio. Por tanto, se requiere asignar un valor específico a cada criterio de acuerdo con su nivel de importancia relativa. Este valor recibe el nombre de "peso o ponderación" (w_j) cuando se expresa cuantitativamente y jerarquía cuando se realiza de modo cualitativo u ordinal (Voogd, 1983).

Una vez establecidos los pesos a los criterios, se incluyen en una nueva matriz, conocida como **matriz de prioridades.**

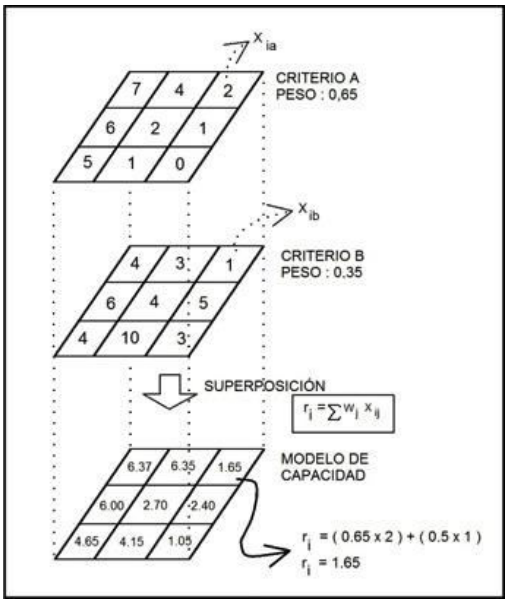
Especialmente en el campo de la planificación territorial, sería recomendable y conveniente tener en cuenta los distintos puntos de vista de un grupo interdisciplinar para otorgar el peso adecuado a cada criterio (Erkut y Moran, 1991; Massam, 1991; Ballard y Kuhn, 1996)

Una vez establecidas las matrices de evaluación y de prioridades, es posible la asignación de valores a cada alternativa a la luz de los criterios de cada punto de vista, obteniendo así la **matriz de valoración**.

Los valores asignados a las alternativas en la matriz de valoración, son una función de: el número y naturaleza de los criterios, las prioridades empleadas y las técnicas aritméticas aplicadas (Voogd, 1983) (Gómez y Barredo, 2005, pp. 52, 56).

El proceso comentado se puede entender de modo gráfico en la figura 7.

Figura 1-7. Ejemplo de modelado espacial



Fuente: Gómez y Barredo (2005, p. 58)

1.6.2 Análisis de sensibilidad

Según Orán, Delgado y Bosque (2010), el mundo científico siempre ha mostrado la necesidad de llevar a cabo procesos de validación de los modelos desarrollados, no tanto con el objetivo de evaluar la investigación en sí, sino de proporcionar credibilidad a los resultados de los mismos en la comunidad de usuarios. Esta práctica se hace hoy más necesaria si se tiene en cuenta que, con los avances informáticos de los últimos tiempos, la carga computacional necesaria para ejecutarlos es menor, con lo que se tiende a elaborar modelos cada vez más sofisticados.

Por tanto, como indica E.J. Rykiel (1996), citado por Orán, Delgado y Bosque (2010), estos procesos de validación han de ser necesariamente distintos dependiendo del tipo de modelos. En el caso de modelos de simulación generados para la gestión práctica de necesidades industriales o de ingeniería, por ejemplo, es necesario certificar su capacidad operacional y, por tanto, es necesario aplicar procesos que verifiquen su capacidad de predicción. Sin embargo, en el ámbito de la ecología y de gran parte de las ciencias sociales, se desarrollan modelos de simulación con el objetivo de comprender un fenómeno determinado o corroborar ciertos aspectos teóricos.

Así, en este contexto es más apropiado juzgar si un modelo es útil para el propósito para el que se desarrolló y no la exactitud de su aplicabilidad.

Dentro del ámbito de aplicación de modelos espaciales en un entorno SIG, que utilizan la combinación de éstos con las técnicas de EMC para la resolución de problemas de ordenación del territorio, concretamente para la localización de nuevas actividades/usos en aquellos lugares que mayor vocación presenten para albergarlos, estos modelos espaciales, al igual que otros modelos (matemáticos, físicos,…), no están exentos de una cierta falta de confianza en los resultados si no se utilizan procedimientos adecuados para garantizar la robustez de los mismos, más cuando estas técnicas suelen ser criticadas por una inherente e inevitable carga de subjetividad en los planteamientos de las reglas de decisión (Lamelas Gracia, 2009 citado por Orán, Delgado y Bosque, 2010).

Según Qureshi et al. (1999), citado por Orán, Delgado y Bosque (2010), el proceso de validación de cualquier modelo debería estar formado por tres componentes:

a) Verificación de si el modelo está correctamente construido (desde el punto de vista formal).
b) Validación de si la estructura del modelo representa adecuadamente el sistema modelado (si se ha construido el modelo correcto desde un punto de vista conceptual y operacional).
c) Aplicación de un análisis de sensibilidad que permita comprobar la robustez y estabilidad del modelo, examinando la variación que se produce en los resultados cuando se realizan variaciones sistemáticas en un rango de interés sobre uno o varios parámetros de entrada.

Una de las propuestas más comunes para determinar la estabilidad de modelos basados en EMC ha sido tradicionalmente un Análisis de Sensibilidad (AS) basado en la modificación de los pesos otorgados a los factores que intervienen en la EMC, que permitiera determinar el impacto que en los resultados pudieran producir esas variaciones (Gómez Delgado y Bosque Sendra, 2004 citado por Orán, Delgado y Bosque, 2010).

Sin embargo, las características intrínsecas de un modelo basado en EMC, la gran cantidad y diversidad de variables que pueden ser tenidas en cuenta y las diferentes formas de modelar, puntuar y tratar muchas de ellas, hace necesario ensayar y proponer análisis complementarios que den algo más de información sobre la fiabilidad y estabilidad de los resultados del modelo.

Así, se identifican hasta cinco niveles diferentes de AS del modelo:

- Análisis de la incidencia de la variación de los pesos otorgados a los distintos factores
- Análisis de la incidencia de la utilización de un método u otro de EMC
- Análisis de la incidencia de la modelación de los factores
- Análisis de la incidencia de las posibles correlaciones entre variables
- Análisis de la incidencia de las restricciones consideradas

Los dos primeros procedimientos son los que habitualmente se han venido tratando en la literatura especializada y que más frecuentemente se suelen aplicar en modelos de este tipo.

El análisis de la incidencia de la modelación de los factores, es un procedimiento que ha venido tratándose en varios trabajos, entre ellos, en el de Orán, Delgado y Bosque (2010). En este caso, se varía la forma en la que ha sido tratada la variable para representar el factor a incorporar en la EMC.

Una vez obtenidos los nuevos factores, se ejecuta nuevamente el modelo para analizar la sensibilidad del mismo ante estas variaciones. Este proceso se puede realizar mediante el método "*One-at-a-time*" (uno cada vez). Es decir, en cada ejecución del modelo se introduce sólo uno de los factores modificados en lugar del original, obteniendo, a partir de los mapas de partida, mapas intermedios y de resultado.

Para esto, se utilizan las herramientas disponibles en cualquier SIG raster, de tal forma que el procedimiento no resulte difícil ni tedioso de aplicar y no requiera una excesiva carga computacional.

2. Modelo de capacidad de acogida

Como se describió en el capítulo anterior, la capacidad de acogida se define como el "grado de idoneidad" o la cabida del territorio para una actividad, teniendo en cuenta la medida en que el territorio cubre los requerimientos locacionales de la actividad (capacidad) y los efectos de ésta sobre el medio (impacto o vulnerabilidad). Por tanto, es un indicador del mejor uso que puede hacerse del territorio (Antequera, 2008).

Por tanto, en este capítulo se presentará la propuesta metodológica para aplicar el modelo de capacidad de acogida para evaluar usos potenciales en entornos de embalses, haciendo uso de herramientas como la Evaluación Multicriterio (EMC), Evaluación Multiobjetivo (EMO) y Sistemas de Información Geográfica.

Según lo indicado por Universidad Nacional (s.f.), un SIG es un conjunto de procedimientos usados para almacenar y manipular datos geográficamente referenciados, es decir objetos con una ubicación definida sobre la superficie terrestre bajo un sistema convencional de coordenadas. Para el desarrollo de un SIG se ejecutan tres procesos:

Modelo conceptual: Es la conceptualización de la realidad por medio de la definición de objetos de la superficie de la tierra (entidades) con sus relaciones espaciales y características (atributos) que se representan en un esquema describiendo esos fenómenos del mundo real. Para obtener el modelo conceptual, el primer paso es el análisis de la información; el siguiente paso es la determinación de las entidades y los atributos con las relaciones que aquellas guardan.

Modelo lógico: Se puede definir como el diseño detallado de las bases de datos que contendrán la información alfa – numérica y los niveles de información gráfica que se capturarán, con los atributos que describen cada entidad, identificadores, conectores, tipo de dato (numérico o carácter) y su longitud; además, se define la geometría (punto, línea o área) de cada una de ellas. Es en esta etapa que se elaboran las estructuras en que se almacenarán todos los datos, tomando como base el modelo conceptual desarrollado anteriormente. Se trata de hacer una descripción detallada de las entidades, los procesos y análisis que se llevarán a cabo, los productos que se espera obtener y la preparación de los menús de consulta para los usuarios.

Modelo cartográfico: Es la aplicación del modelo lógico para obtener las coberturas o capas y su integración para la creación de mapas.

En atención a este procedimiento, en este capítulo se describen los modelos conceptual y lógico para el diseño del modelo de capacidad de acogida para el logro del propósito de este trabajo. El modelo cartográfico será presentado en el capítulo 3.

2.1 Modelo conceptual

2.1.1 Definición del problema

El modelo de capacidad de acogida que se aplicará en este trabajo se realizará empleando evaluación multiobjetivo y multicriterio con integración de sistemas de información geográfica.

El problema a tratar con este trabajo es la definición de una metodología que permita analizar la viabilidad de diversos usos potenciales en los embalses y sus zonas de protección; por tanto, se aplicará el modelo para cada uno de los usos a evaluar empleando la evaluación multicriterio y posteriormente se hará un análisis integral haciendo uso de la evaluación multiobjetivo.

2.1.2 Usos a evaluar

Según lo comentado en el capítulo 1, se pueden considerar cuatro categorías de los usos potenciales a desarrollar en los embalses y sus zonas de protección, a saber: recreación, turismo, pesca y navegación. Se identificaron 11 usos, considerados como los de mayor demanda social, agrupados en estas 4 categorías. La categoría de turismo agrupa los usos a evaluar en las áreas de protección y las demás categorías contemplan usos que se realizan en los embalses.

Los 11 usos propuestos se seleccionaron considerando los usos actuales en los embalses y sus zonas de protección en el país y a nivel internacional; así como solicitudes previas que han presentado a EPM las administraciones municipales, comunidades y organizaciones.

En la tabla 2-1 se describe cada una de las categorías y los usos considerados en ellas.

Tabla 2-1. Usos para evaluar

Categoría	Uso / Actividad	Descripción
Turismo	Senderismo	Es un deporte de aventura y resistencia física. Consiste en disfrutar de la naturaleza y del aire libre en caminatas a través de una ruta pre-establecida por un día o más
	Camping	Actividad en el medio natural, generalmente al aire libre, que implica pernoctar una o más veces en una carpa, con el fin de disfrutar de la naturaleza o como parte de un recorrido o excursión

Categoría	Uso / Actividad	Descripción
	Cabalgatas/ Ciclomontañismo	Actividades del turismo de aventura que permite recorridos en circuitos naturales generalmente a través de bosques, haciendo uso de bicicletas (ciclomontañismo) o caballos (cabalgatas)
Recreación	Navegación	Es en la que se emplean embarcaciones como kayaks, jet sky, bicicletas acuáticas, con fines recreativos
	Pesca	Es la que se realiza con vara, como actividad de ocio y disfrute y por personas que no poseen técnica para el ejercicio de la actividad
	Natación	Acción de nadar o sumergirse en un cuerpo de agua
Pesca	Artesanal	Es la que se realiza con fines comerciales o de subsistencia
	Deportiva	Es la que se realiza con fines competitivos o por personas que habitualmente realizan la actividad, usando para ello equipos especializados
	Acuicultura	Es la que se realiza en jaulas flotantes
Navegación	Comercial	Es la que se realiza con embarcaciones que hacen parte de empresas de transporte público fluvial
	Deportiva	Es en la que se emplean embarcaciones con fines competitivos o para la práctica de deportes náuticos (vela, canotaje, etc)

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Evaluación Multicriterio (EMC)

a) Objetivos. El objetivo de la EMC es determinar la capacidad de acogida del territorio para cada uno de los 11 usos potenciales identificados, a fin de encontrar el escenario probable de uso, de acuerdo a las restricciones ambientales y operativas de los embalses y sus zonas de protección.

b) Criterios (factores y limitantes). Una de las principales limitaciones en la aplicación de metodologías que involucran el uso de información geográfica, es la carencia de información. Por ello, se definen los criterios, a partir de la información que por lo general está disponible para un proyecto hidroeléctrico.

Inicialmente se identifican los **limitantes**, que son variables que definen dónde no se puede hacer ningún uso. Estas áreas deben extraerse de la zona de estudio, ya que no se contemplan en los análisis a realizar. Los limitantes propuestos se describen en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Limitantes

Limitantes	Justificación
Bosque primario intervenido y bosque secundario	No se permiten intervenciones en estas coberturas, por su sensibilidad ambiental y la provisión de los servicios ecosistémicos que prestan, especialmente por tratarse de hábitats de especies de fauna y flora con alto valor ecológico
Áreas protegidas	Por su carácter de protección, no se permiten intervenciones. Estas áreas son aquellas declaradas por las autoridades ambientales o administraciones municipales
Zonas operativas	Se refiere a la infraestructura necesaria para la generación de energía o zonas de trabajo al interior del embalse, como áreas de extracción de residuos sólidos flotantes, áreas donde proliferan plantas acuáticas invasoras, sitios de monitoreo, entre otros
Patrimonio arqueológico	Son considerados puntos de interés cultural
Parcelas de monitoreo	Están asociadas a monitoreos de carácter legal para el cumplimiento de los Planes de Manejo Ambiental o Licencia Ambiental
Tenedores irregulares	Se refiere a los predios que tienen algún tipo de perturbación (invasión de tierras, invasión con semovientes, minería ilegal, entre otros) y que presentarían por tanto limitaciones legales para su usufructo

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se seleccionan las **variables**, a partir de las cuales se definirán los criterios de capacidad y de impacto. En la tabla 2-3 se presentan las variables que por lo general se tienen en la información disponible de un proyecto hidroeléctrico.

Tabla 2-3. Selección de variables

Variable	Fuente de información	Motivo de selección
Coberturas vegetales	Monitoreos de fauna y flora, monitoreos de paisaje	Define la vulnerabilidad para acoger los usos propuestos en zonas de protección
Calidad del agua	Estudios limnológicos	Limita o restringe el uso del agua para diferentes fines,

Variable	Fuente de información	Motivo de selección
		especialmente usos con contacto directo
Profundidad del embalse	Batimetrías	Indica la viabilidad de realizar algunos usos que dependen de esta variable
Hidrografía	Cartografía básica	Favorece la realización de algunos usos y restringe otros por la probabilidad de contaminación de las fuentes de agua
Pendiente	Cartografía básica	Incide en la posibilidad de realizar algunos usos en las zonas de protección
Centros poblados, vías, equipamientos	Cartografía básica	Son variables que contribuyen a la viabilidad socioeconómica de algunos usos
Potencial erosivo	Estudios específicos o aplicando la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo. En el caso de la jurisdicción de Corantioquia, se tiene estudio realizado por la Corporación	Indica el grado de susceptibilidad del suelo o del embalse a la erosión

Fuente: Elaboración propia

A partir de estas variables se determinan los **criterios de capacidad y de impacto**, descritos en las tablas 2-4 y 2-5.

Tabla 2-4. Definición de criterios de capacidad

Criterio	Descripción
Calidad del agua del embalse	En los monitoreos de calidad del agua son diversos los parámetros evaluados y de ellos uno de los más importantes es el oxígeno disuelto, por su incidencia en el desarrollo de la vida y de muchos procesos que ocurren en el medio acuático (Fundación Cemex España, 2007). Una manera de expresarlo es con el porcentaje de saturación de oxígeno, el cual se refiere a la cantidad de oxígeno del agua en relación a la cantidad máxima de oxígeno que puede tener a la misma temperatura y presión. Si la saturación es inferior al 40% la fuente de agua está en malas condiciones y si los niveles de saturación se encuentran por encima del 110%, es decir, sobresaturación, pueden reflejar que la masa de agua experimenta un crecimiento desorbitado de algas, fenómeno que se conoce como eutrofización (Asociación de Ciencias Ambientales, 2012)
Profundidad del embalse	Es la altura del agua en el embalse y se calcula restando a los valores del modelo de elevación digital del terreno (MDT o DEM), los valores de los puntos obtenidos con las batimetrías

Criterio	Descripción
Acceso a cuerpos de agua	Corresponde a la distancia entre un sitio dado en el territorio y las fuentes de agua presentes
Pendiente	Indica el grado de inclinación del terreno, expresado en %. Por ejemplo, la pendiente máxima posible es del 100% que corresponde a 45º
Cercanía de centros poblados	Corresponde a la distancia entre un sitio dado en el territorio y los centros poblados
Acceso a vías	Corresponde a la distancia entre un sitio dado en el territorio y las vías primarias, secundarias y terciarias
Acceso a equipamientos	Corresponde a la distancia entre un sitio dado en el territorio y equipamientos, como hospitales, escuelas, entre otros

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-5. Definición de criterios de impacto

Criterio	Descripción
Grado de alteración de coberturas vegetales	Corresponde al impacto que puede generarse en cada una de las coberturas vegetales presentes en el territorio
Riesgo de afectación de procesos erosivos	Depende del potencial erosivo en el suelo y en el embalse, el cual se clasifica en alto, medio y bajo
Desmejoramiento de la calidad del agua del embalse	Este impacto depende de la distancia de las intervenciones al embalse
Riesgo de afectación a los cuerpos de agua	Este impacto depende de la distancia de las intervenciones a los cuerpos de agua

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se identifican los criterios de capacidad y de impacto que aplican a cada uso a evaluar (ver resaltados en las tablas 2-6 y 2-7) y en las tablas 2-8 a 2-11 se presentan las razones por las cuales aplican los criterios para cada uso.

Tabla 2-6. Criterios de capacidad

Criterio	Uso										
	Turismo			Recreación			Pesca			Navegación	
	Senderismo	Camping	Cabalg/ ciclom	Nav.	Pesca	Natación	Artesanal	Dep.	Acuic.	Com.	Dep.
Calidad del agua del embalse											
Profundidad media del agua en el embalse											
Acceso a cuerpos de agua aledaños al embalse											
Pendiente del terreno											
Cercanía de centros poblados											
Acceso a vías											
Acceso a equipamientos											
TOTAL											

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-7. Criterios de impacto

Criterio	Uso										
	Turismo			Recreación			Pesca			Navegación	
	Senderismo	Camping	Cabalg/ ciclom	Nav.	Pesca	Natación	Artesanal	Dep.	Acuic.	Com.	Dep.
Grado de alteración de coberturas vegetales											
Riesgo de afectación de procesos erosivos en zonas de protección u orillas del embalse											
Desmejoramiento de la calidad del agua del embalse											
Riesgo de afectación a los cuerpos de agua aledaños al embalse											
TOTAL											

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-8. Justificación de los criterios que aplican para usos de la categoría de turismo

Criterio	Tipo	Turismo		
		Senderismo	**Camping**	**Cabalgatas/ ciclomontañismo**
Acceso a cuerpos de agua	Capacidad		Disponibilidad de agua para consumo	
Pendiente del terreno	Capacidad	Definición de rutas	Definición de sitios	Definición de rutas
Cercanía de centros poblados	Capacidad	Definición de rutas y productos turísticos asociados	Posibilidad de desarrollar productos turísticos asociados	Definición de rutas y productos turísticos asociados
Acceso a vías	Capacidad			
Acceso a equipamientos	Capacidad			
Grado de alteración de coberturas vegetales	Impacto	Por habilitación de senderos y miradores	* Por habilitación de zonas y accesos * Riesgo de conatos de incendio por fogatas	Por construcción de infraestructura asociada (establos, equipamientos para turistas)
Riesgo de afectación de procesos erosivos	Impacto			Por tránsito de semovientes o bicicletas
Desmejoramiento de la calidad del agua del embalse	Impacto		Por manejo inadecuado de residuos sólidos y líquidos	
Riesgo de afectación a los cuerpos de agua aledaños al embalse	Impacto		Por manejo inadecuado de residuos sólidos y líquidos	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-9. Justificación de los criterios que aplican para usos de la categoría de recreación

Criterio	Tipo	Recreación		
		Navegación	Pesca	Natación
Calidad del agua del embalse	Capacidad	Restricciones al contacto directo con el agua	* Calidad del producto pesquero * Restricciones al contacto directo con el agua	Restricciones al contacto directo con el agua
Profundidad del embalse	Capacidad	* Define calado máximo de embarcaciones * Determina zonas restringidas por seguridad (banco de sedimentos, sitios muy profundos, sitios con poca profundidad)	Ubicación de sitios de pesca	Determina zonas restringidas por seguridad
Acceso a cuerpos de agua	Capacidad			Definición de sitios para natación
Cercanía de centros poblados	Capacidad	Posibilidad de desarrollar productos turísticos asociados	Posibilidad de desarrollar productos turísticos asociados	Posibilidad de desarrollar productos turísticos asociados
Acceso a vías	Capacidad			
Acceso a equipamientos	Capacidad			
Grado de alteración de coberturas vegetales	Impacto	Por construcción de infraestructura asociada (muelles, equipamientos)	Por construcción de infraestructura asociada (equipamientos para turistas)	

Criterio	Tipo	Recreación		
		Navegación	Pesca	Natación
Riesgo de afectación de procesos erosivos	Impacto	Por construcción de embarcaderos		
Desmejoramiento de la calidad del agua del embalse	Impacto	* Por vertimientos de combustibles si se emplean embarcaciones con motores fuera de borda de 2 T * Por mantenimiento de embarcaciones	Por manejo inadecuado de vísceras	* Por realización de actividades conexas (cocción de alimentos, manejo de excretas, pesca recreativa) * Por manejo inadecuado de residuos sólidos
Riesgo de afectación a los cuerpos de agua aledaños al embalse	Impacto		* Por realización de actividades conexas (cocción de alimentos, manejo de excretas) * Por manejo inadecuado de residuos sólidos	* Por realización de actividades conexas (cocción de alimentos, manejo de excretas, pesca recreativa) * Por manejo inadecuado de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-10. Justificación de los criterios que aplican para usos de la categoría de pesca

Criterio	Tipo	Pesca		
		Artesanal	Deportiva	Acuicultura
Calidad del agua del embalse	Capacidad	* Calidad del producto pesquero * Restricciones al contacto directo con el agua	* Calidad del producto pesquero * Restricciones al contacto directo con el agua	* Calidad del producto pesquero * Restricciones al contacto directo con el agua
Profundidad del embalse	Capacidad	* Definición de calado máximo de embarcaciones * Ubicación de sitios de pesca	Ubicación de sitios de pesca	Ubicación de jaulas flotantes
Cercanía de centros poblados	Capacidad	Posibilidad de comercialización	Posibilidad de desarrollar productos turísticos asociados	Posibilidad de comercialización
Acceso a vías	Capacidad			
Acceso a equipamientos	Capacidad			
Grado de alteración de coberturas vegetales	Impacto	Por construcción de infraestructura asociada (sitios para refrigeración y comercialización)	Por construcción de infraestructura asociada (equipamientos para turistas)	Por construcción de infraestructura asociada (sitios para refrigeración y comercialización)
Desmejoramiento de la calidad del agua del embalse	Impacto	* Por manejo inadecuado de vísceras * Por vertimientos de combustibles si se emplean embarcaciones con motores fuera de borda de 2 T	* Por manejo inadecuado de vísceras * Por vertimientos de combustibles si se emplean embarcaciones con motores fuera de borda de 2 T	Vertimientos asociados a explotaciones acuícolas (excretas, exceso de concentrado, mortandades)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-11. Justificación de los criterios que aplican para usos de la categoría de navegación

Criterio	Tipo	Navegación	
		Comercial	Deportiva
Calidad del agua del embalse	Capacidad		Restricciones al contacto directo con el agua
Profundidad del embalse	Capacidad	Definición de calado máximo de embarcaciones	Determina zonas restringidas por seguridad (banco de sedimentos, sitios muy profundos, sitios con poca profundidad)
Cercanía de centros poblados	Capacidad	Posibilidad de desarrollar productos turísticos asociados	Posibilidad de desarrollar productos turísticos asociados
Acceso a vías	Capacidad		
Acceso a equipamientos	Capacidad		
Grado de alteración de coberturas vegetales	Impacto	Por construcción de infraestructura asociada (muelles, equipamientos para turistas)	Por construcción de infraestructura asociada (muelles, equipamientos para turistas)
Riesgo de afectación de procesos erosivos	Impacto	* Por construcción de embarcaderos * Por oleaje generado por el calado de las embarcaciones	* Por construcción de embarcaderos * Por oleaje generado por velocidad de las embarcaciones
Desmejoramiento de la calidad del agua del embalse	Impacto	* Por vertimientos de combustibles si se emplean embarcaciones con motores fuera de borda de 2 T * Por mantenimiento de embarcaciones	* Por vertimientos de combustibles si se emplean embarcaciones con motores fuera de borda de 2 T * Por mantenimiento de embarcaciones

Fuente: Elaboración propia

c) Valoración de criterios. Los criterios de capacidad y de impacto y se califican como 1, 2 y 3 para indicar la capacidad o el impacto, bajo, medio y alto, respectivamente. En las tablas 2-12 y 2-13 se presentan los casos en los cuales los valores son 1, 2 y 3.

Tabla 2-12. Valoración criterios de capacidad

Capacidad	Valor	Caso	Explicación
Calidad del agua del embalse	1	% de saturación de oxígeno menor a 40 y mayor de 80	Si la saturación es inferior al 40%, la fuente de agua está en malas condiciones y si se encuentra por encima del 80%, puede reflejar eutrofización
	2	% de saturación de oxígeno entre 40-60	
	3	% de saturación de oxígeno entre 60-80	
Profundidad del embalse	1	Profundidad del embalse por debajo 3 metros	En zonas del embalse con profundidades menores a 5 m se pueden presentar altas probabilidades de quedar secas en niveles bajos de operación. Estos rangos pueden ajustarse si se conoce cómo fluctúa la profundidad entre la cota de vertimiento y la cota mínima de operación del embalse
	2	Profundidad del embalse entre 3-5 metros	
	3	Profundidad del embalse mayor a 5 metros	
Acceso a cuerpos de agua	1	Presencia de cuerpos de agua a más de 50 m	El artículo 83, literal d) del decreto-ley 2811 de 1974, establece como zona de retiro una faja paralela a la del cauce permanente de ríos y lagos hasta de treinta metros de ancho
	2	Presencia de cuerpos de agua entre 30 - 50 m	
	3	Presencia de cuerpos de agua a menos de 30 m	
Pendiente	1	Mayor de 60%	Se toman estos rangos considerando que 30% son 17º y 60% son 31º. La pendiente máxima es de 100% y 45º
	2	30% - 60%	
	3	0% - 30%	
Cercanía de centros	1	Más de 2000 m	Teniendo presente que por lo general los embalses y

Capacidad	Valor	Caso	Explicación
poblados	2	De 1000 m a 2000 m	sus zonas de protección se localizan en áreas rurales, se considera que distancias menores a 1 Km son adecuadas y mayores a 2 Km poco adecuadas
	3	Menos de 1000 m	
Acceso a vías	1	Más de 2000 m	
	2	De 1000 m a 2000 m	
	3	Menos de 1000 m	
Acceso a equipamientos	1	Más de 2000 m	
	2	De 1000 m a 2000 m	
	3	Menos de 1000 m	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-13. Valoración criterios de impacto

Impacto	Valor	Caso	Explicación
Grado de alteración de coberturas vegetales	1	Intervenciones en pastizal y cultivo	Los estadíos sucesionales más avanzados son más sensibles a las intervenciones. No se consideran bosques primarios intervenidos y secundarios, porque se definieron como limitantes
	2	Intervenciones en plantaciones forestales	
	3	Intervenciones en rastrojo bajo y alto	
Riesgo de afectación de procesos erosivos	1	Probabilidad baja de generación de procesos erosivos	Tiene una relación directa con la escala de medición del potencial erosivo empleada en el estudio tomado como referencia para esta variable
	2	Probabilidad media de generación de procesos erosivos	
	3	Probabilidad alta de generación de procesos erosivos	
Desmejoramiento de la calidad del agua del embalse	1	Intervenciones a más de 30 m del embalse	El artículo 83, literal d) del decreto-ley 2811 de 1974, establece como zona de retiro una faja paralela a la del cauce permanente de ríos y lagos hasta de
	2	Intervenciones entre 10-30 m del	

Impacto	Valor	Caso	Explicación
		embalse	treinta metros de ancho.
	3	Intervenciones a menos de 10 m del embalse	
Riesgo de afectación a los cuerpos de agua	1	Intervenciones a más de 30 m de cuerpos de agua	
	2	Intervenciones entre 10-30 m de cuerpos de agua	
	3	Intervenciones a menos de 10 m de cuerpos de agua	

Fuente: Elaboración propia

d) Ponderación de criterios (matriz de prioridades). Se estimó el peso de cada uno de los criterios mediante la realización de una encuesta a diversos expertos.

Se seleccionaron 18 expertos de diferentes disciplinas y con experiencia en las áreas de trabajo relacionadas con los usos evaluados. Se aplicaron 5 modelos de encuesta, clasificados como:

- Total: para evaluar los 11 usos
- Total sin turismo: para evaluar los 8 usos en embalses
- Turismo: para evaluar los 3 usos en zonas de protección
- Pesca: para evaluar los 4 usos asociados (pesca recreativa, artesanal, deportiva y acuicultura)
- Navegación: para evaluar los 3 usos asociados (navegación recreativa, comercial y deportiva)

La encuesta fue remitida por correo electrónico y así mismo fueron recibidas las respuestas. Finalmente, se obtuvieron el número de respuestas relacionadas en la tabla 2-14.

Tabla 2-14. Número de encuestas realizadas por uso

Categoria	Uso evaluado	Total expertos consultados	Total respuestas
Turismo	Senderismo	11	8
	Camping	11	8
	Cabalgatas / Ciclomontañismo	11	8
Recreación	Navegación	12	8
	Pesca	13	9
	Natación	10	6
Pesca	Artesanal	13	9
	Deportiva	13	9
	Acuicultura	13	9
Navegación	Comercial	12	8
	Deportiva	12	8

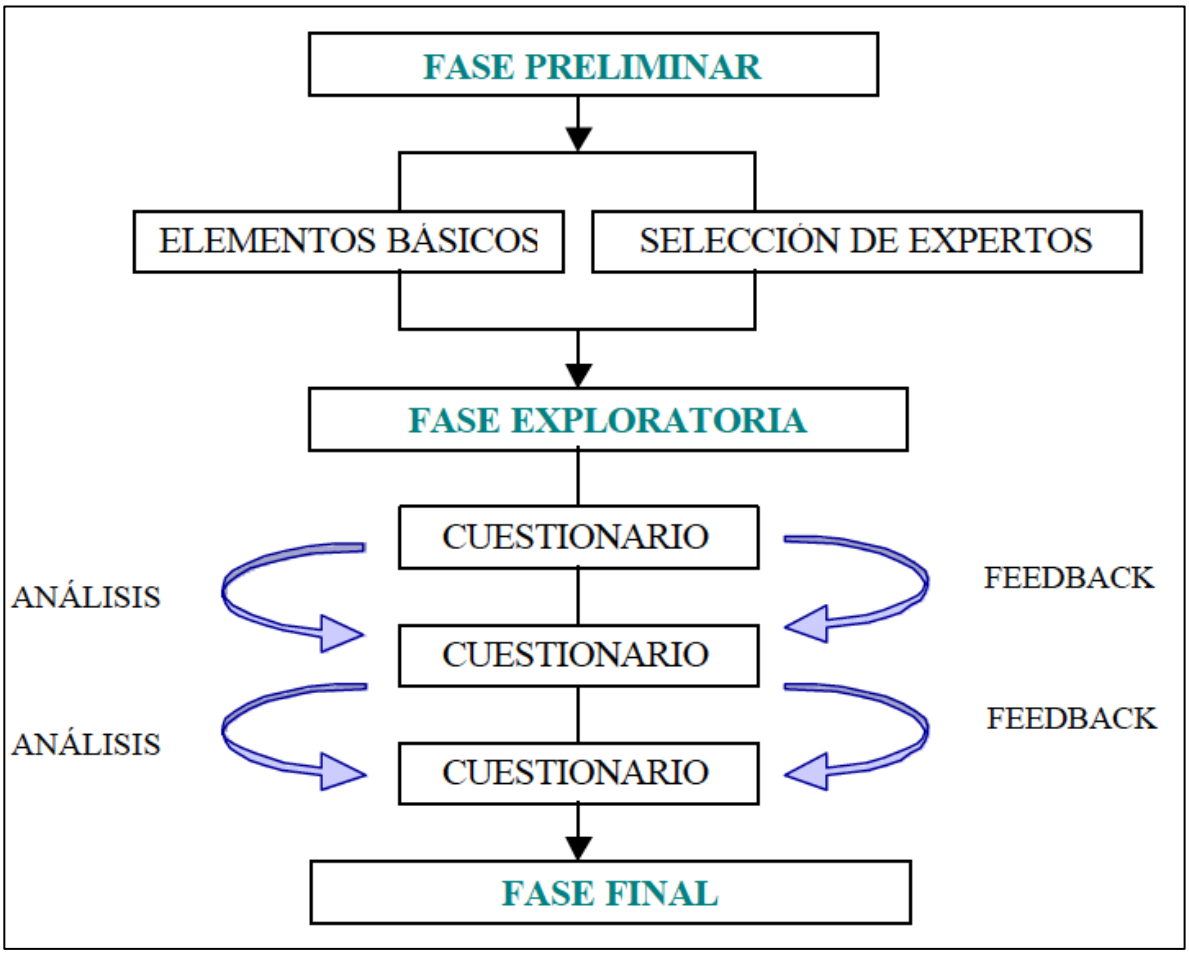
Fuente: Elaboración propia

Inicialmente trató de implementarse el método Delphi, el cual es una herramienta de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo. Una Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro.

Es decir, el método Delphi procede por medio de la interrogación a expertos con la ayuda de cuestionarios sucesivos, a fin de poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos. La encuesta se lleva a cabo de una manera anónima (actualmente es habitual realizarla haciendo uso del correo electrónico o mediante cuestionarios web

establecidos al efecto) para evitar los efectos de "líderes" (ver figura 2-1). El objetivo de los cuestionarios sucesivos, es "disminuir el espacio intercuartil precisando la mediana" (Universidad de Deusto, s.f., pp. 2,3)

Figura 2-1. Esquema de desarrollo del método Delphi



Fuente: Bravo y Arrieta, s.f., p. 2

Sin embargo, debido a las dificultades para obtener respuestas de todos los expertos consultados y la demora en algunos casos, se consideró trabajar con los resultados entregados.

Las encuestas se aplicaron con mediciones que variaban entre 0 y 1, pero luego fueron transformados en escala de 0 a 100, ya que en la aplicación ModelBuilder los valores a ingresar deben variar en esta escala.

Los resultados fueron analizados estadísticamente, calculando los valores de la media, mediana, moda, máximo, mínimo, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación,

cuartil 1 (Q1) y cuartil 3 (Q3). Se seleccionaron los valores de la mediana[4] o la media[5], de acuerdo al valor que reflejara la mejor distribución de los datos. En las tablas 2-15 y 2-16 se presentan los resultados de los pesos asignados por los expertos a los criterios de capacidad y de impacto, respectivamente.

Estos resultados fueron contrastados por los pesos asignados a mi juicio profesional, encontrando coincidencia total en los pesos asignados, si bien no en valores, si en proporción; es decir, se asignaron los pesos más altos a los mismos criterios de capacidad y de impacto en cada uno de los usos.

En el Anexo A se encuentra la base de datos de expertos consultados, la presentación de la encuesta, los modelos de encuesta aplicados, las fechas de envío y recibo de las encuestas y las observaciones realizadas por algunos de ellos.

e) Integración de criterios. Este procedimiento se realiza en un Sistema de Información Geográfica; por tanto, para cada uso a evaluar, se integran los criterios de capacidad y los criterios de impacto, separadamente, mediante la herramienta Model Builder en SIG, a fin de obtener las capas de capacidad e impacto.

f) Obtención de la capa de acogida. Las capas de capacidad e impacto se integran para obtener finalmente la capa de capacidad de acogida, generando como resultados las posibilidades de uso descritas en la Tabla 1-2.

[4] La mediana representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados

[5] La media es el promedio de un conjunto de valores

Tabla 2-15. Ponderación criterios de capacidad

Criterio	Uso										
	Turismo			Recreación			Pesca			Navegación	
	Senderismo	Camping	Cabalg/ ciclom	Nav.	Pesca	Natación	Artesanal	Dep.	Acuic.	Com.	Dep.
Calidad del agua del embalse				30	43	60	45	42	40		38
Profundidad media del agua en el embalse				20	17	10	20	18	20	40	21
Acceso a cuerpos de agua aledaños al embalse		31				8					
Pendiente del terreno	30	21	37								
Cercanía de centros poblados	20	15	18	10	15	7	15	12	10	20	16
Acceso a vías	25	14	20	20	15	8	10	17	20	20	15
Acceso a equipamientos	25	19	25	20	10	7	10	11	10	20	10
TOTAL	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-16. Ponderación criterios de impacto

Criterio	Uso										
	Turismo			Recreación			Pesca			Navegación	
	Senderismo	Camping	Cabalg/ ciclom	Nav.	Pesca	Natación	Artesanal	Dep.	Acuic.	Com.	Dep.
Grado de alteración de coberturas vegetales	100	60	50	13	22		50	40	20	12	11
Riesgo de afectación de procesos erosivos en zonas de protección u orillas del embalse			50	42						67	60
Desmejoramiento de la calidad del agua del embalse		20		45	51	45	50	60	80	21	29
Riesgo de afectación a los cuerpos de agua aledaños al embalse		20			27	55					
TOTAL	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Evaluación Multiobjetivo (EMO)

La EMO tiene como propósito encontrar el mejor uso en las zonas de protección y en el embalse. De esta manera se hace un análisis integral de los 11 usos, pues la EMC se aplica para cada uso de manera independiente.

Por tanto, se definieron 3 objetivos para la optimización del uso del territorio, mediante la integración de las capas de capacidad de acogida resultantes de la EMC aplicada para cada uso.

Un objetivo está asociado a los usos en las áreas de protección, y se define como "localizar zonas aptas para el desarrollo de **actividades turísticas y recreativas** de bajo impacto, que contribuyan al mejoramiento de la oferta turística de los municipios asentados en la zona de influencia de los proyectos hidroeléctricos, sin detrimento de los servicios ecosistémicos que proveen las **zonas de protección**"

Por tanto, los 3 usos evaluados fueron jerarquizados, de acuerdo al nivel de compatibilidad con la protección; así:

Senderismo (1)
Camping (2)
Cabalgatas / Ciclomontañismo (3)

Se integran las capas de capacidad de acogida de estos 3 usos, previa reclasificación para tener valores de 1, 2 y 3 para determinar la capacidad de acogida como baja, media y alta, respectivamente, y se obtiene la capa resultado, mediante la selección del valor más alto en cada pixel. Esta capa describe el mejor uso en cada "pixel" del territorio.

Los otros dos objetivos son para los usos en los embalses, a saber:

- Localizar zonas aptas para el desarrollo de **actividades turísticas y recreativas** de bajo impacto, que contribuyan al mejoramiento de la oferta turística de los municipios asentados en la zona de influencia de los proyectos hidroeléctricos, sin detrimento de los servicios ecosistémicos que proveen los **embalses**.

- Localizar zonas aptas para el desarrollo de **actividades económicas** que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades asentadas en la zona de influencia de los proyectos hidroeléctricos, sin detrimento de los servicios ecosistémicos que proveen los **embalses**.

Se jerarquizan los 8 usos evaluados, considerando el nivel de mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades asentadas en la zona de influencia de los embalses y

se efectúa el procedimiento previamente indicado, obteniendo el siguiente orden de priorización:

Pesca artesanal (1)
Acuicultura (2)
Pesca deportiva (3)
Pesca recreativa (4)
Navegación recreativa (5)
Navegación deportiva (6)
Navegación comercial (7)
Natación (8)

2.2 Modelo lógico

A continuación se describe el modelo lógico a aplicar para seguir la metodología descrita en el modelo conceptual.

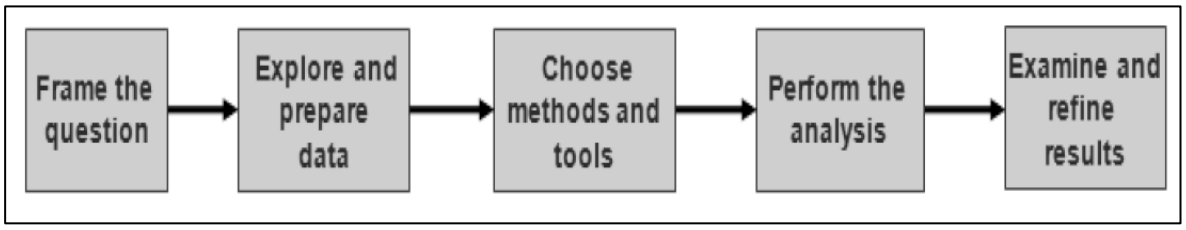
2.2.1 Objetivo

Generar geoprocesos utilizando ModelBuilder para realizar el análisis espacial que permita determinar la zonificación del territorio para diversos usos potenciales en embalses y sus zonas de protección.

2.2.2 Metodología

Para desarrollar este análisis espacial se seguirá la metodología propuesta por ESRI (2010), ilustrada en la figura 2-2, donde se representa el proceso estándar o flujo de trabajo de análisis SIG.

Figura 2-2. Flujo de trabajo de análisis SIG



Fuente: ESRI (2010, p. 1-16)

Tabla 2-17. Pasos para el proceso de análisis objeto de estudio

Análisis general procedimiento a seguir	Pasos para el proceso de análisis objeto de estudio
Planteamiento del problema	Generar mapas de zonificación de usos potenciales en embalses y sus áreas de protección, a partir de diferentes usos a evaluar y de variables limitantes
Explorar y preparar datos	En general los elementos paisajísticos naturales no presentan bordes marcados sino zonas de transición, por lo que se trata de fenómenos caracterizados por una variación continua (superficie) en el espacio, cuya mejor representación es mediante el modelo de datos raster. Por tanto, si se tienen datos vector y raster, deben ser homologados y rasterizados
Seleccionar métodos y herramientas	Este es un extenso análisis con muchas herramientas, por lo que se utilizará ModelBuilder para automatizar las tareas. El método de fondo que sustentará el análisis es una evaluación multicriterio de un modelo de aptitud ponderado que tiene diferentes pesos en sus variables de entrada. En el análisis espacial es conocido como "Weighted suitability models" (ESRI, 2010)
Desarrollar el análisis	Correr los modelos
Examinar y refinar los resultados	Mapas de aptitud de los usos potenciales de los embalses y sus áreas de protección vectorizados

Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Delimitación del entorno

Los análisis se realizarán en el área definida como zona de análisis, que corresponde al área de estudio menos las zonas definidas como limitantes. Por tanto, las variables identificadas como limitantes deberán unirse para tratarse como una "máscara" en los análisis a realizar.

2.2.4 Obtención del modelo de capacidad de acogida para cada uno de los usos (aplicación de la EMC)

Mediante el uso de la aplicación ModelBuilder, se diseñaron los geoprocesos que se aplicaron para la obtención de los mapas de capacidad de acogida para cada uno de los usos.

Debido a que los resultados obtenidos luego son retomados para la aplicación de la EMO, los modelos de cada uso se denominan *submodelos*, definidos como la acción de agregar y

ejecutar una herramienta de modelo dentro de otro modelo, con el fin de simplificar un modelo grande y complejo.

Los submodelos aplicados para la obtención de los mapas de capacidad de acogida para cada uso, se encuentran en el Anexo B.
En general, se emplean las mismas herramientas, pero varían los criterios o información de entrada, de acuerdo a lo definido para cada uso. En total se emplean 7 herramientas básicas, las cuales se definen a continuación:

Reclassify: Reclasifica (o cambia) los valores en un ráster. Con esta herramienta se asignan los valores de 1, 2 o 3 a los criterios de capacidad y de impacto utilizados.

Reclass by table: Reclasifica (o cambia) los valores de las celdas de entrada de un ráster mediante el uso de una tabla de nueva representación cartográfica. Con esta herramienta se seleccionan los datos de una tabla y se les asigna el valor de 1, 2 o 3 según el rango definido para cada caso.

Weigthed Overlay: Superpone varios rásteres con una escala de medición común y pondera cada uno según su importancia. Con esta herramienta se calculan las capas de capacidad y de impacto, de acuerdo al peso asignado a cada criterio.

Raster calculator: Construye y ejecuta una expresión simple de álgebra de mapas que generará como salida un ráster, en una interfaz similar a una calculadora. Con esta herramienta se realiza la integración de las capas de capacidad y de impacto, mediante la suma de ambas.

Raster to polygon: Convierte un ráster en polígono. Con esta herramienta se obtienen los **mapas** de capacidad de acogida.

Add field: Agrega un nuevo campo a una tabla de atributos. Con esta herramienta se adiciona el campo en el cual estarán los valores posibles para la capacidad de acogida, definidos en la tabla 2.

Field calculator: Calcula los valores de un campo, mediante una expresión de cálculo simple que se utiliza para crear un valor que completará las filas seleccionadas, lo cual puede hacerse interactivamente con la calculadora de campo. Con esta herramienta se calculan los valores a agregar en el campo creado en la tabla de atributos.

2.2.5 Obtención de los mapas de mejor uso (aplicación de la EMO)

Los valores encontrados en los submodelos definidos para cada uso, se reclasificaron en valores de 1, 2 y 3 y posteriormente se multiplicó cada capa por el valor indicado entre paréntesis en el ejercicio de priorización descrito en el numeral 2.1.4 y se selecciona el mayor

valor para cada pixel con la herramienta *Cell Statistics*, mediante la cual se calcula el mayor valor de las celdas en la vecindad y de esta manera se encuentra para cada pixel el uso que tiene mayor valor y por ende, el mejor uso en esa parte del territorio.

Los modelos aplicados se encuentran en el Anexo B.

2.2.6 Diccionario de datos

Los objetos generados en los geoprocesos deben cumplir con el siguiente diccionario de datos modelo, que se aplicó para todos los 11 features class[6] generados en la salidas de los submodelos descritos en el Anexo B.

En la tabla 2-18 se dará ejemplo para el primero de ellos y se debe replicar el diccionario (y dominios) para la estructuración de los campos para el resto de mapas.

Tabla 2-18. Diccionario de datos mapas capacidad de acogida

Descripción tema	Mapa Acogida Senderismo		
Geometría	Polígono		
Campo	**Tipo de dato**	**Tamaño**	**Descripción**
ID_PAIS	Text	10	Código del país
ID_DPTO	Text	10	Código del Departamento
DEPTO	Text	100	Departamento
ID_MUN	Text	10	Código del Municipio, según DANE
MUNICIPIO	Text	100	Municipio
ID_VEREDA	Text	10	Código de la Vereda, según Secretaría de Planeación Departamental
VEREDA	Text	100	Vereda
CAPAC_ACOG	Text	50	Define la posibilidad de realizar el uso evaluado. Ver dominios (tabla 2-21)
AREA_HA	DOUBLE		Área del polígono (en hectáreas)

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 2-19 y 2-20 se presenta el diccionario de datos para los mapas de mejor uso en zonas de protección y embalse, respectivamente.

[6] Son colecciones homogéneas de características o atributos comunes, con la misma representación espacial, tales como puntos, líneas o polígonos.

Tabla 2-19. Diccionario de datos mapa mejor uso zonas de protección

Descripción tema	Mapa Uso Zona Protección		
Geometría	Polígono		
Campo	**Tipo de dato**	**Tamaño**	**Descripción**
ID_PAIS	Text	10	Código del país
ID_DPTO	Text	10	Código del Departamento
DEPTO	Text	100	Departamento
ID_MUN	Text	10	Código del Municipio, según DANE
MUNICIPIO	Text	100	Municipio
ID_VEREDA	Text	10	Código de la Vereda, según Secretaría de Planeación Departamental
VEREDA	Text	100	Vereda
USO_ZP	Text	50	Define el mejor uso posible para las zonas de protección. Ver dominios (tabla 2-22)
AREA_HA	DOUBLE		Área del polígono (en hectáreas)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-20. Diccionario de datos mapa mejor uso embalse

Descripción tema	Mapa Uso Embalse		
Geometría	Polígono		
CAMPO	**TIPO DE DATO**	**TAMAÑO**	**DESCRIPCIÓN**
ID_PAIS	Text	10	Código del país
ID_DPTO	Text	10	Código del Departamento
DEPTO	Text	100	Departamento
ID_MUN	Text	10	Código del Municipio, según DANE
MUNICIPIO	Text	100	Municipio
ID_VEREDA	Text	10	Código de la Vereda, según Secretaría de Planeación Departamental
VEREDA	Text	100	Vereda
USO_E	Text	50	Define el mejor uso posible para el embalse. Ver dominios (tabla 2-23)
AREA_HA	DOUBLE		Área del polígono (en hectáreas)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-21. Dominio para capacidad de acogida

Dominio	*Dom*_ CAPAC_ACOG
Valor	**Nombre**
1	No probable
2	Apto con Evaluación Impacto Ambiental
3	Apto con Evaluación Técnico-Económica
4	Apto con Evaluación Impacto Ambiental y Técnico-Económica
5	No se permite
6	No se aconseja
7	Uso permitido sin restricciones

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-22. Dominio para mejor uso zona de protección

Dominio	*Dom*_ USO_ZP
Valor	**Nombre**
1	Ciclomontañismo / Cabalgatas
2	Camping
3	Senderismo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-23. Dominio para mejor uso embalse

Dominio	*Dom*_ USO_E
Valor	**Nombre**
1	Natación
2	Navegación comercial
3	Navegación deportiva
4	Navegación recreativa
5	Pesca deportiva
6	Acuicultura
7	Pesca recreativa
8	Pesca artesanal

Fuente: Elaboración propia

3. Aplicación del modelo de capacidad de acogida al caso de estudio

En este capítulo se presenta una breve caracterización de la zona de estudio y los resultados del modelo cartográfico, que es el resultante de la aplicación del modelo lógico para obtener las coberturas o capas y su integración para la creación de mapas.

3.1 Caracterización de la zona de estudio

La zona de estudio corresponde al área de influencia directa de los embalses Porce II y Porce III, los cuales hacen parte de los proyectos hidroeléctricos del mismo nombre, operados por Empresas Públicas de Medellín E.S.P. –EPM. Por tratarse de proyectos hidroeléctricos construidos en épocas diferentes, la caracterización de la zona de estudio se realizará para cada uno de los proyectos y posteriormente, se presenta un análisis integrado de la región.

3.1.1 Área de Influencia Directa (AID) embalse Porce II

La Central Hidroeléctrica Porce II está localizada al nordeste y norte del departamento de Antioquia, a 120 kilómetros de la ciudad de Medellín, en jurisdicción de los municipios de Gómez Plata (36,22%), Amalfi (33,49%), Yolombó (29,73%) y Guadalupe (0,56%).

Las veredas que se encuentran dentro de la zona son:

En Gómez Plata: Quebradona, Vega Botero, El Indio, Juntas, El Brasil, Puente Porce y Garzón.
En Amalfi: El Guayabito, El Encanto, La Guayana y El Retiro.
En Yolombó: La Cancana y Guacavé.
En Guadalupe: Guadalupe IV.

El área de estudio corresponde a 8.708,72 ha, enmarcadas en un polígono que contiene los predios que EPM consideró estratégicos para el proyecto, lo cual corresponde al polígono de utilidad pública. Para el año 2011, EPM tenía predios con aproximadamente 4.567,18 ha, lo cual corresponde al 52,44% del total del AID del embalse Porce II.

El área se encuentra acotada por las coordenadas que se muestran en la tabla 3-1, expresadas en el Sistema de Coordenadas Proyectadas MAGNA_Colombia_Bogotá, proyección Transversa de Mercator y se muestra en la figura 3-1.

Tabla 3-1. Coordenadas del área de influencia directa del embalse Porce II

Coordenada Este	Coordenada Norte
877.351	1.250.234
891.656	1.250.234
877.271	1.232.996
891.656	1.232.996

Fuente: Universidad Nacional, 2011

Información biofísica

La principal fuente de abastecimiento del embalse es el río Porce, cuyo caudal promedio aproximado es de 113,4 metros cúbicos por segundo (m^3/s). Tiene una capacidad total de 142.7 millones de metros cúbicos (Mm^3) y un área de 890 hectáreas. Este embalse también recibe los vertimientos y descargas de agua de la central hidroeléctrica La Tasajera, que genera energía con las aguas del embalse Riogrande II.

La altura sobre el nivel del mar, referente a la cota máxima de inundación del embalse es de 924,5 m. La precipitación de la zona varía entre 2.300 y 3.300 mm anuales con un promedio de 3.050 mm al año con un régimen bimodal. Las temperaturas oscilan entre 22 y 19 grados centígrados (^oC) para las zonas bajas y altas respectivamente. Según el sistema de zonas de vida de Holdrige (1982), se encuentra en bosque húmedo premontano (bh-PM).

La zona de influencia directa corresponde a un valle abierto con una franja central de colinas bajas de forma redondeada muy disectadas, acompañadas de depósitos aluviales en forma de barras laterales extensas, interrumpidas y terrazas bajas, sin presentar una llanura de inundación continua. Las pendientes promedio varían entre 22 y 25 grados, aunque se presentan pendientes de 36 a 45 grados.

Información socioeconómica

A continuación se muestran apartes de la investigación realizada por EPM en el 2008 en el trabajo *"Evaluación de impacto socioeconómico del componente de reasentamiento del proyecto hidroeléctrico Porce II"* (EPM, 2012), con el fin de ilustrar la caracterización socioeconómica de la población del área de influencia directa e indirecta del embalse en el inicio del proyecto y una vez construido y en funcionamiento, años después en el 2008.

El estudio trató de la comparación de los cambios socioeconómicos de las poblaciones de Villanueva (comunidades reasentadas), entre 1998 y 2008 y la población de El Brasil, zona que hacía parte del proyecto pero que no se vio afectada por el proceso de reasentamiento.

Características socioeconómicas y demográficas

Entre 1987 y 1994, EPM realizó una primera caracterización socioeconómica de la población del área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico Porce II. Esto permitió clasificar a la población según su potencial impacto directo o indirecto. La población afectada directamente era aquella que perdía su vivienda y su fuente principal de ingresos (la minería), debiendo ser desplazada. En este grupo se incluyó a la población de las veredas Guacavé y La Cancana del municipio de Yolombó, La Picardía del municipio de Amalfi y la vereda Garzón del municipio de Gómez Plata. Los poblados influenciados indirectamente por el proyecto estaban especialmente afectados por la migración de la población foránea a la zona y sus efectos derivados, entre ellos los cambios físico-espaciales en su entorno.

La población impactada estaba compuesta por familias dedicadas principalmente a la minería aluvial en el río Porce y en menor medida a actividades ocasionales de jornaleo, agricultura y comercio, con ingresos promedios inferiores a dos salarios mínimos. Se trataba de una población permanente con gran arraigo y tradición (propietarias de su predio o con más de tres años de permanencia en el área), y una población transitoria proveniente de otros lugares por los intereses del proyecto.

Reasentamiento

El proyecto Porce II impactó a 217 familias, a las que se les ofrecieron como alternativas: *(a)* el reasentamiento integral planificado o *(b)* la compensación económica (llamada por EPM venta directa). Después de un proceso de información y sensibilización, capacitación y acompañamiento por parte de EPM, 119 familias se acogieron a la opción de reasentamiento, mientras que 98 optaron por la venta directa o compensación.

En cuanto a las 119 familias a ser reasentadas, EPM propuso el reasentamiento integral de tipo grupal nucleado. Éste consiste en el reasentamiento planificado, que se lleva a cabo de forma progresiva y participativa, con base en la construcción de viviendas, centros de servicios comunitarios, restitución de actividades productivas, restablecimiento de redes y relaciones sociales y culturales, teniendo en cuenta los principios de equidad y sostenibilidad.

El reasentamiento de Porce II se consideró especialmente complejo por tratarse de una población minera, semi-itinerante, con arraigo al territorio y a su actividad económica principal. Uno de los principales retos era generar un cambio de vocación productiva a través de alternativas económicas sostenibles para esta población. Las familias reasentadas se ubicaron en el corregimiento de Villanueva (municipio de Yolombó).

Tras un estudio demográfico, se constató que de las 119 familias reasentadas en 1998 en el corregimiento de Villanueva, 73 estaban todavía presentes en 2008. Por su parte, de las 50 familias que constituían la población de El Brasil (1994), sólo se encontraron 26 en 2008.

Dimensión espacial

Vivienda: en relación con las condiciones de las viviendas entre 1994 y 2008, los cambios resultan importantes por ser éste uno de los principales pilares de la acción de reasentamiento de EPM. Se observan mejoras de los materiales de construcción utilizados, organización de la vivienda, número y uso de los espacios domésticos, entre otros. En la población de El Brasil, las viviendas continúan presentando características de las poblaciones de origen del reasentamiento.

Tenencia de las viviendas: las 73 familias de Villanueva bajo estudio en el 2008 siguen ostentando los títulos de propiedad que obtuvieron durante el proceso de reasentamiento.

Infraestructura de servicios: entre 1994 y 2008 la población reasentada mejoró considerablemente en relación con el acceso a la energía eléctrica, gas natural, agua potable y servicios de infraestructura. En El Brasil, no.

Dimensión sociodemográfica

En Villanueva aumentó el número de personas por familia sin causar problemas de hacinamiento en los hogares.

Niveles de educación: entre 1994 y 2008, el porcentaje de personas con alguna educación (primaria, secundaria o superior) en Villanueva pasó de 69,1% a 77,25%, pues la oferta educativa aumentó en la comunidad reasentada.

Aseguramiento en salud

Para la población de Villanueva ha mejorado drásticamente desde 1994, asociado a las políticas públicas implementadas por el Gobierno, que obligan a toda la población a estar cubierta, ya sea bajo el régimen contributivo o subsidiado. Pasaron de estar cubiertas de un 8,4% en 1994 a un 96% en 2008. La población de El Brasil tuvo una cobertura de salud para el 2008 del 91,57%.

Servicios de asistencia sanitaria: en Villanueva existe un puesto de salud que da cobertura a sus pobladores y a los de las veredas colindantes, pero la atención médica estaba disminuida para el 2008. En El Brasil no hay puesto de salud.

Dimensión económica

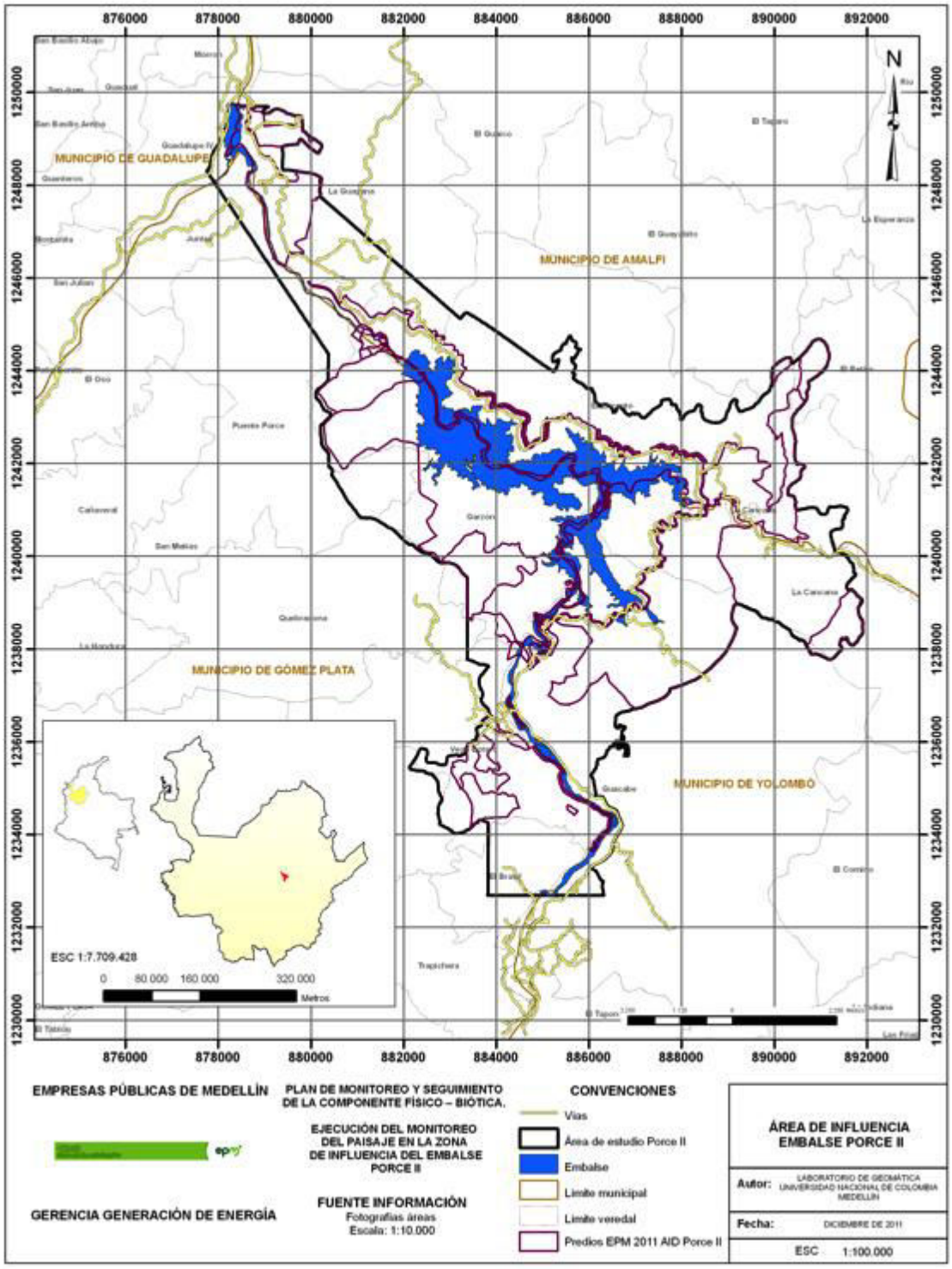
El desafío del reasentamiento era la reconversión de la actividad productiva de las poblaciones de origen que en 1994 se dedicaban en su mayoría (89%) a la minería aluvial como trabajadores particulares. En 2008, el perfil de ocupaciones y actividades económicas muestra mayor diversificación, distribuyéndose entre los sectores primario (40,5%), secundario (25,2%) y terciario (34,3%). En el nuevo perfil de ocupación se destacan los porcentajes de población dedicados a la construcción (20%), al comercio (15%), a la agricultura y la pesca (14%) y a los servicios comunales y sociales (12%), entre otros. En El Brasil se conservan en 2008 condiciones muy similares a las de la situación de pre-reasentamiento: las actividades mayoritarias están todavía asociadas al sector primario: la agricultura que concentra el 31,71% de los empleos y la minería con el 26,83%. También se destacan la ganadería y la construcción con un 9,76%.

En ambas poblaciones predominan los trabajadores particulares (14,61% en Villanueva y 33,73% en El Brasil). En el caso de Villanueva, el porcentaje de jornaleros (1,69%) es menor que en El Brasil (2,41%), y el porcentaje de empleados (4,78%) es mayor que en El Brasil (2,41%).

La diversificación de la estructura ocupacional en el reasentamiento se atribuye, en parte, al resultado del proceso de promoción de proyectos productivos realizado por EPM en su programa de restablecimiento económico para la población reasentada. De hecho, de las 10 actividades actuales (2008) en Villanueva, tres fueron inducidas a través de este programa: comercio, servicios sociales y comunales, y silvicultura. Las otras actividades surgen por las demandas asociadas con la concentración de población en el reasentamiento, por ejemplo la pesca para alimentación y los servicios asociados al transporte.

Los datos de 2008 para la población reasentada revelan la aparición de personas desempleadas, fenómeno que no existía en años anteriores. En cuanto al nivel de ingresos familiares, entre 1994 y 2008 se observa un aumento en las participaciones porcentuales de las familias con ingresos entre 2 y 3 SMMLV y superiores a 3 SMMLV, que pasaron de 6,7% y 8,8% en el año 1994 a 15,7% y 12,9% en el año 2008, respectivamente. También se registra un aumento en la participación de las familias que perciben menos de 1 SMMLV al pasar de 24,4% en 1994 a 31,4% en 2008. Lo anterior significa que si bien se produjo una leve mejora en los ingresos de algunas familias en Villanueva, ya que creció en un 21% la participación de las familias con ingresos superiores a 2 SMMLV, también se han incrementado brechas de ingreso entre la población y las familias con ingresos inferiores a 1 SMMLV.

Figura 3-1. Mapa del AID del embalse Porce II



Fuente: Universidad Nacional, 2011

3.1.2 Área de Influencia Directa (AID) embalse Porce III

El área de influencia directa (AID) del embalse Porce III se encuentra ubicada al nordeste y norte del departamento de Antioquia, en jurisdicción de los municipios de Anorí (48,13%), Amalfi (33,23%), Guadalupe (16,24%) y Gómez Plata (2,40%), a una distancia aproximada de 147 km de la ciudad de Medellín por la carretera que de esta ciudad conduce a las poblaciones de Amalfi y Anorí.

Las veredas que se encuentran dentro de la zona son:

En Anorí: El Retiro, Monte Frío, Roble Arriba, El Limón, Pajonal, El Zafiro, Villa Fátima, El Roble, La Casita.
En Amalfi: María Teresa, Tinitacita, Los Mangos, La Guayana, El Guaico, La Manguita.
En Guadalupe: Morrón, Guanteros, Guadalupe IV, San Julián, Malabrigo, Bramadora, Guadual.
En Gómez Plata: Juntas, del corregimiento de El Salto.

El área de estudio corresponde a 14.200,3 ha, enmarcadas en un polígono que contiene los predios que EPM consideró estratégicos para el proyecto, de los cuales, para el año 2011, 5.916,50 ha son propiedad de EPM, equivalentes al 41,66% del AID del embalse Porce III.

El área se encuentra acotada por las coordenadas que se muestran en la tabla 3-2, expresadas en el Sistema de Coordenadas Proyectadas MAGNA_Colombia_Bogotá, proyección Transversa de Mercator y se muestra en la figura 3-2.

Tabla 3-2. Coordenadas del área de influencia directa del embalse Porce III

Coordenada Este	Coordenada Norte
874.900	1.270.000
895.100	1.270.000
895.100	1.246.400
874.900	1.246.400

Fuente: Universidad Nacional, 2011

Información biofísica

La altura del terreno se encuentra entre los niveles 318 y 1.800 msnm.

El principal afluente de la central hidroeléctrica de Porce III es el río Porce, el cual se represa en un volumen total aproximado de 169 millones de metros cúbicos, de los cuales 127 millones corresponden a embalse útil; el embalse tiene un área de 461 ha, una hoya hidrográfica de 3.756 Km^2 y una cota máxima de 680 msnm. El embalse comienza en el sitio conocido como Puente Acacias, el cual se encuentra a una distancia aproximada de 14 Km de la presa.

El río Porce, en el sitio del proyecto, tiene un caudal medio de 153,2 m^3/s, con máximos medios de 211,2 m^3/s y mínimos medios de 102,0 m^3/s. Sus afluentes más importantes en el sector del proyecto son el río Riachón y las quebradas La Víbora, El Roble, Boquerón, San Benigno, Caracolí, La Cristalina y Las Brisas.

La temperatura varía entre los 13°C y los 26°C y la humedad relativa entre el 80% y el 84%. La calidad del agua del río Porce en el tramo utilizado por el proyecto es regular, debido a la presencia de coliformes, la demanda bioquímica de oxígeno y la turbiedad, originados en el arrastre de la cuenca y en los vertimientos de aguas residuales provenientes del área metropolitana de Medellín y de los asentamientos humanos localizados a lo largo de su recorrido. En el área de estudio existen las zonas de vida bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo premontano (bmh-PM).

La precipitación promedia en la zona del proyecto se encuentra alrededor de 2.400 mm/año. La cuenca presenta un régimen de lluvia esencialmente bimodal, con períodos húmedos, el primero de ellos en abril y mayo y el segundo en septiembre y octubre.

En el cañón del río Porce predomina un relieve montañoso, en el cual se desarrolla un drenaje rectangular y de adaptación siguiendo los planos de foliación de las rocas metamórficas existentes en la zona. Los fenómenos erosivos predominantes son el carcavamiento, la erosión laminar y los desprendimientos de bloques de roca debidos a su fracturamiento. La geomorfología del valle del río Porce está desarrollada en un cañón profundo en "V" con laderas amplias, abruptas y asimétricas. Las pendientes de las laderas normalmente son mayores del 50%, aunque también se presentan sectores semiplanos de pendiente suave.

Información socioeconómica

La información que a continuación se presenta, proviene del estudio "*Actualización de la caracterización socioeconómica de las comunidades del área de influencia del proyecto hidroeléctrico Porce III*", estudio que se realizó por municipios en el año 2009.

Municipio de Anorí

La actividad económica principal es la agricultura, la cual articula al 43,4% de la población económicamente activa (PET). Las veredas que mayor número de personas tienen vinculadas a esta labor son La Casita y El Roble.

El segundo renglón económico en importancia lo constituye el ser empleado o contratista de EPM en la hidroeléctrica Porce III, con un 21% de la PET. Las veredas con mayor número de población vinculada al proyecto Porce III son El Roble y El Limón.

La tercera actividad económica, es la pecuaria, la cual vincula al 7,8% de la PET y es desarrollada en las veredas Pajonal, El Limón y El Roble.

Las otras actividades económicas que se desarrollan son menos representativas y según su orden de importancia son: el comercio y empleado o contratista de otras empresas u organizaciones comunitarias.

La mayoría de la población percibe bajos ingresos económicos y es un factor determinante en términos del acceso a condiciones favorables para obtener una buena calidad de vida.

La ganadería es la principal actividad pecuaria, destacándose la ganadería de doble propósito. Otras actividades pecuarias importantes son principalmente, las aves de postura con una producción que atiende la demanda de las familias de las veredas, la actividad porcina, con animales que se comercializan en las veredas y en las cabeceras de Amalfi y Anorí, y los pollos de engorde que se comercializan en las mismas veredas. El Roble, El Retiro, El Limón y El Zafiro, son las veredas más representativas de la actividad pecuaria.

Otros pocos son jornaleros, comerciantes, arrieros o transportadores y son personas que no laboran durante todo el mes y que en su mayoría no alcanzan a percibir un salario mínimo.

Municipio de Amalfi

La actividad económica principal de las veredas de este municipio, es la agricultura, la cual articula al 40,7% de la población económicamente activa (PET).
María Teresa.

El segundo renglón económico en importancia es la actividad pecuaria con el 12,3% de la PET. Las veredas más representativas en esta actividad dentro del área de estudio es La Guayana.

La tercera actividad económica, es la minería, pero guarda una diferencia porcentual significativa con las dos anteriores, 7,1% es desarrollada principalmente en las veredas Mangos Calentura, seguida por La Manguita y Salazar.

Otras actividades económicas menos representativas que se desarrollan en las veredas dentro del área de estudio en Amalfi en orden de importancia son: Empleado o contratista de Porce III, empleado o contratista de otras empresas u organizaciones comunitarias y el comercio.

Un importante porcentaje de la población el 18,6%, no cuenta con una ocupación permanente.

Otro tipo de ocupaciones en las veredas son el jornaleo, estas personas trabajan entre tres y

cuatro días a la semana. Los ingresos de esta población en su mayoría no alcanzan a percibir un salario mínimo.

La tendencia encontrada en estas otras actividades económicas realizadas por las comunidades, es que también generan bajos ingresos, lo que permite concluir que esta es la constante encontrada en la zona de estudio del Municipio de Amalfi lo cual es un factor determinante en términos del acceso a condiciones favorables para obtener una buena calidad de vida.

Municipio de Guadalupe

La actividad económica principal, es la agricultura la cual articula al 26,6% de la población económicamente activa (PET).

El segundo renglón económico en importancia lo constituye la actividad pecuaria con un 16,8% de la PET.

La tercera actividad económica, es empleado o contratista de Porce III, la cual vincula al 13,1% de la PET. Porce III, es la principal fuente generadora de empleo formal de los municipios del área de influencia del proyecto y de las subregiones Norte y Nordeste de Antioquia.

El cuarto lugar lo ocupa el comercio con el 8,1% de la PET.

Otras actividades económicas que se desarrollan en las veredas según su orden de importancia son: empleado o contratista de otras empresas u organizaciones comunitarias, empleado de EPM y minería, esta última se desarrolla en la vereda Plan de Pérez en el sector La Unión límites con Bramadora.

La población percibe bajos ingresos, y es un factor determinante en términos del acceso a condiciones favorables para obtener una buena calidad de vida.

Otro tipo de ocupaciones importantes que se realizan en las veredas son: La ocupación de jornalero, con personas que trabajan un promedio tres días por semana y sus ingresos están por debajo del salario mínimo. Algunos comerciantes que en su gran mayoría laboran el mes completo y cuyos salarios oscilan entre uno y dos salarios mínimos mensuales, otros cosecheros que trabajan 10 días al mes, no alcanzando a percibir un salario mínimo, y otros tantos transportadores que ganan entre uno y dos salarios mínimos.

La tendencia encontrada en estas otras actividades económicas realizadas por la población, es que también generan bajos ingresos, lo que permite concluir que esta es la constante encontrada en las veredas del entorno del Proyecto Porce III.

Un importante porcentaje de la población el 27,1% de la PET, no cuenta con una ocupación permanente.

Municipio de Gómez Plata

La actividad económica principal, es empleado o contratista de otras empresas u organizaciones comunitarias, la cual articula al 29,6% de la PET.

El segundo renglón económico en importancia lo constituye el comercio con un 25,1% de la PET.

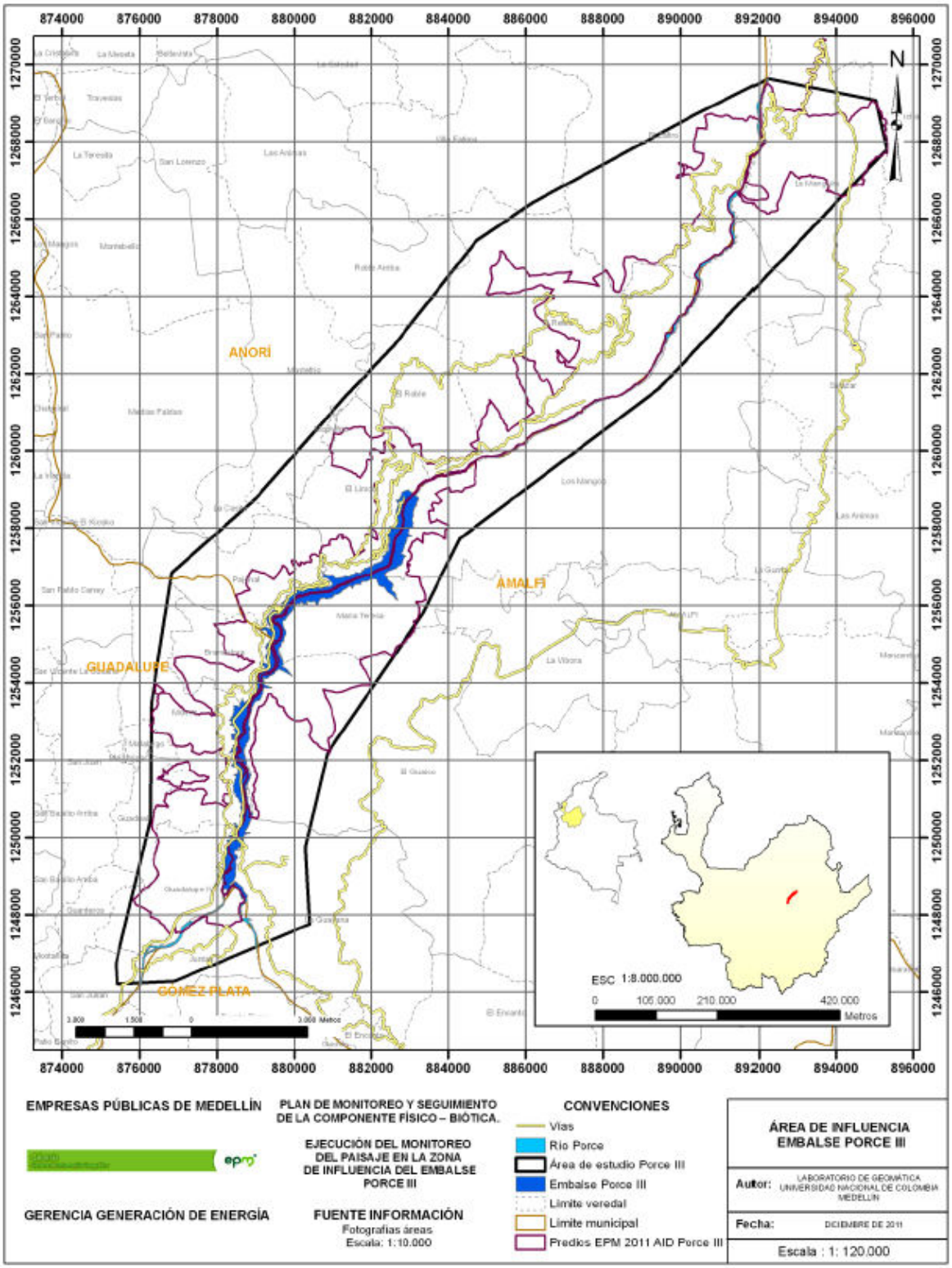
La tercera actividad económica, es empleado o contratista de EPM.

El cuarto lugar lo ocupa el empleado o contratista de Porce III, con el 2,1% de la PET.

Las actividades menos significativas son la agricultura en la que se ocupa el 1,9% de la PET y la pecuaria con el 0,5%.

Entre las actividades económicas que se desarrollan en la cabecera El Salto están el jornaleo, personas que no laboran durante todo el mes y que en su mayoría no alcanzan a percibir un salario mínimo legal vigente mensual, transportadores que ganan entre uno y dos salarios mínimos y comerciantes que laboran durante todo el mes y que perciben entre uno y dos salarios mínimos. La tendencia encontrada en estas otras actividades económicas realizadas, es que también generan bajos ingresos.

Figura 3-2. Mapa del AID del embalse Porce III



Fuente: Universidad Nacional, 2011

3.1.3 Análisis regional de la zona de estudio

La zona de estudio comprendida por las áreas de influencia directa de los embalses Porce II y Porce III, es un bloque del territorio que se constituye en una región de 22.478 ha[7], caracterizada por la existencia de dos cuerpos de agua, con un área total inundada de 1.351 ha.

Caracterización de las zonas de protección de los embalses

Esta región se caracteriza por la existencia de coberturas vegetales, especialmente de bosques primarios intervenidos y secundarios, que en la mayoría de los municipios se consideran como los últimos relictos de bosques en su jurisdicción. Mediante los estudios de monitoreo del paisaje que EPM contrata con universidades, se realiza un seguimiento a estas coberturas vegetales.

El monitoreo del paisaje en las áreas de influencia directa de los embalses Porce II y Porce III, se realiza atendiendo requerimientos de las licencias ambientales de ambos proyectos. Este estudio debe realizarse cada 5 años y para el caso de Porce II, se viene realizando desde el año 2001, y por tanto, se tienen resultados para los años 2001, 2006 y 2011. Para el caso de Porce III, el primer monitoreo fue en el año 2003 y se tienen resultados para los años 2003, 2008 y el último fue en 2011 para dar inicio a un estudio integrado de ambas áreas de influencia directa.

En este sentido, para establecer la conectividad en el AID de los embalses Porce II y Porce III, en el año 2011 se realizó el análisis conjunto de las coberturas vegetales y los usos del suelo entre las áreas de estudio, obteniendo lo siguiente:

- El 36,21% del área total se encuentra cubierto por pastizales, ubicados principalmente en las veredas El Encanto y La Guayana del municipio de Amalfi, El Roble del municipio de Anorí, La Vega Botero y El Brasil del municipio de Gómez Plata y, Morrón y Guadalupe IV en el municipio de Guadalupe.

- Los mayores parches de bosques se encuentran ubicados en las veredas Los Mangos, El Encanto y El Guaico del municipio de Amalfi, El Retiro y Villa Fátima del municipio de Anorí, Juntas del municipio de Gómez Plata y Guacavé del municipio de Yolombó. Dichas áreas corresponden en especial a las reservas de La Forzosa de Corantioquia y del Arrierito Antioqueño de Proaves, a predios de particulares como el bosque El Oso en Porce III y a predios propiedad de EPM en Porce II, las cuales cubren en total una área de 4.517,8 ha.

[7] Las áreas de influencia directa de los embalses Porce II y Porce III, tienen un área en común de 430,75 ha. Por tanto, este valor es el resultado de la sumatoria de las dos áreas menos el área común

- Según los resultados obtenidos, el uso de protección es el que predomina en el área de estudio, con 11.439,14 hectáreas equivalentes al 50,89% del área total. Este uso se encuentra en 31 de las 33 veredas del AID, las tres veredas en donde más se presenta el uso de protección es en la vereda Garzón del municipio de Gómez Plata y en las veredas El Retiro y El Zafiro del municipio de Anorí.

- El segundo uso predominante en la zona es el de ganadería extensiva, con 8.138,52 ha, en el 36,21% del área total, éste corresponde a las áreas en donde se presenta como cobertura los pastizales. Este uso se práctica en 32 de las 33 veredas del AID, las tres veredas en donde más se presenta es en El Encanto y La Guayana del municipio de Amalfi y El Retiro del municipio de Anorí.

  En este uso se debe tener presente que en aquellas áreas que se encuentran dentro de los predios propiedad de EPM, los pastizales cumplen una función de recuperación con su monitoreo y vigilancia permanente con el fin de obtener áreas que presenten un alto grado de sucesión vegetal, logrando en un futuro coberturas de rastrojos bajos y altos o bosques secundarios. Sin embargo, se hace evidente que se requieren mayor cantidad de obras de vigilancia y recuperación, con el fin de eliminar al 100% aquellos pastizales por lo menos dentro de los predios que a 2011 se registran como propiedad de La Empresa.

Se realizó un análisis de conectividad entre las AID conjuntas de los embalses Porce II y Porce III, en este análisis se tomaron en cuenta las áreas con coberturas de bosque primario intervenido, bosque secundario y rastrojo alto. De este análisis se concluye:

- El 41,50% de la zona de estudio presenta parches de coberturas ecológicamente representativas, siendo los rastrojos altos los que presentan mayor número de fragmentos (294), representando el 21,40% del área total, seguido de los bosques secundarios, con 156 fragmentos que representan el 8,63% y por último los bosques primarios, que con 65 fragmentos se encuentran en el 11,47% del área total. Estos últimos presentan las mayores áreas, por lo que además presentan el mayor valor de borde medio.

- En general para la conectividad del área de estudio, se puede decir que el 97,86% de los parches de coberturas ecológicamente representativas presentan buena conectividad, siendo los bosques secundarios los que mayor proximidad presentan a vecinos de su mismo tipo, seguido de los bosques primarios, mientras que los parches de rastrojos altos son los que se encuentran más fraccionados.

Así mismo, se proponen dos rutas de conectividad entre las AID de Porce II y Porce III, que conectan los parches de bosque primario intervenido, bosque secundario y rastrojo alto, con fines de creación de corredores biológicos.

De otro lado, en esta región la tala de bosques y rastrojos en diferentes estados sucesionales y el establecimiento de pastizales para ganadería, ha ocasionado cambios desfavorables, es decir, pasan de ser coberturas con un mayor estado sucesional a uno de menor estado.

Esta situación es preocupante, en la medida en que gran parte de estas acciones se realizan en bosques ya consolidados, que se encuentran ubicados en especial en las franjas de protección de fuentes de agua, y que en muchos casos son predios vecinos a los adquiridos por EPM.

El resultado de la presión antrópica que se viene presentando en toda la región ha sido la reducción de las coberturas boscosas y la consecuente disminución de presas naturales para los felinos, lo cual les ha obligado a salir de sus territorios, generando su muerte por cacería o atropellamiento.

Caracterización de los embalses (Fundación Humedales, 2013)

Los embalses Porce II y Porce III tienen como afluente principal al río Porce, el cual nace en el alto de San Miguel con el nombre de río Medellín al sur de la ciudad, y desciende atravesando la parte central del departamento de Antioquia, incluyendo los 10 municipios del Área Metropolitana, en dirección noreste, hasta desembocar en el río Nechí, afluente del río Cauca.

La cuenca del río Porce, hasta su desembocadura, tiene un área de 5.230 Km^2, con una longitud aproximada de 232 Km y un ancho promedio de 30 Km con amplitud máxima de 60 Km. El río Medellín, 70 Km antes de llegar al embalse, posterior a la descarga de sala de máquinas de la central Tasajera y la confluencia con el río Grande en Puente Gabino, cambia de nombre para llamarse río Porce.

Embalse Porce II

El embalse Porce II presenta una longitud máxima de 9.2 Km, un ancho máximo de 1.2 Km, y un ancho promedio de 544,7 m. Alcanza un perímetro de 92.326 m, una profundidad máxima de 99,3 m y una profundidad media de 45 m (Largo, 2011).

El sistema Porce II está conformado por dos zonas (Fig. 3-3), el embalse como tal, que abarca desde el sector de La Cancana (desembocadura de la quebrada La Cancana al embalse) hasta el sector de presa (sentido sureste a noroeste), y la zona de la cola del embalse, que comprende desde el inicio del represamiento del río Porce pasando por el brazo de las quebradas Fosforito y Guaduas hasta el embalse (en frente de la desembocadura de la quebrada el Encanto) (Fig. 3-3). Se establece que en los lugares de afluencia de las diferentes quebradas tanto al embalse como a la cola del mismo, se conforman los sectores frecuentados por los pescadores para realizar sus faenas de pesca.

Con base en los estudios de Largo (2011), la zona de entrada del río Porce por el sur del embalse, es de aproximadamente 2 Km de longitud, en sentido norte, con una velocidad de flujo relativamente alta, alta turbiedad, con una profundad máxima de 12 m y un ancho que varía entre 150 y 550 m. El brazo Guaduas hasta el embalse, se estima en 3 Km con 300 m de ancho y 8,8 m de profundidad media. El brazo de La Cancana, tiene un área de 1,5 Km^2, con una profundidad media de 12 m y un ancho que puede variar entre 100 y 800 m. Esta zona cobra importancia, al igual que la del brazo de la quebrada Guaduas, por ser el sector que durante un largo período de tiempo fue notable la presencia de macrófitas acuáticas o plantas acuáticas invasoras. En el punto de confluencia de ambos brazos (Guaduas y Cancana), el sentido del flujo principal cambia 90 grados hacia el occidente y es la que conforma el cuerpo principal del embalse con una profundidad media de 40 m y un ancho que puede llegar a los 800 m.

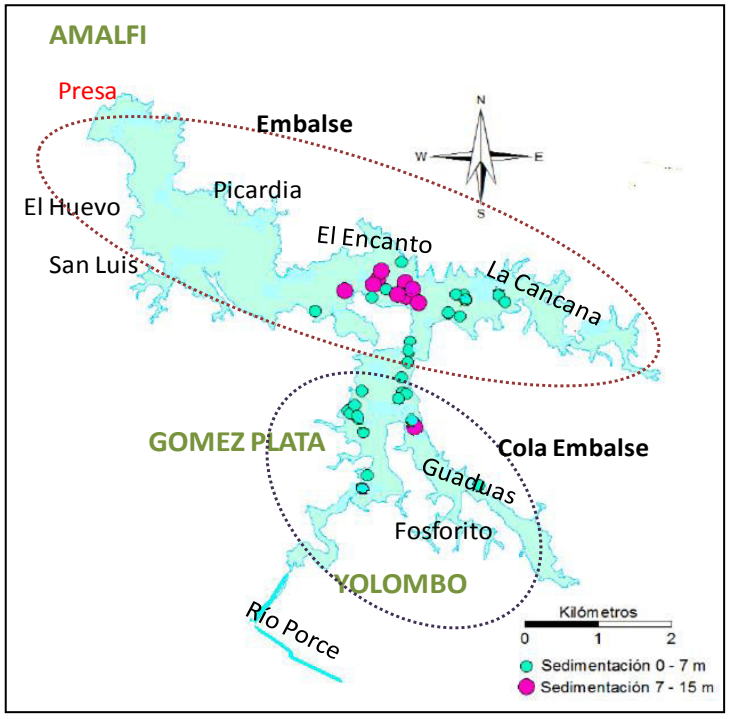
En el embalse Porce II el comportamiento de los niveles del embalse durante los años 2001 a 2012, permite establecer dos ciclos de aguas altas y dos ciclos de aguas bajas. Los períodos de aguas altas se dan en los meses de junio y noviembre y el de aguas bajas en los meses de febrero y septiembre (Fig. 3-4).

Esta dinámica es importante, ya que el régimen de niveles se constituye en una herramienta de la pesquería, porque influye en la vulnerabilidad para que un pez sea o no capturado, y esto se refleja en el aumento o disminución de los rendimientos o del esfuerzo pesquero.

Con relación a la calidad del agua del embalse, ésta es descrita por varios autores, rescatando a Cuellar (2009), quien indica que el embalse Porce II tiene un tiempo de retención hidráulica de 20 días y presenta condiciones de hipereutrofia, como reflejo de la calidad del agua aportada por sus tributarios y en especial de las cargas de materia orgánica y de nutrientes causados por las actividades antrópicas y uso del suelo de las cuenca aportantes.

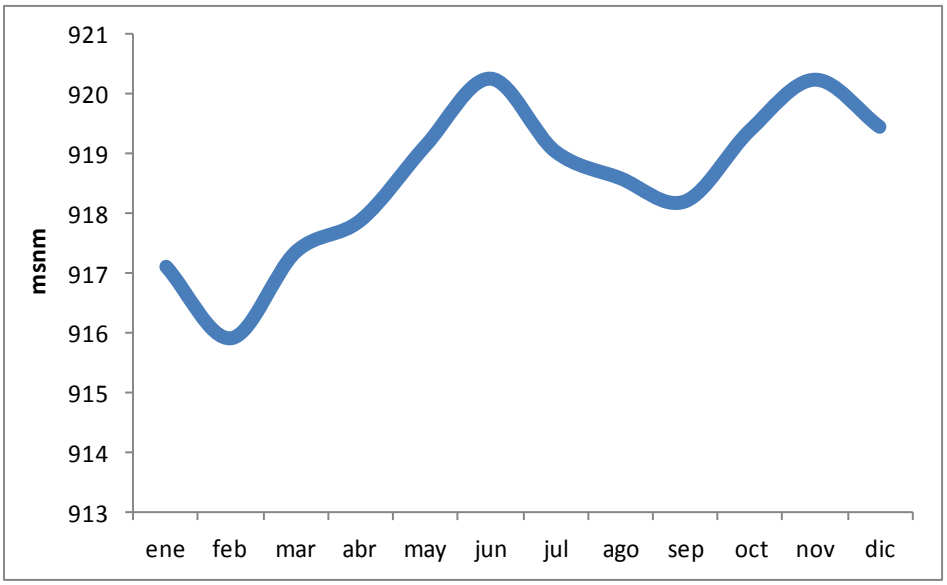
En un embalse, además de la contaminación procedente de sus afluentes, se presenta deterioro en la calidad del agua por el represamiento y por la evolución térmica, ya que la presencia de gradientes en la vertical puede afectar o evitar los procesos de mezcla. La estructura térmica de un embalse afecta de manera determinante una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que al final se relacionan con la claridad del agua (Margalef, 1983 en Franco, 2011, citado en Fundación Humedales, 2013)

Figura 3-3. Zonificación del embalse Porce II



Fuente: Tomado y adaptado de Largo (2011)

Figura 3-4. Dinámica del nivel medio del embalse Porce II entre los años 2001 y 2012



Fuente: Fundación Humedales, 2013

Largo (2011) indica que las características de la estructura térmica y de la calidad del agua están determinadas por las variaciones climatológicas de la cuenca del río Porce, es decir, sin

importar el modo de operación, la calidad del agua y la estructura térmica estarán determinadas por las variaciones del caudal y la temperatura del afluente principal. Este autor establece que en el embalse Porce II el viento es capaz de generar capas de mezcla de hasta 4 m de profundidad. Otro resultado de su investigación indica que el agua superficial cercana a la presa, que está sometida a la radiación solar durante todo el día, es transportada y acumulada hacia la zona alta del cuerpo principal; desplazamiento que modifica el tiempo de permanencia del agua en el embalse y por tanto se activan los intercambios de masa entre las diferentes zonas. Como conclusión, Largo (2011) establece que el embalse Porce II presenta homogeneidad transversal en la temperatura y un aumento longitudinal de la temperatura desde la zona de entrada del río Porce hasta la zona alta del cuerpo principal. Encuentra que la diferencia entre la temperatura de fondo y la temperatura superficial puede ser de 4,5 ºC e inferior a 3,5 ºC.

Como indicadores de contaminación se cuenta con el índice NFS-WQI el cual maneja 9 variables. De acuerdo con Cuellar (2009), este índice clasifica al embalse Porce II como un embalse con aguas de calidad media en el nivel de entrada y de calidad buena a la salida, y por lo cual rescata los procesos de depuración biológica que genera el embalse.

Embalse Porce III

El embalse Porce III, además del río Porce tiene como afluente principal al río Guadalupe.

Presenta una longitud de 14 Km, un ancho máximo de 700 m y un ancho promedio de 500 m. Alcanza una profundidad máxima de 130 m y una profundidad media de 65 m.

Según los resultados del monitoreo de calidad del agua del embalse Porce III, se tienen unas condiciones de buena calidad para sus aguas, con predominio de los estados mesotrófico y eutrófico. A nivel general se presentan concentraciones bajas de la DBO. Adicionalmente, se observa que el embalse no genera impacto negativo a las aguas que transitan por este sistema léntico, ya que las concentraciones de DBO registradas aguas abajo permanecen estables luego de su paso por este cuerpo de aguas

Usos actuales en los embalses y zonas de protección

El embalse Porce II comenzó a operar en febrero de 2001 y a partir de la fecha se viene realizando una intensiva actividad pesquera artesanal, por parte de las comunidades asentadas en las veredas cercanas al embalse, debido a la alta productividad pesquera, que lo hace uno de los embalses más productivos en el país y en el trópico.

Mediante un contrato suscrito entre EPM y la Fundación Humedales, aún en ejecución, se realizó una caracterización de la actividad pesquera, encontrándose un total de 67 pescadores, la mayoría de los cuales derivan su sustento únicamente de esta actividad. Debido a la importancia de esta actividad en la economía local, el objeto del contrato en

mención es formular un plan de ordenación pesquera[8] fue presentado a la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca –AUNAP, para su aprobación y emisión de una norma que permita regular la actividad, ya que el uso intensivo está llevando a la sobreexplotación y por ende a la insostenibilidad de la actividad.

De otro lado, se tiene un uso turístico informal en el embalse Porce II y sus zonas de protección, que se caracteriza por la llegada de personas durante los miércoles y fines de semana, procedentes de los municipios cercanos y de Medellín, motivados para realizar pesca recreativa con anzuelo, camping, navegación, nadar en el embalse y en general "paseos de olla" (ver fotografías 3-1 a 3-4).

Fotografías 3-1, 3-2, 3-3 y 3-4. Usos actuales del embalse Porce II y su zona de protección (pesca recreativa, navegación, camping y natación)

[8] Un plan de ordenación es un acuerdo formal o informal entre un organismo de ordenación pesquera y las partes interesadas, en el que figuran los participantes en la pesca y sus funciones respectivas, se señalan los objetivos convenidos, se especifican las normas y reglamentos de ordenación aplicables y se indican otros detalles pertinentes para la labor que debe desempeñar el organismo de ordenación (FAO, 2005)

Por su parte, el embalse Porce III comenzó operación en octubre de 2010 y a la fecha no se realiza ningún uso predominante en el cuerpo de agua ni en la zona de protección. No obstante, la expectativa de ejercer la actividad pesquera con la intensidad y éxito que se tiene en el embalse Porce II ha suscitado en las comunidades de la zona de influencia el interés en esta actividad. Es por ello, que en el contrato con la Fundación Humedales, se realizó una evaluación del potencial pesquero del embalse y se encontró muy poca viabilidad para ejercer una pesca en la magnitud que se realiza en Porce II y se encontraron resultados preliminares que llevan a considerar que puede haber un potencial para la pesca deportiva, como parte de un desarrollo ecoturístico en la zona.

3.2 Información cartográfica de la zona de estudio

Se recolectó la información requerida para los criterios definidos en el modelo lógico, la cual se relaciona en la tabla 3-3. La información se tiene en escala 1:5.000 y 1:10.000.

Tabla 3-3. Información cartográfica disponible para la zona de estudio

Factor / variable	Formato	Geometría	Fuente de información
Áreas protegidas	Vector	Polígono	Sistema de Información de EPM - Génesis
Parcelas de monitoreo			Tablas con coordenadas de los estudios de monitoreo de fauna y flora, realizados por EPM
Zonas operativas	Vector	Polígono – Línea - Punto	Delimitación de zona de biofiltro en Porce II - levantamiento de información primaria Infraestructura - Sistema de Información de EPM (Génesis)
Patrimonio arqueológico	Vector	Punto	Sistema de Información de EPM (Génesis)
Tenedores irregulares Porce III			Tabla con coordenadas – levantamiento de información primaria
Coberturas y usos Porce II y III	Vector	Polígono	Monitoreo de paisaje en zona de influencia de los embalses Porce II y III, 2011
Calidad agua Porce II y III	Vector	Punto	Geodatabase Informes de Cumplimiento Ambiental, 2013
Hidrografía	Vector	Línea	Sistema de Información de EPM - Génesis
Vías	Vector	Línea	Sistema de Información de EPM - Génesis

Factor / variable	Formato	Geometría	Fuente de información
Centros poblados	Vector	Punto	Sistema de Información de EPM - Génesis
Equipamientos	Vector	Punto	Sistema de Información de EPM - Génesis
Embalse Porce II y Porce III	Vector	Polígono	Sistema de Información de EPM - Génesis
Batimetría embalse Porce II	Raster		DTM batimetría embalse Porce II, 2013
Batimetría embalse Porce III	Raster		DTM batimetría embalse Porce III, 2013
DTM	Raster		Resultados cartográficos estudio Antioquia Digital
Potencial erosivo en zonas de protección	Vector	Polígono	Cartografía de áreas degradadas de Corantioquia, 2009
Potencial erosivo en embalse	Vector	Polígono	Elaboración propia a partir de cartografía de áreas degradadas de Corantioquia, 2009

Fuente: Elaboración propia

3.3 Modelo cartográfico

El modelo cartográfico es el resultado de la integración de las capas para la obtención de datos, a continuación se describen los resultados de la aplicación del modelo lógico.

La realización de las actividades realizadas involucró las siguientes herramientas:

- ArcGIS Desktop 10.1 Advanced para procesamiento de datos y construcción de modelos de geoprocesamiento.
- Extensión Spatial Analyst para ArcGIS Desktop 10.1.
- Herramientas de escritorio: Word, Excel

3.3.1 Exploración y preparación de la información fuente

La información suministrada se analizó y se centralizó en una sola geodatabase todas las capas que se usan como insumos de los modelos de geoprocesamiento o que fueron usadas para la generación de los ráster que se describen en el numeral 3.3.2.

El análisis de la información suministrada consisió en:

a) Verificación de la consistencia espacial

Sistema de referencia: Todos los objetos geográficos deben estar en Sistema de Coordenadas MAGNA geográficas.

Validación de geometrías: La geometría de los datos debe validarse con la ayuda de la herramienta "*Check Geometry*" de ArcGis. Los errores que se reporten se deben corregir con la herramienta *"Repair Geometry"*, con la cual se realizan las siguientes correcciones:

- *Reparación de geometría nula:* se elimina el registro del feature class.
- *Reparación de intersecciones propias:* se disuelven las áreas de superposición en un polígono.

En las figuras 3-5, 3-6 y 3-7 se muestran algunos ejemplo de geometrías nulas (null geometry) e intersecciones propias (self intersections)

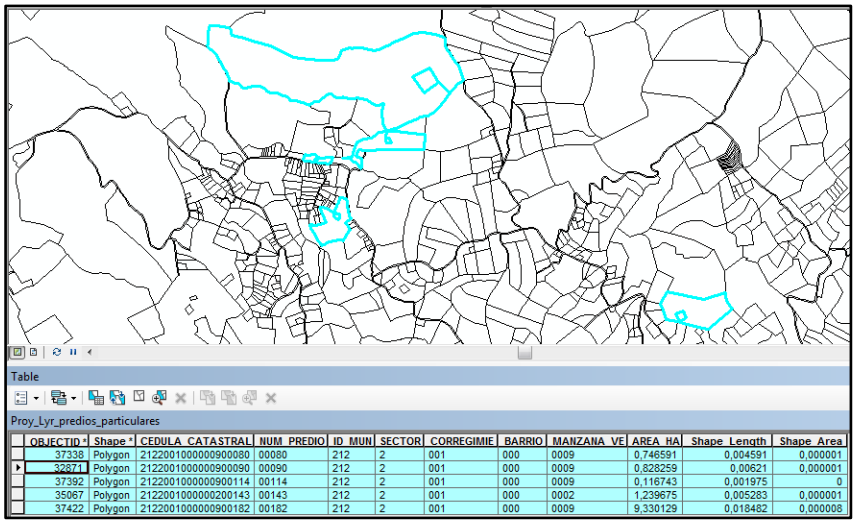
Figura 3-5. Error correspondiente a geometría nula

Proy_Lyr_predios_particulares

OBJECTID *	Shape *	CEDULA_CATASTRAL	NUM_PREDIO	ID_MUN	SECTOR	CORREGIMIE	BARRIO	MANZANA_VE	AREA_HA	Shape_Length	Shape_Area
185741	Polygon	null001000 00000	00000			001	000		0	0	0

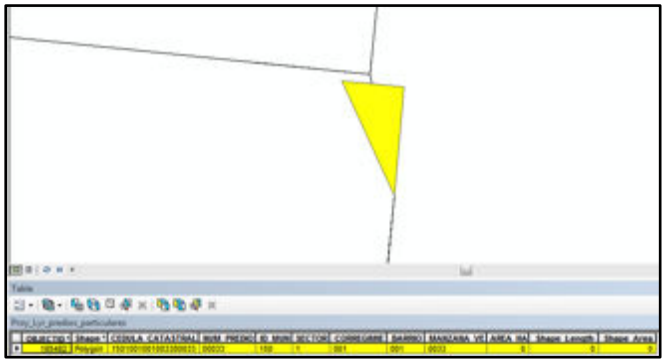
Fuente: Génesis, 2013

Figura 3-6. Error correspondiente a intersecciones propias



Fuente: Génesis, 2013

Figura 3-7. Detalle de intersección propia



Fuente: Génesis, 2013

b) Verificación de la consistencia topológica

El uso de una topología permite comprobar la integridad de los datos y ayuda a validar y a mantener mejores representaciones de las entidades en la geodatabase.

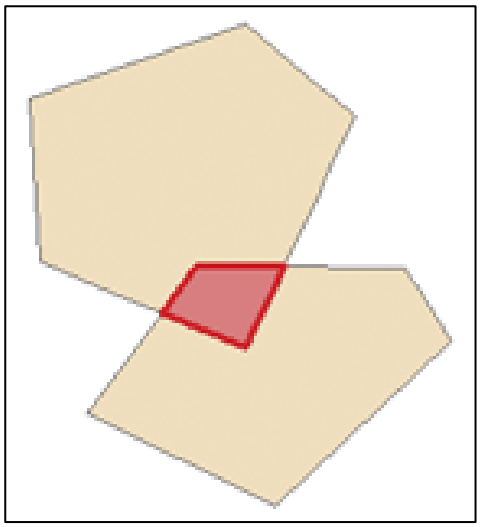
Las reglas topológicas definen las relaciones espaciales permitidas entre las entidades. Las reglas que se definen para una topología controlan las relaciones entre las entidades de una clase de entidad, entre las entidades de diferentes clases de entidad o entre los subtipos de las entidades. Existen gran cantidad de reglas topológicas, sin embargo para los objetos tipo polígono, se validaron únicamente:

- Must not overlap (No se deben sobreponer)
- Must not have gaps (No debe haber huecos)

Análisis de sobreposición de polígonos: Requiere que el interior de los polígonos no se superponga. Los polígonos pueden compartir ejes o vértices. Esta regla se utiliza cuando un área no puede pertenecer a dos o más polígonos (Fig. 3-8)

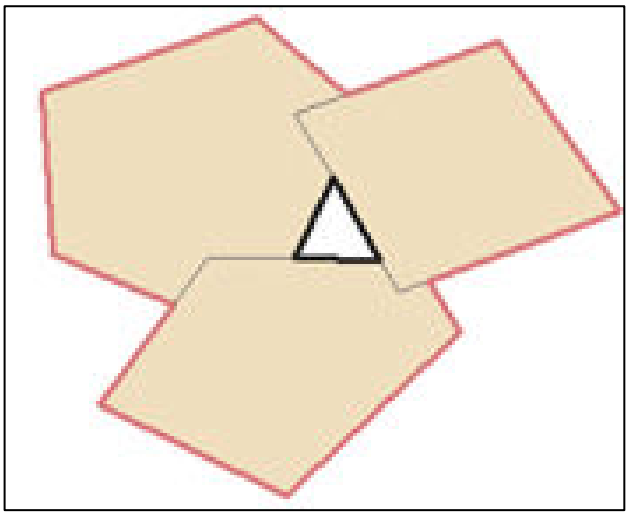
Análisis de huecos: Esta regla precisa que no haya vacíos dentro de un polígono simple o entre polígonos adyacentes. Todos los polígonos deben formar una superficie continua. Siempre existirá un error en el perímetro de la superficie. Puede ignorar este error o marcarlo como una excepción. Utilice esta regla en datos que deben cubrir completamente un área (Fig. 3-9)

Figura 3-8. Sobreposición de polígonos



Fuente: Génesis, 2013

Figura 3-9. Huecos entre polígonos



Fuente: Génesis, 2013

c) Rasterización de la información

Rasterizar la información implica tomar la información vector y usando alguna de las herramientas de ArcGIS convertirla en información raster (imágenes), esto dado que las modelos de geoprocesamiento realizan todos sus análisis a partir de información raster.

Como se observa en la tabla 3-3, la mayoría de la información disponible es tipo vector, por tal motivo, debe ser rasterizada, ya sea en ráster continuo y/o discreto.

En la tabla 3-4 se listan algunos de los procedimientos previos que se realizaron en la conversión de "*Vector to Raster*" para la información disponible tipo vector.

Tabla 3-4. Procedimientos para convertir a raster

Factor / Variable	Procedimiento
Parcelas de monitoreo	Buffer de 10 m
Zonas operativas	Buffer de 10 m
Patrimonio arqueológico	Se extrajeron los puntos que quedaban dentro del área de los embalses. Se realizó buffer de 10 m
Tenedores irregulares Porce III	Buffer de 10 m
Calidad agua Porce II y III	Se utilizó la herramienta IDW (de Spatial Analyst) descartando aquellos puntos de muestreo que tienen valor cero (0) en el atributo SAT_OXIG_A. Se utilizó una distancia de 2500 m, como distancia máxima para el análisis a partir de cada punto de muestreo
Hidrografía	Buffer de 10 m
Vías	Se omitieron vías y puentes que comprometían el área de los embalses. Se realizó buffer de 10 m
Centros poblados	Buffer de 10 m
Equipamientos	Buffer de 10 m

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Desarrollo del análisis

Consiste en la construcción de modelos de geoprocesamiento, a partir de los submodelos de capacidad de acogida y los modelos de la Evaluación Multiobjetivo.

Este análisis se realizó haciendo uso del software ArcGis 10.1 y de la aplicación ModelBuilder, obteniendo como resultado una geodatabase (File Geodatabase), con la siguiente información:

- Un Raster Dataset con la información de entrada rasterizada
- Un Dataset con los features intermedios arrojados en los geoprocesos
- Un Toolbox (.tbx) con los geoprocesos utilizados
- 11 features class con los mapas de capacidad de acogida resultantes para cada uso
- 2 features class con los mapas de mejores usos para zona de protección y embalse

4. Análisis de resultados

El análisis de resultados se realiza a partir de los mapas de capacidad de acogida, resultantes de la aplicación de los modelos lógicos diseñados para cada uno de los usos.

De manera general, se encontraron resultados relevantes en la evaluación de los usos potenciales identificados, que permiten validar los modelos conceptual y lógico diseñados.

A continuación se describen y analizan los resultados encontrados.

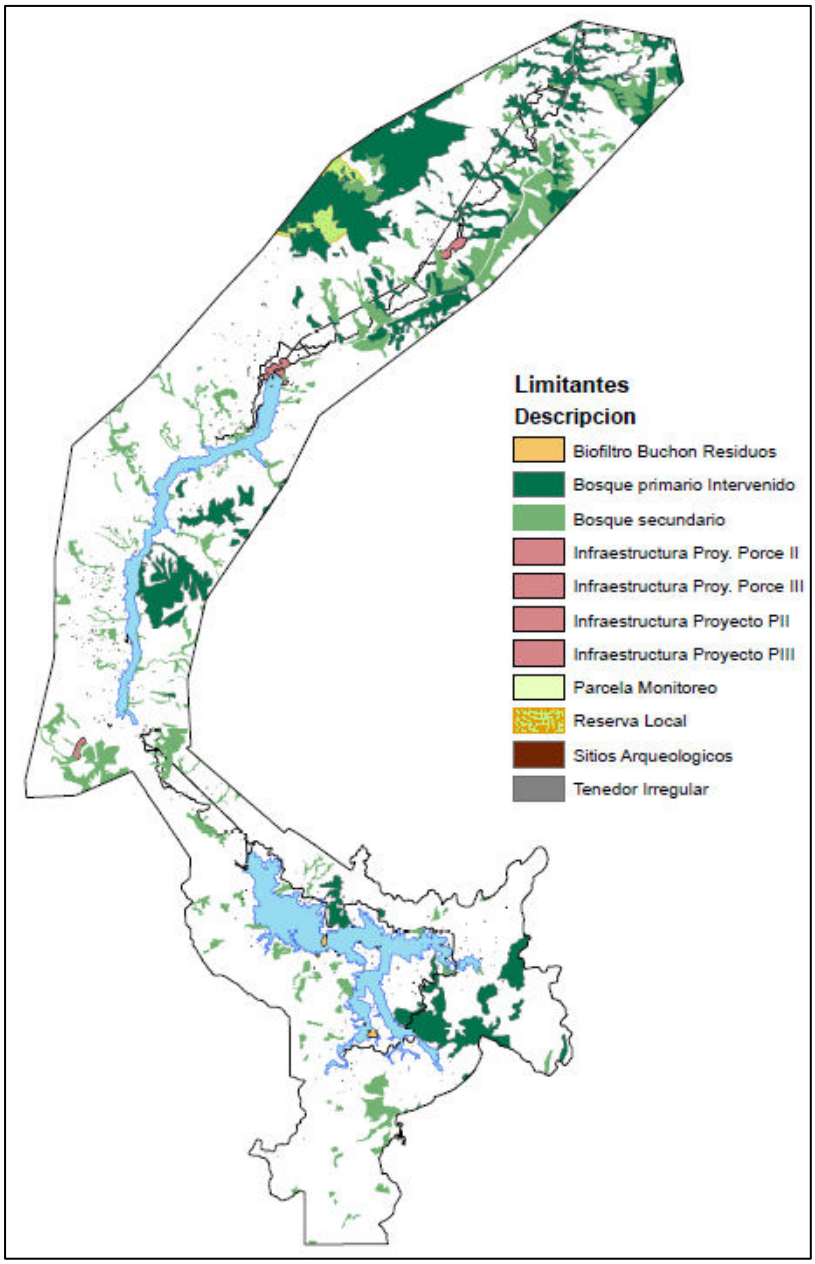
4.1 Resultados para los limitantes

Como se mencionó en el numeral 2.1.3, los limitantes son aquellas áreas de la zona de estudio donde se restringe el uso, debido a justificaciones de tipo ambiental y legal.

En la figura 4-1 se observan los resultados de la aplicación de los criterios para determinar las áreas con restricciones para el análisis. Se tiene entonces un área de limitantes que suman 5.154,85 ha, correspondientes al 23% del área total inicial de estudio (22.478 ha)

Los resultados obtenidos con la aplicación de los criterios son satisfactorios y ajustados a la realidad.

Figura 4-1. Limitantes



Fuente: Elaboración propia

4.2 Resultados para la categoría de turismo

En esta categoría se encuentran los usos de senderismo, camping y ciclomontañismo/cabalgatas. En la tabla 4-1, se encuentran los resultados de la capacidad de acogida para cada uno de estos usos.

Tabla 4-1. Capacidad de acogida usos categoría turismo

Capacidad de acogida	SENDERISMO		CAMPING		CICLOM. / CABALGATAS	
	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total
A (EIA)	137,37	0,65	212,25	1,00	181,63	0,86
A (EIA+VTE)	158,99	0,75	5170,69	24,45	5401,38	25,54
A (VTE)	7586,71	35,88	7194,60	34,02	512,63	2,42
DES	7626,82	36,07	1937,07	9,16	5657,91	26,76
NP	5195,52	24,57	6203,44	29,34	9392,54	44,42
SL	440,35	2,08	428,30	2,03	0,73	0,00

Fuente: Elaboración propia

Las áreas donde el uso es No Permitido (NP) corresponden a las áreas de los limitantes, más las áreas donde el análisis multicriterio lo determina. Por lo tanto, el uso con menores áreas con esta categoría es senderismo, en el cual se tienen aproximadamente 44 hectáreas adicionales a las limitantes, donde el uso no se permite. Por el contrario, el uso de ciclomontañismo y cabalgatas tiene aproximadamente 4.238 hectáreas adicionales a las limitantes.

De otro lado, el uso Sin Limitaciones (SL), se presenta en un 2% del área de estudio para los usos senderismo y camping; mientras que para ciclomontañismo y cabalgatas no se tiene esta categoría.

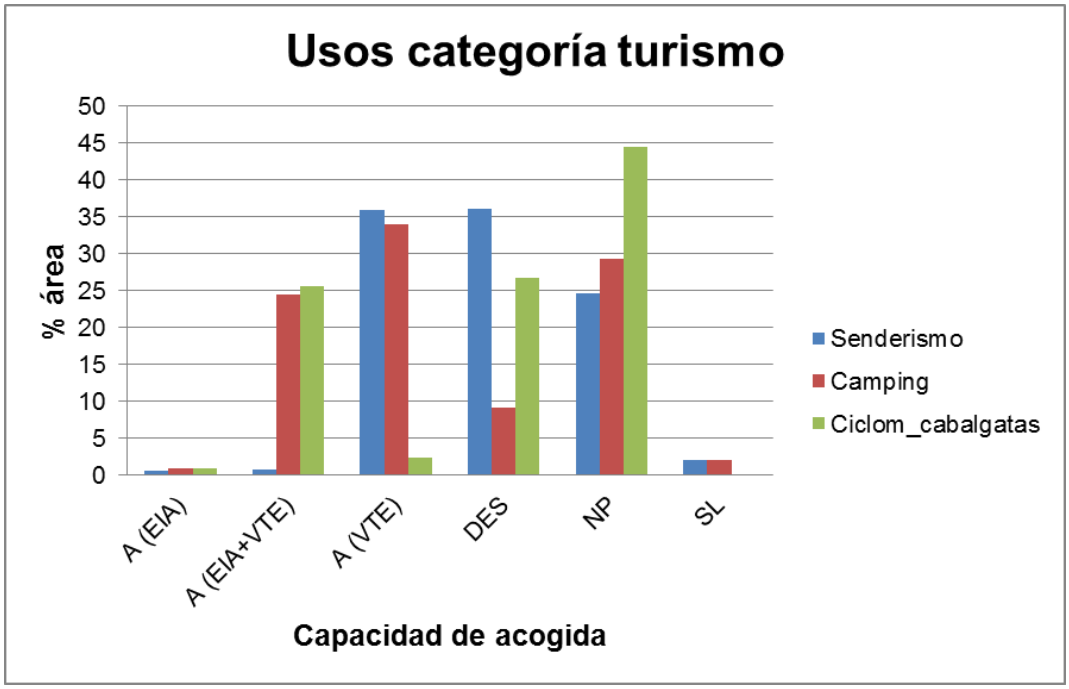
Por su parte, los usos aptos previa viabilidad ambiental y/o técnico-económica, se presentan en mayor proporción, en el uso camping (59%), seguido de senderismo (37%) y en menor proporción en ciclomontañismo y cabalgatas (28%).

En la figura 4-2 se presentan los resultados de los 3 usos para comparar aquellos en los que predomina cada una de las categorías de capacidad de acogida.

Como se puede inferir de la figura 4-2, el uso senderismo es el de menor porcentaje en cuanto a áreas aptas previa evaluación ambiental (A (EIA)) y ambiental/técnico-económica (A (EIA+VTE)), mientras que es el de mayor proporción para áreas aptas previa evaluación técnico-económica (A (VTE)), por lo que se puede decir, que las limitaciones para el uso de senderismo obedecen a factores socio-económicos.

Respecto a las áreas donde se desaconseja el uso (DES), el de menor proporción es camping y en las áreas donde no se permite el uso (NP), el de menor proporción es senderismo.
En términos generales el uso menos recomendado, es decir con mayores restricciones ambientales y técnico-económicas y mayores áreas con categoría DES y NP es ciclomontañismo y cabalgatas.

Figura 4-2. Comparativo capacidad de acogida usos categoría turismo



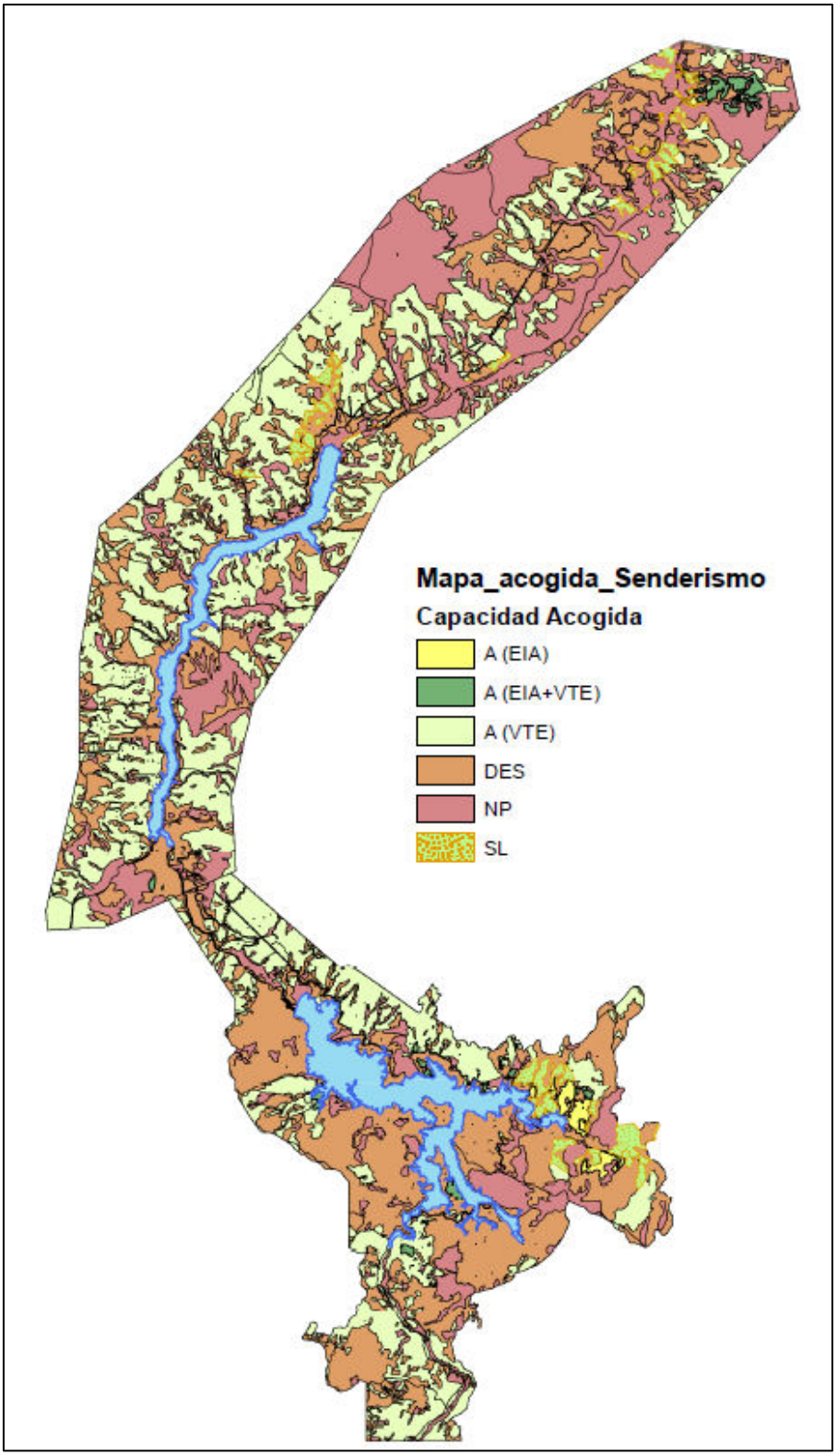
Fuente: Elaboración propia

Los resultados del modelo cartográfico para cada uno de estos usos, se encuentran en las figuras 4-3, 4-4 y 4-5.

Se observa en la figura 4-3, que el uso de senderismo alrededor del embalse Porce II es factible en la margen derecha, donde se tiene cierta continuidad en áreas con categoría A (VTE); sin embargo, es necesario analizar aquellos fragmentos del territorio en los que el uso se desaconseja (DES); así mismo, en los alrededores de la quebrada La Cancana se encuentran áreas con uso sin limitaciones (SL), que valdría la pena analizar en detalle para encontrar posibilidades de uso en el corto plazo. En la margen izquierda del embalse y aguas arriba de la cola del embalse, se encuentran algunos parches con categoría A (VTE) que permitirían el uso en núcleos.

Por su parte, en la zona de influencia del embalse Porce III, las áreas de uso sin limitaciones (SL) se encuentran aguas debajo de la presa, que igualmente se sugiere analizar en detalle para definir posibilidades en el corto plazo, especialmente en las áreas cercanas a la presa, ya que las otras áreas se encuentran muy distantes del embalse. En ambas márgenes del embalse las áreas con categoría A (VTE) se encuentran fragmentadas, lo que requiere de un análisis detallado para encontrar posibles rutas, que pueden ser lineales o nucleadas.

Figura 4-3. Capacidad de acogida senderismo



Fuente: Elaboración propia

Las zonas aptas con categoría A (EIA) y A (EIA+VTE) son muy pocas y dispersas; no obstante, en el caso de la zona de influencia del embalse Porce II, están adyacentes a las zonas sin limitaciones, por lo cual se recomienda analizar las acciones a emprender para adicionarlas a las zonas de uso sin limitaciones.

De otro lado, en la figura 4-4 se tienen los resultados para la capacidad de acogida para camping. Por lo general este uso es preferido en cercanía a los embalses, por lo cual el análisis se hará en este sentido.

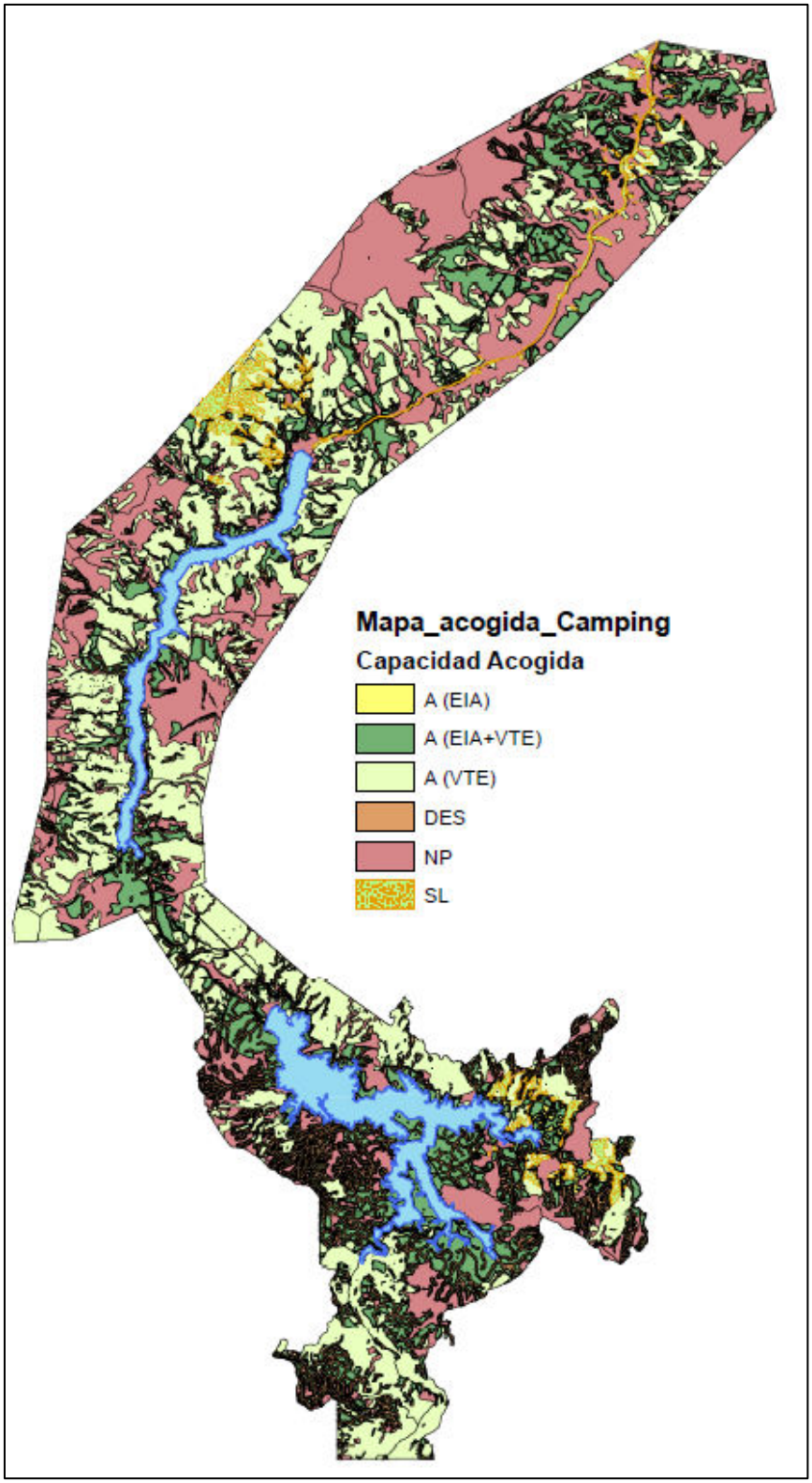
Se encuentra que en una gran parte del perímetro de los embalses, se desaconseja el uso (DES) en una franja de 10 m; así como en una franja de 40 m alrededor de algunas fuentes de agua. Las áreas de uso sin limitaciones (SL), por lo general se encuentran alejadas de las orillas del embalse y dispersas, alrededor de algunas fuentes de agua. Se recomienda analizar con detalle dichas áreas para identificar posibilidades de uso en el corto plazo.

En las áreas más cercanas a los embalses predominan las áreas con categoría A (EIA+VTE) y algunas con categoría A (VTE), por lo cual se recomienda que primero se analice la viabilidad de las áreas A (VTE), cuyos limitantes están asociados a factores socio-económicos.

Para el caso de la zona de influencia del embalse Porce III las posibilidades de este uso pueden ser en ambas márgenes, mientras que para la zona de influencia del embalse Porce II hay mayores posibilidades en la margen derecha.

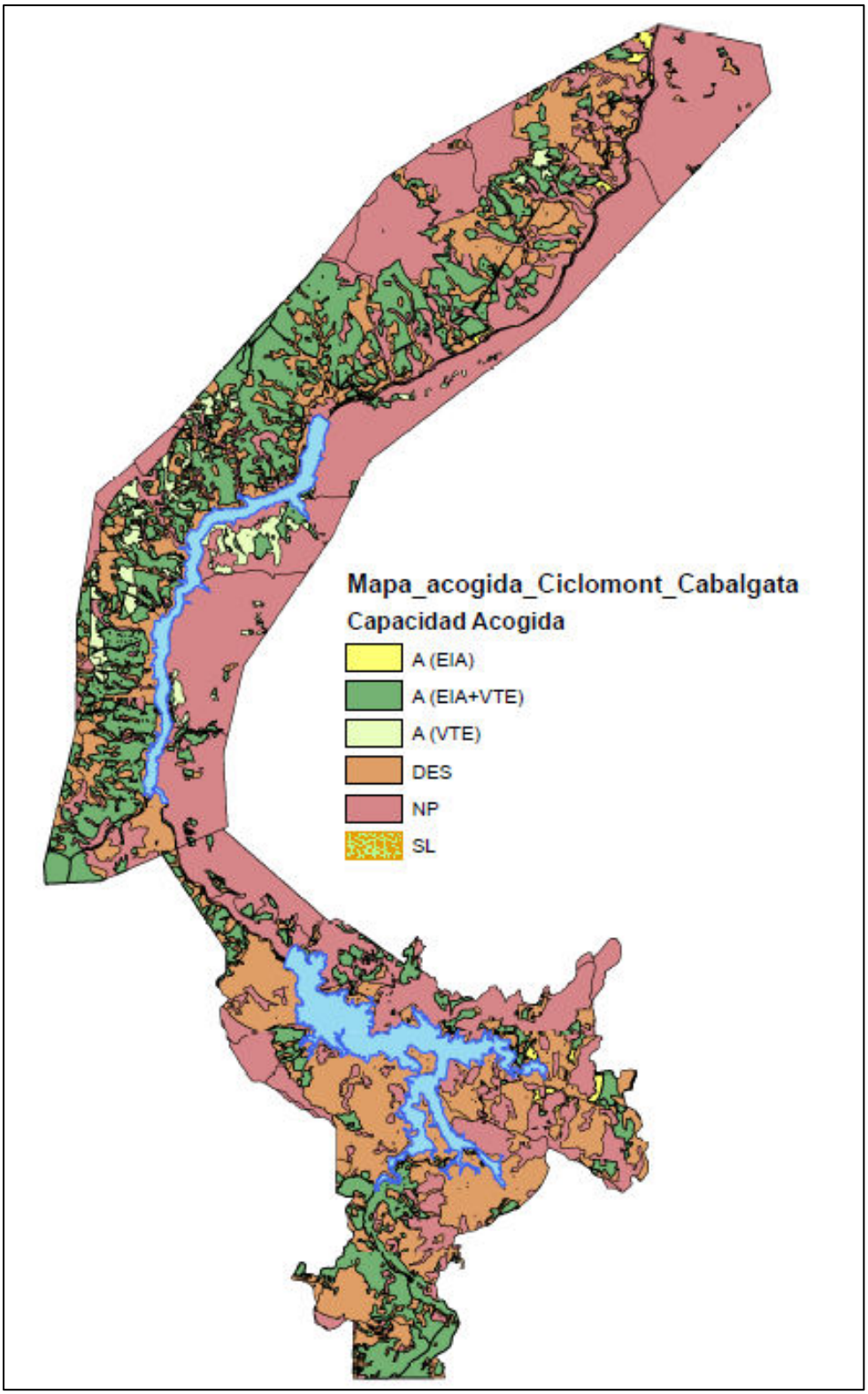
Puede observarse en la figura 4-5 que predominan las áreas donde el uso se desaconseja (DES) y no se permite (NP). En las zonas con aptitud restringida, predominan las de categoría A (EIA+VTE), por lo cual, los análisis de factibilidad de este uso deben ser muy detallados, ya que los limitantes más representativos son factores ambientales y se pueden tener impactos sobre la función protectora de estas áreas alrededor de los embalses.

Figura 4-4. Capacidad de acogida camping



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-5. Capacidad de acogida ciclomontañismo/cabalgatas



Fuente: Elaboración propia

4.3 Resultados del análisis de mejor uso para la zona de protección

Como se indicó en el modelo conceptual, a partir de un análisis multiobjetivo se determinaría el mejor uso. En la tabla 4-2 se presentan los resultados encontrados para los 3 usos evaluados en las zonas de protección.

Tabla 4-2. Mejor uso en zonas de protección

Uso	Área (ha)	% Área Total
Senderismo	8149,33	38,54
Camping	5462,66	25,83
Ciclomontañismo / Cabalgatas	181,15	0,86
No se permite ningún uso adicional a la protección	7354,30	34,78

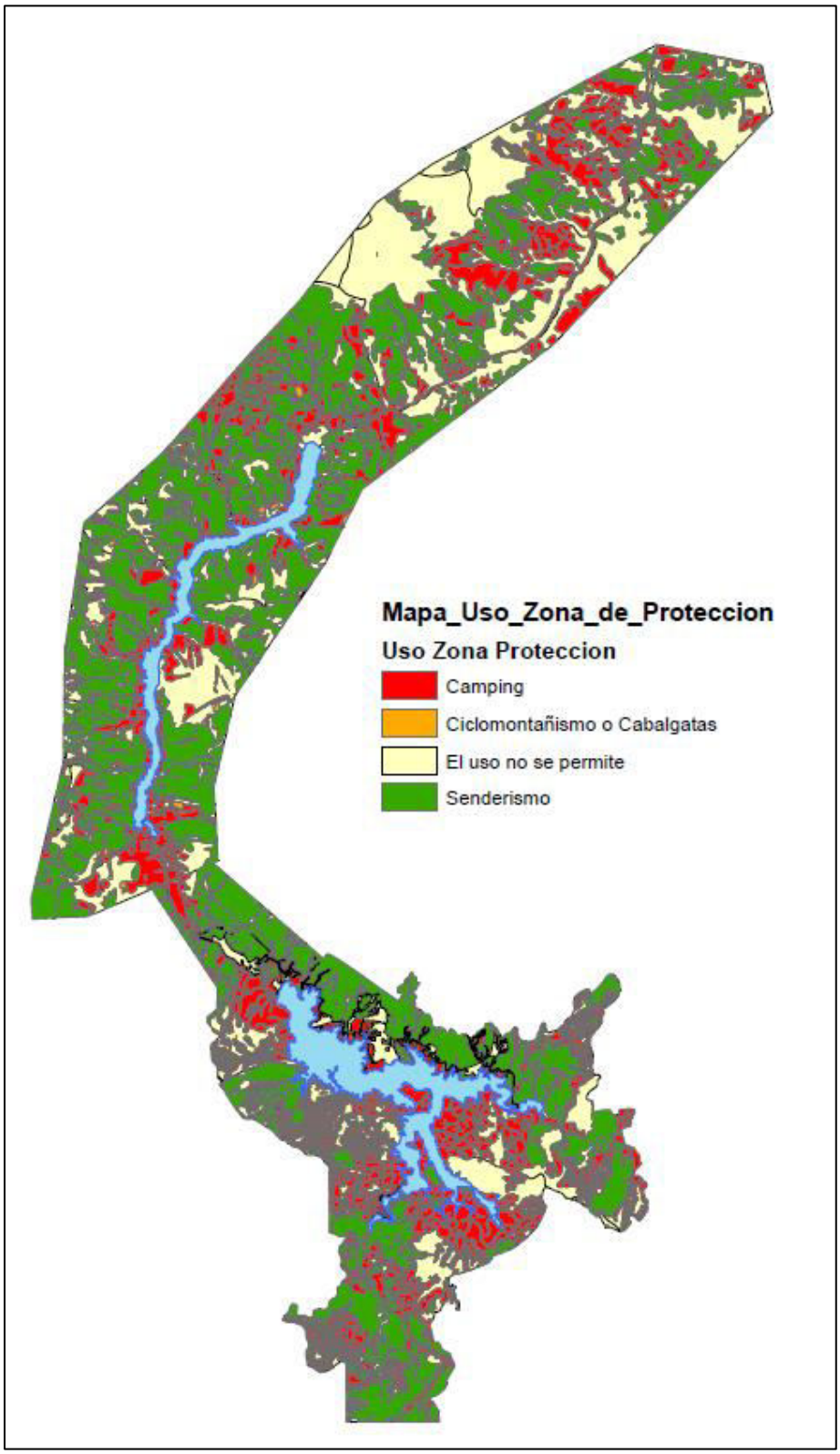
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo presentado en la tabla 4-2, se tiene que predomina como mejor uso el senderismo, seguido de las áreas donde no se permite ningún uso, posteriormente está el camping y de manera insignificante áreas para ciclomontañismo o cabalgatas.

En la figura 4-6 se presenta el mapa con los resultados, encontrando que en inmediaciones de los embalses predomina como mejor uso el camping, a partir de 10 m de la orilla.

Las áreas donde no se permite ningún uso, corresponden, además de los limitantes, a las franjas de retiro de algunas fuentes de agua y unos cuantos polígonos.

Figura 4-6. Mejor uso zonas de protección



Fuente: Elaboración propia

4.4 Resultados para la categoría de pesca

Teniendo presente que los criterios para pesca recreativa son los mismos que para pesca deportiva, pesca artesanal y acuicultura, se incluirá este uso en el análisis de esta categoría.

En las tablas 4-3 y 4-4 se presentan los resultados para los embalses Porce II y Porce III, respectivamente.

Tabla 4-3. Capacidad de acogida usos categoría pesca embalse Porce II

Capacidad de acogida	P. RECREATIVA		P. ARTESANAL		P. DEPORTIVA		ACUICULTURA	
	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total
A (EIA)							107,54	12,16
A (EIA+VTE)							742,93	83,99
A (VTE)	586,70	66,38	560,73	63,39	670,05	75,75		
DES								
NP	21,99	2,49	224,25	25,35	113,23	12,80	33,80	3,82
SL	275,21	31,14	99,56	11,26	101,07	11,43		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-4. Capacidad de acogida usos categoría pesca embalse Porce III

Capacidad de acogida	P. RECREATIVA		P. ARTESANAL		P. DEPORTIVA		ACUICULTURA	
	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total
A (EIA)							96,41	21,61
A (EIA+VTE)							345,37	77,43
A (VTE)	240,49	53,94	320,97	71,95	345,12	77,37		
DES								
NP	1,57	0,35	28,69	6,43	4,51	1,01	4,26	0,95
SL	203,77	45,71	96,41	21,61	96,41	21,61		

Fuente: Elaboración propia

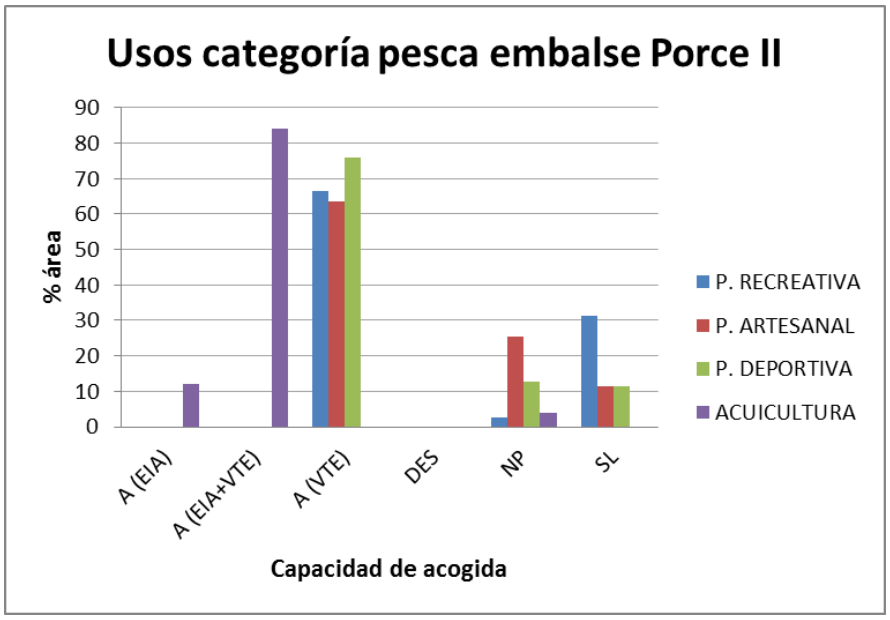
Como se describe en las tablas 4-3 y 4-4, la acuicultura es el único uso de esta categoría que tiene viabilidad condicionada especialmente por factores ambientales, mientras que los otros usos tienen viabilidad que depende de factores técnico-económicos solamente.

Ninguno de estos usos se desaconseja, pero la acuicultura es el único que no tiene áreas sin limitaciones.

Predominan las áreas donde el uso es apto con restricciones técnico-económicas, seguidas de las áreas donde el uso puede realizarse sin limitaciones, excepto para acuicultura, donde no hay áreas sin limitaciones.

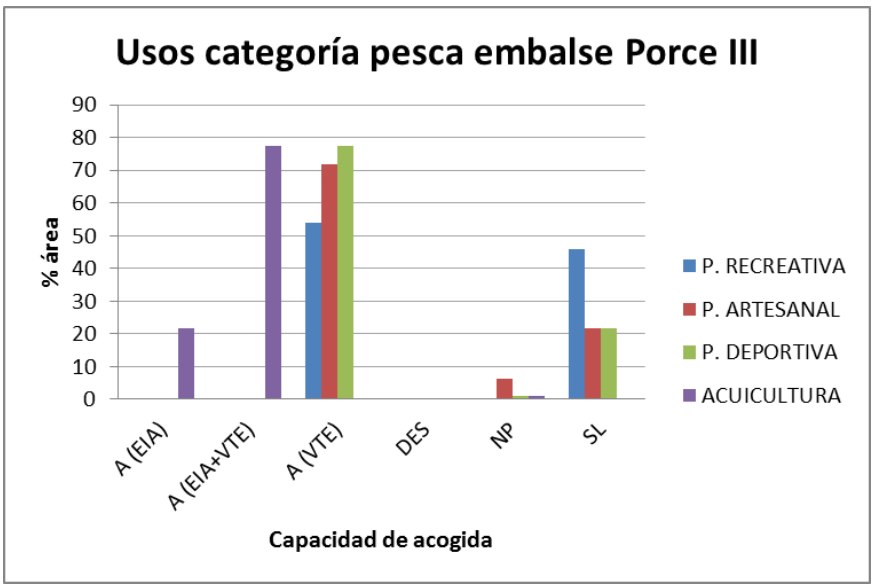
En las figura 4-7 y 4-8 se presentan los resultados de los 4 usos, en cada embalse, para comparar aquellos en los que predomina cada una de las categorías de capacidad de acogida.

Figura 4-7. Comparativo capacidad de acogida usos categoría pesca embalse Porce II



Fuente: Elaboración propia

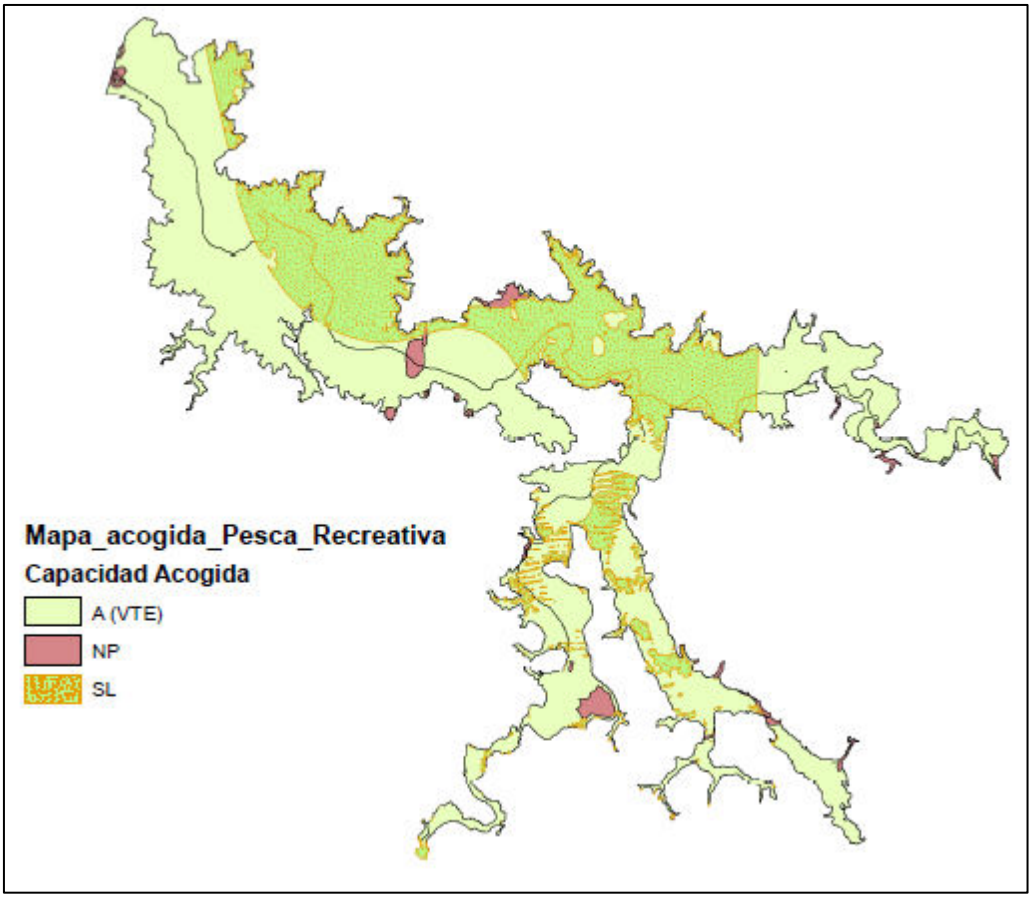
Figura 4-8. Comparativo capacidad de acogida usos categoría pesca embalse Porce III



Según lo presentado en las figuras 4-7 y 4-8, por lo general los 4 usos se comportan de manera similar en los dos embalses. El porcentaje de área con viabilidad con restricciones técnico-económicas es similar para los usos de pesca recreativa, artesanal y deportiva. La pesca artesanal presenta el mayor porcentaje de áreas donde no se permite el uso, pero aún así es inferior al 30% del área del embalse y la pesca recreativa es la que mayor área tiene para realizar el uso sin limitaciones.

Los resultados del modelo cartográfico para cada uno de estos usos, se encuentran en las figuras 4-9 a 4-16.

Figura 4-9. Capacidad de acogida pesca recreativa embalse Porce II

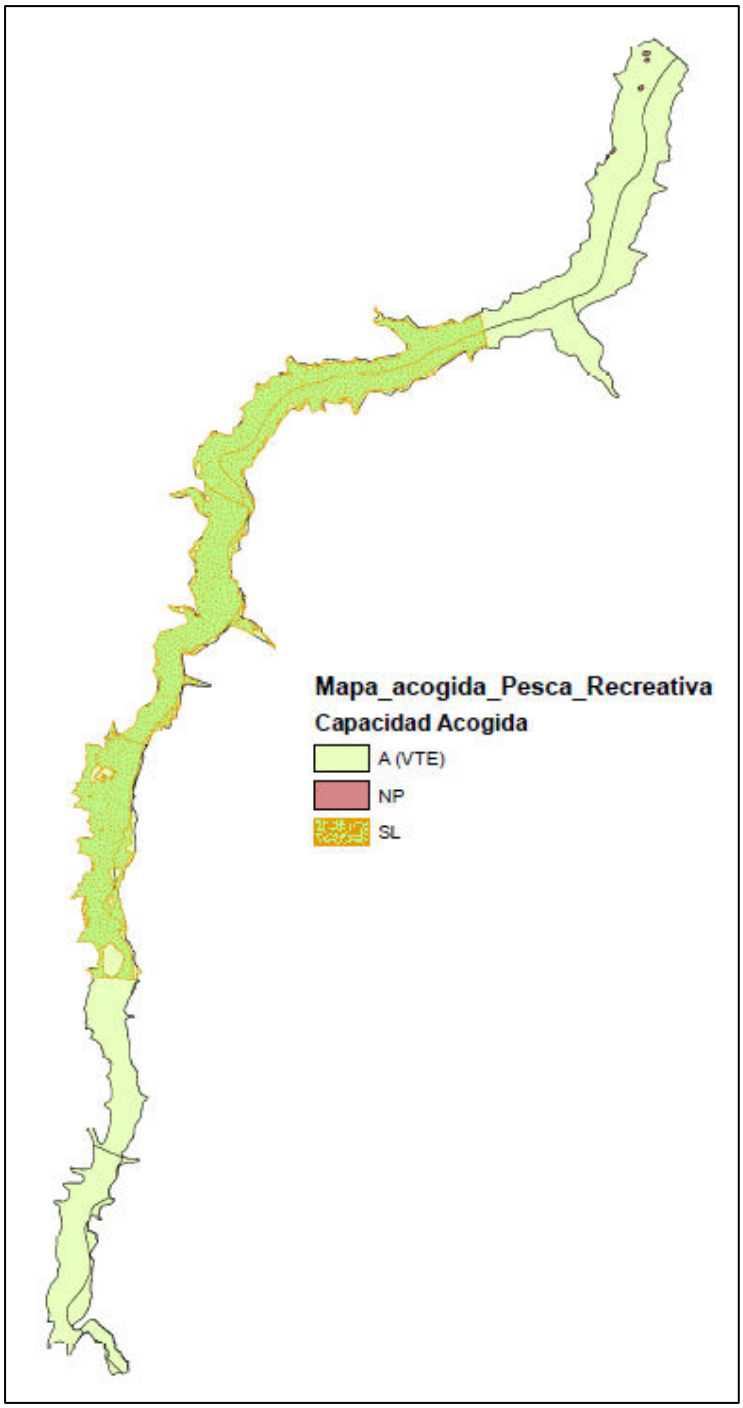


Fuente: Elaboración propia

Según lo observado en la figura 4-9, la pesca recreativa en el embalse Porce II se puede realizar sin limitaciones, especialmente en la margen derecha del embalse, por el cuerpo principal, lo cual es muy adecuado teniendo presente que en esta margen se encuentra la vía que conduce hacia Amalfi. Las áreas donde el uso es posible en los brazos del río Porce y quebrada Guaduas pueden tener mayor dificultad por la carencia de accesos desde la vía principal.

Las áreas donde no se permite el uso, son especialmente las limitantes y algunos recodos del embalse.

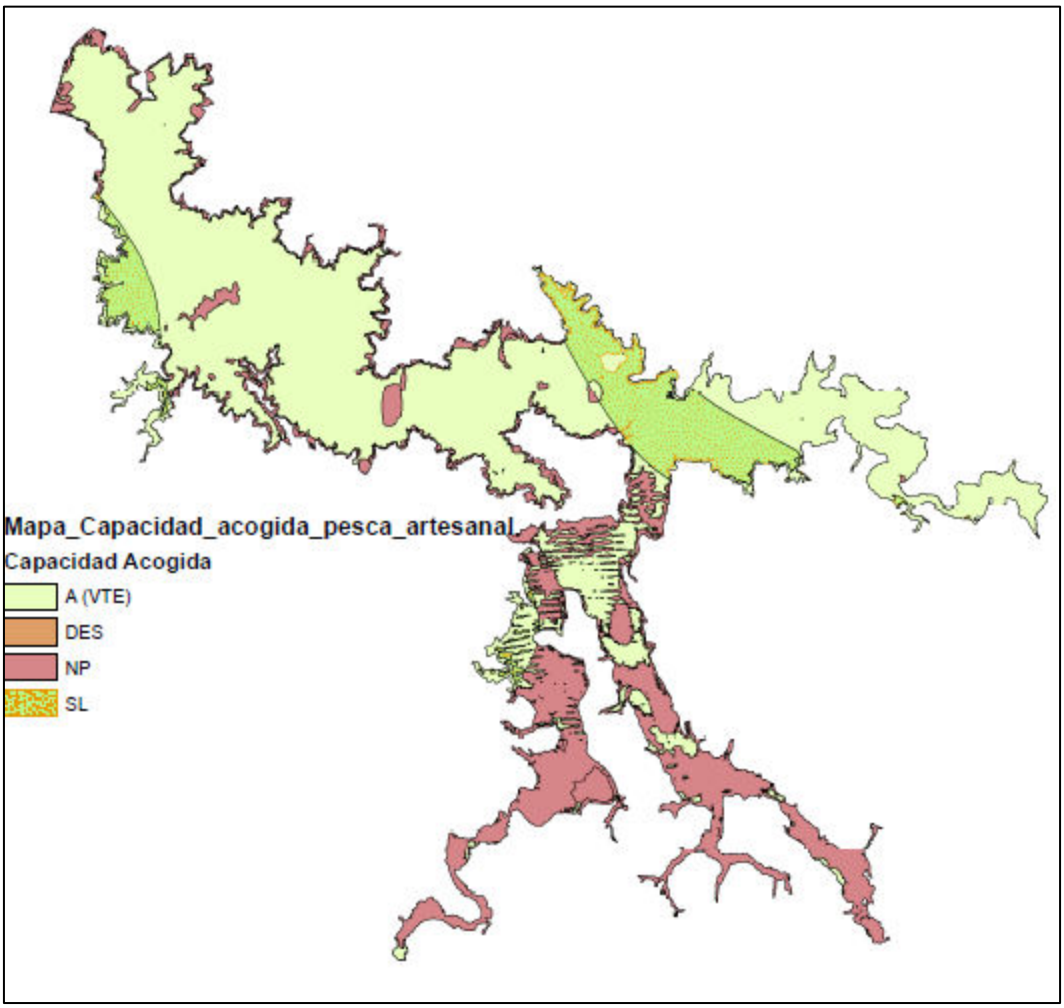
Figura 4-10. Capacidad de acogida pesca recreativa embalse Porce III



Fuente: Elaboración propia

La figura 4-10 evidencia que para el caso del embalse Porce III, la pesca recreativa puede realizarse sin limitaciones en la parte central del embalse y las únicas áreas donde no se permiten son las que corresponden a las limitantes.

Figura 4-11. Capacidad de acogida pesca artesanal embalse Porce II

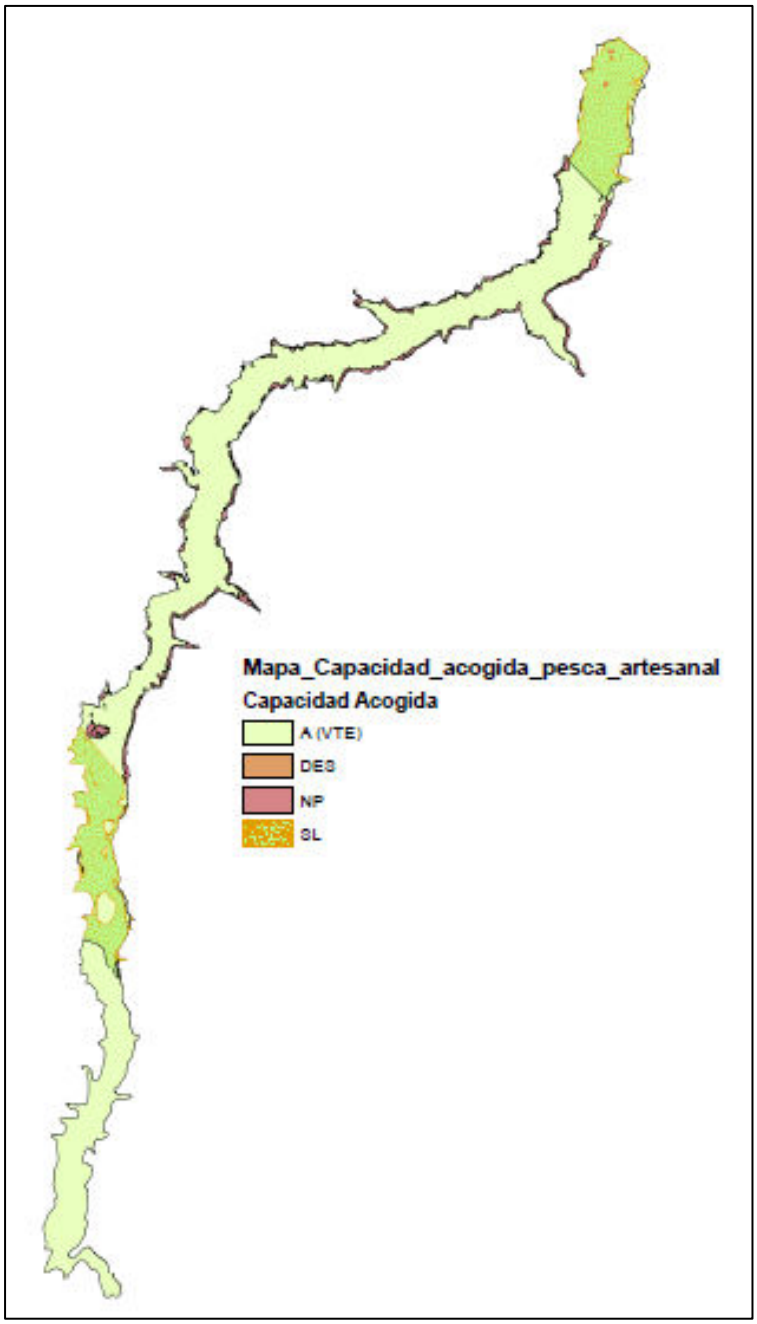


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo presentado en la figura 4-11, en el embalse Porce II no se permitiría la pesca artesanal en los brazos de Guaduas y río Porce y en cercanía a las orillas en la parte central del espejo de agua. Las zonas sin limitaciones para el uso se encuentran sectorizadas y predominan las áreas donde el uso tiene restricciones por factores técnico-económicos.

Es importante resaltar que especialmente en el brazo de la quebrada Guaduas hay un número significativo de pescadores artesanales, por tanto es importante evaluar cuáles de los factores de análisis están generando dicha restricción, lo cual permitirá tomar decisiones en el marco del proceso de ordenación pesquera que actualmente se realiza en este embalse.

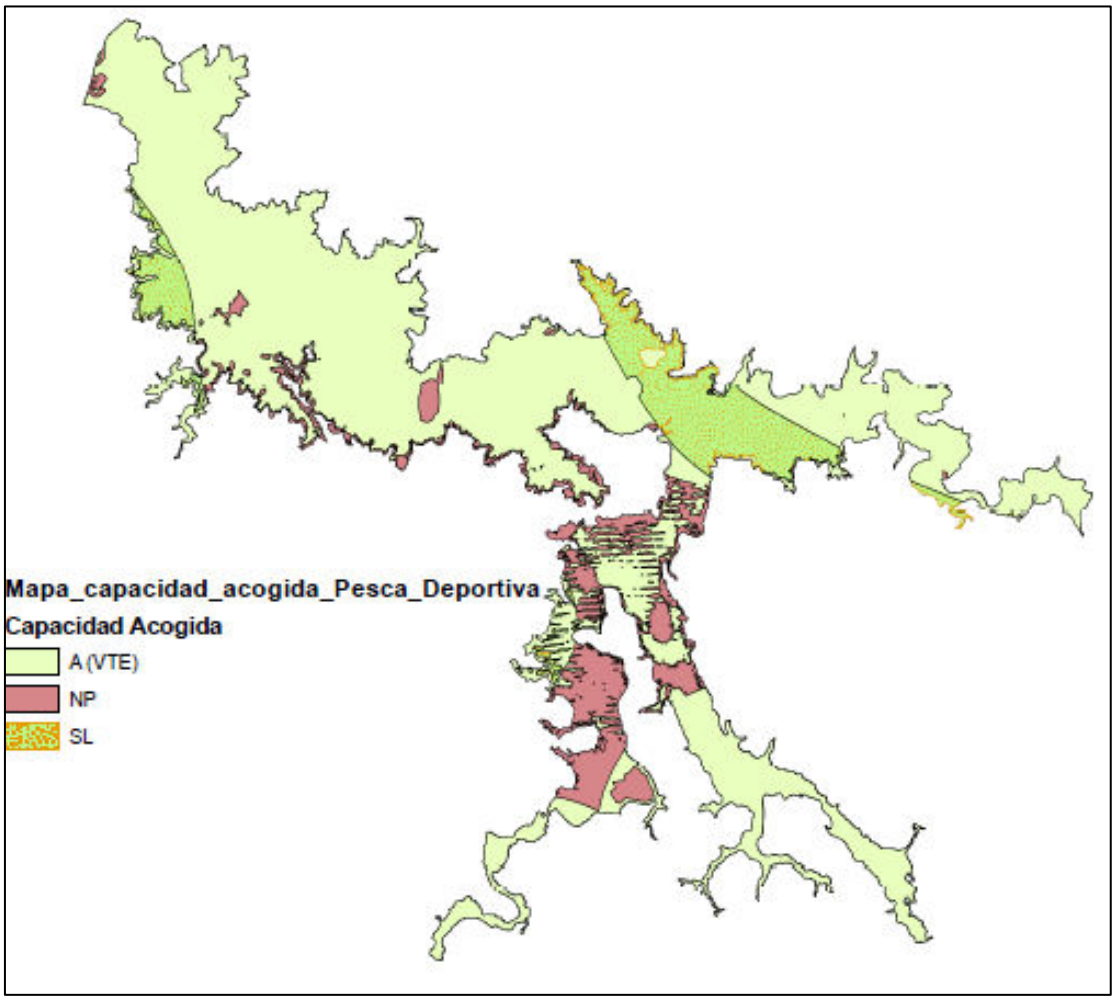
Figura 4-12. Capacidad de acogida pesca artesanal embalse Porce III



Fuente: Elaboración propia

Para el caso del embalse Porce III, las áreas de pesca artesanal sin limitaciones se encuentran en dos tramos del embalse y las áreas donde no se permite se localizan especialmente muy cerca de las orillas del embalse

Figura 4-13. Capacidad de acogida pesca deportiva embalse Porce II

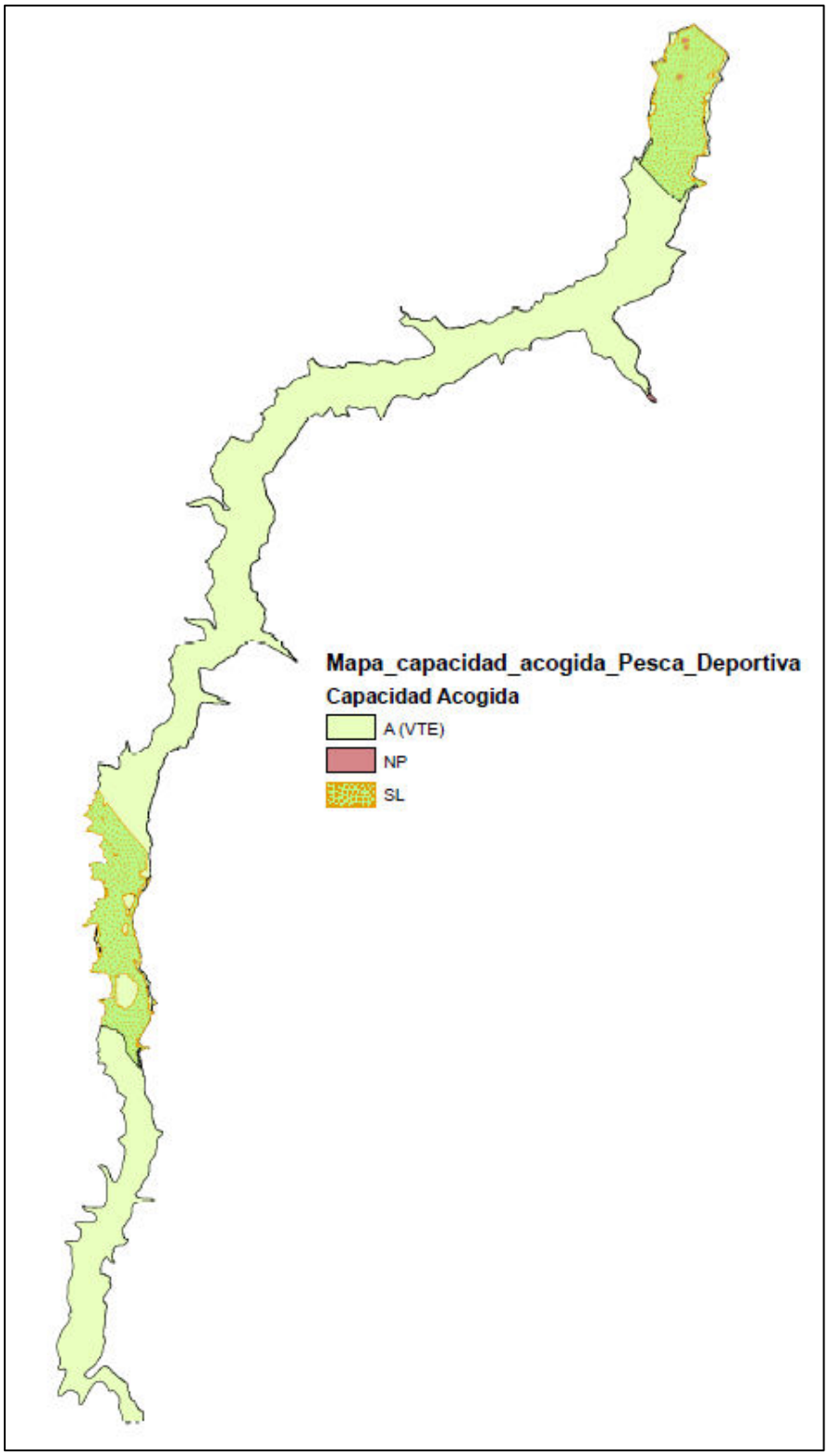


Fuente: Elaboración propia

Respecto a la pesca deportiva en el embalse Porce II, se tiene que es viable sin limitaciones en los mismos sectores que para el caso de la pesca artesanal. Las áreas donde no se permiten están localizadas especialmente en el brazo del río Porce, parte del brazo de la quebrada Guaduas y en zonas cercanas a las orillas en la margen izquierda; sin embargo, estas zonas son de difícil acceso, por lo que igualmente no sería viable un desarrollo turístico.

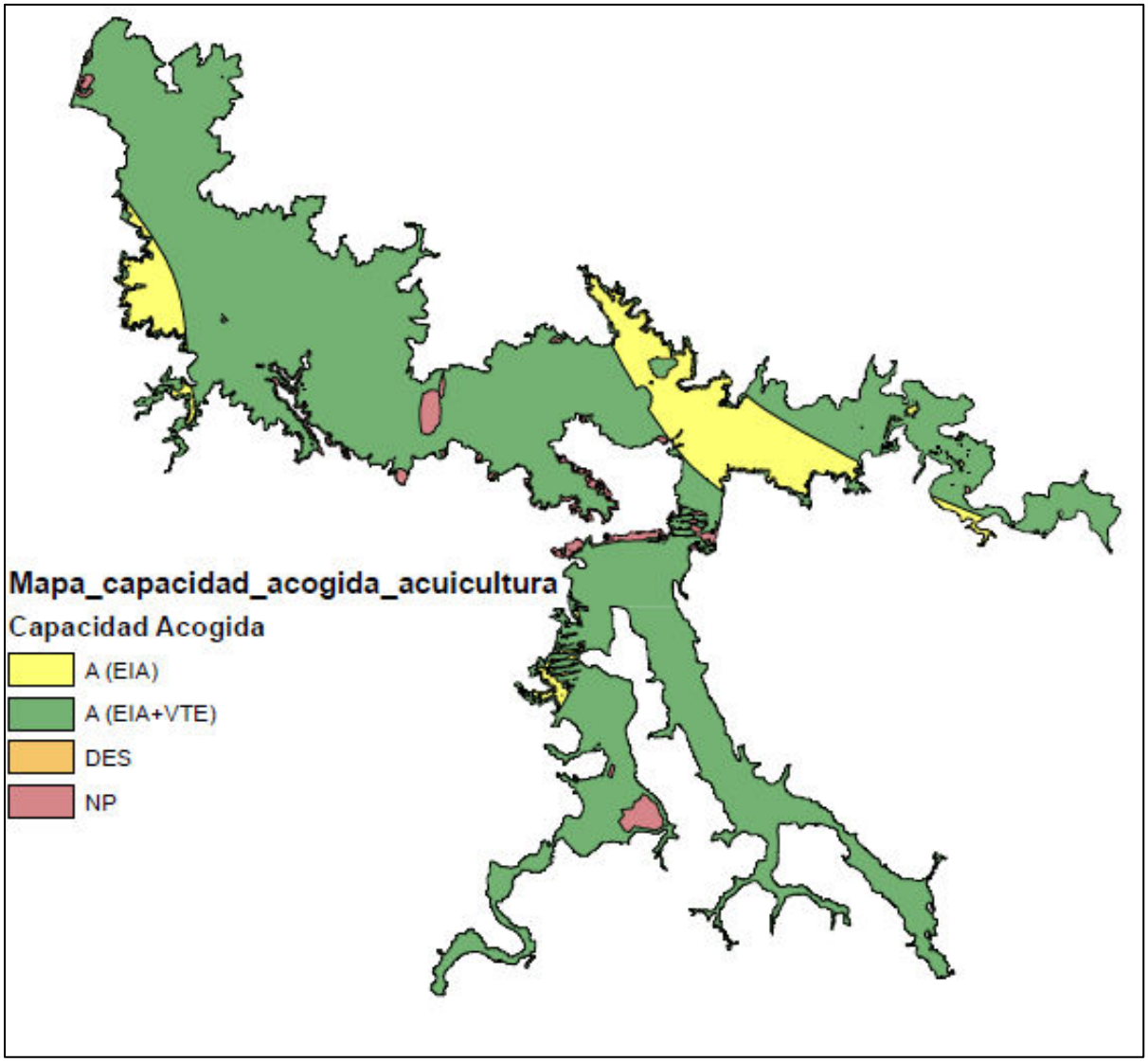
Los resultados para la pesca deportiva en el embalse Porce III (Fig. 4-14), indican que las zonas donde el uso puede realizarse sin limitaciones son las mismas para la pesca artesanal y las zonas donde el uso no se permite es tan pequeña que a la escala de la figura no se evidencia dónde están.

Figura 4-14. Capacidad de acogida pesca deportiva embalse Porce III



Fuente: Elaboración propia

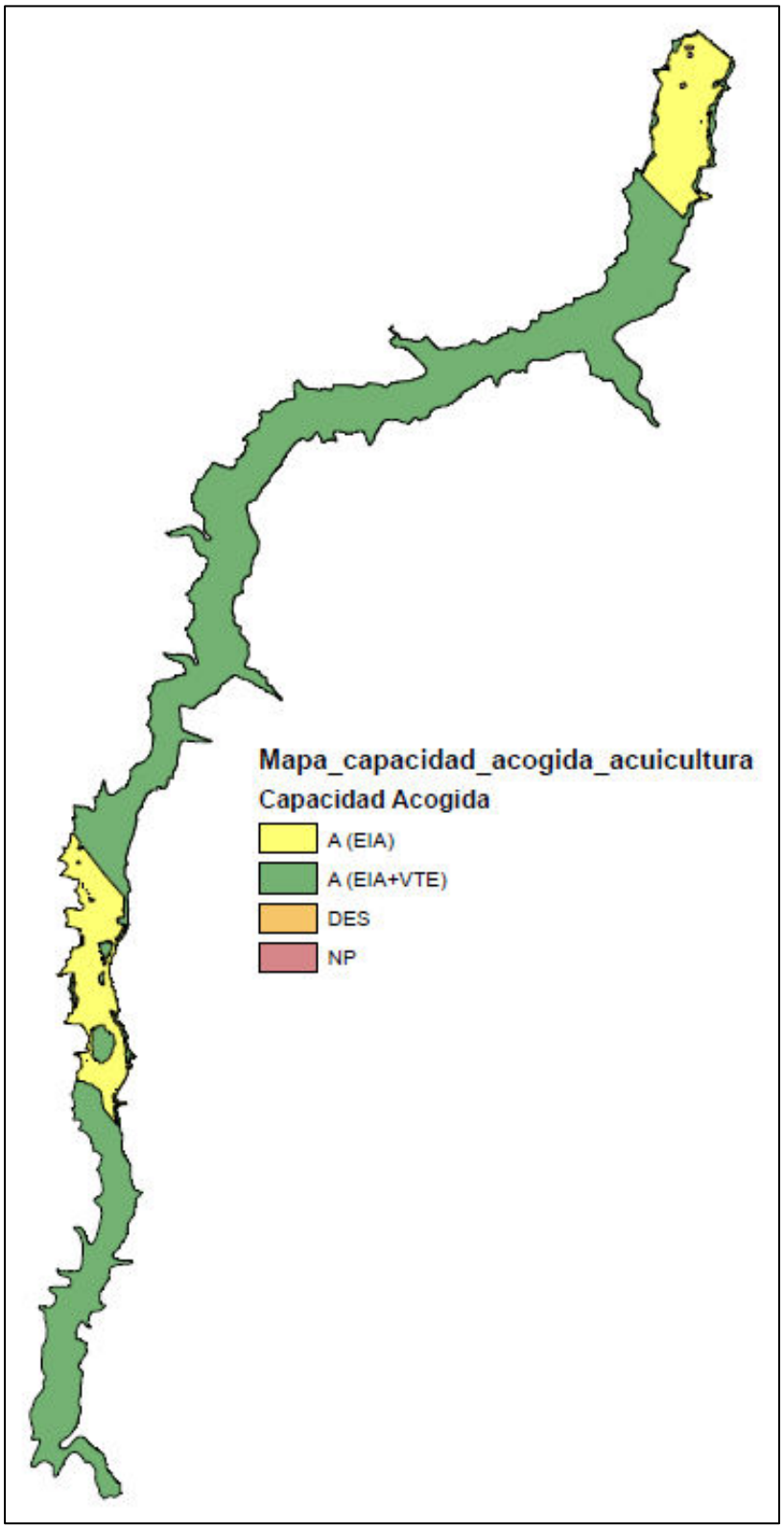
Figura 4-15. Capacidad de acogida acuicultura embalse Porce II



Fuente: Elaboración propia

La figura 4-15, evidencia que en las zonas donde los otros usos de pesca podían realizarse sin limitaciones, para acuicultura tienen restricciones ambientales. Las áreas donde el uso no se permite son generalmente las limitantes y en general se presentan restricciones en todo el cuerpo de agua, por factores ambientales predominantemente y en menor proporción por factores técnico-económicos.

Figura 4-16. Capacidad de acogida acuicultura embalse Porce III



Fuente: Elaboración propia

Para el caso del embalse Porce III (Fig. 4-16), la acuicultura tiene restricciones ambientales en las zonas donde los otros usos de pesca pueden realizarse sin limitaciones y en el resto del embalse, donde por lo general, en los otros usos la restricción de debía a factores técnico-económicos, en este se deben a factores ambientales también.

4.5 Resultados para la categoría de navegación

Teniendo presente que los criterios para navegación recreativa son los mismos que para navegación deportiva y navegación comercial, se incluirá este uso en el análisis de esta categoría.

En las tablas 4-5 y 4-6 se presentan los resultados para los embalses Porce II y Porce III, respectivamente.

Tabla 4-5. Capacidad de acogida usos categoría navegación embalse Porce II

Capacidad de acogida	N. RECREATIVA		N. COMERCIAL		N. DEPORTIVA	
	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total
A (EIA)	107,66	12,17	325,76	36,83	89,48	10,12
A (EIA+VTE)	530,33	59,96	308,83	34,92	505,77	57,18
A (VTE)	207,54	23,46	201,76	22,81	171,23	19,36
DES						
NP	30,45	3,44	37,17	4,20	113,22	12,80
SL	8,52	0,96	10,68	1,21	4,66	0,53

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-6. Capacidad de acogida usos categoría navegación embalse Porce III

Capacidad de acogida	N. RECREATIVA		N. COMERCIAL		N. DEPORTIVA	
	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total
A (EIA)	116,86	26,19	276,87	62,06	80,06	17,94
A (EIA+VTE)	238,76	53,52	73,93	16,57	272,77	61,14
A (VTE)	72,07	16,15	22,71	5,09	79,19	17,75
DES						
NP	1,19	0,27	6,95	1,56	4,51	1,01
SL	17,26	3,87	65,53	14,69	9,52	2,13

Fuente: Elaboración propia

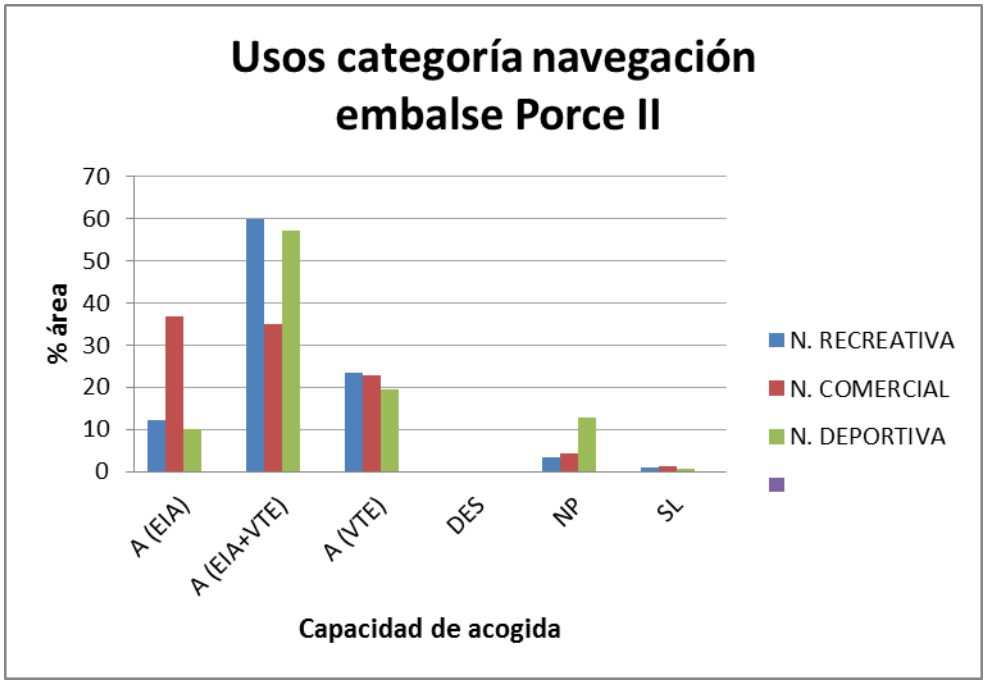
Como se describe en las tablas 4-5 y 4-6, ninguno de estos usos se desaconseja y los porcentajes de áreas donde no se permiten los usos son muy bajos. Igualmente, el uso sin limitaciones está en bajos porcentajes.

Predominan las áreas donde el uso es apto con restricciones ambientales y con restricciones ambientales y técnico-económicas.

En las figura 4-17 y 4-18 se presentan los resultados de los 3 usos, en cada embalse, para comparar aquellos en los que predomina cada una de las categorías de capacidad de acogida.

Según lo presentado en las figuras 4-17 y 4-18, por lo general los 3 usos se comportan de manera similar en los dos embalses. El uso con mayores restricciones ambientales es la navegación comercial, pero igualmente es el uso con mayor porcentaje de áreas con uso sin limitaciones, aunque éstas no alcanzan el 20% en el caso del embalse Porce III donde obtuvo un valor más alto.

Figura 4-17. Comparativo capacidad de acogida usos categoría navegación embalse Porce II

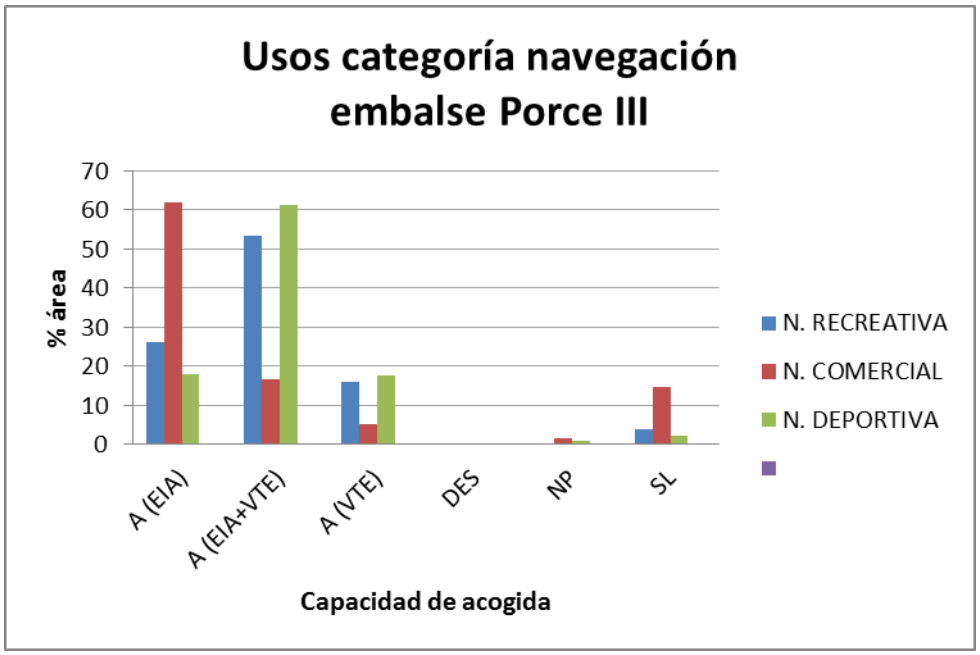


Fuente: Elaboración propia

La navegación recreativa y deportiva son las que presentan mayores restricciones por factores ambientales y técnico-económicos.

En el caso de restricciones sólo por factores técnico-económicos, se presentan situaciones diferentes en ambos embalses. En Porce II los valores son muy cercanos, siendo el más bajo para la navegación deportiva, mientras que en Porce III el valor más bajo es para la navegación comercial.

Figura 4-18. Comparativo capacidad de acogida usos categoría navegación embalse Porce III



Fuente: Elaboración propia

Igualmente, en las áreas donde el uso no es permitido, la navegación deportiva obtuvo el mayor valor en el embalse Porce II, y en Porce III fue para la navegación comercial, aunque con valores que no superan el 3%.

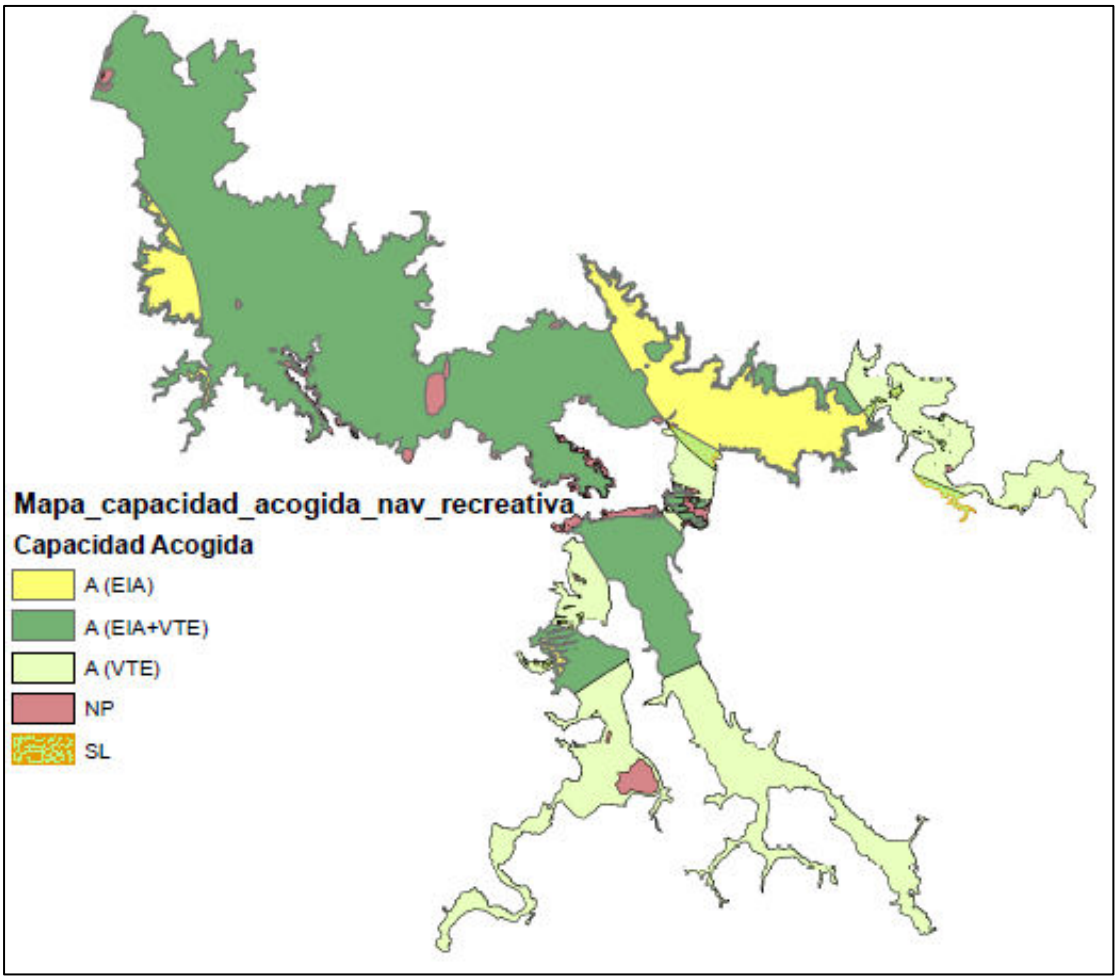
Los resultados del modelo cartográfico para cada uno de estos usos, se encuentran en las figuras 4-19 a 4-24.

En la figura 4-19 se observa en los sectores donde por lo general los usos de la categoría de pesca podían realizarse sin limitaciones, en el caso de la navegación recreativa presenta restricciones por factores ambientales.

El uso sin limitaciones se presenta en sectores poco probables de desarrollo y por tanto el uso puede considerarse restringido y especialmente asociado a factores ambientales. Las zonas de los brazos río Porce, quebrada Guaduas y quebrada Cancana, son las que presentan restricciones por factores socio-económicos, lo cual implica analizar detalladamente cómo superar esas limitaciones para propiciar este uso en estos sectores.

Las zonas donde el uso no se permite corresponden especialmente a las limitantes y a unos polígonos pequeños.

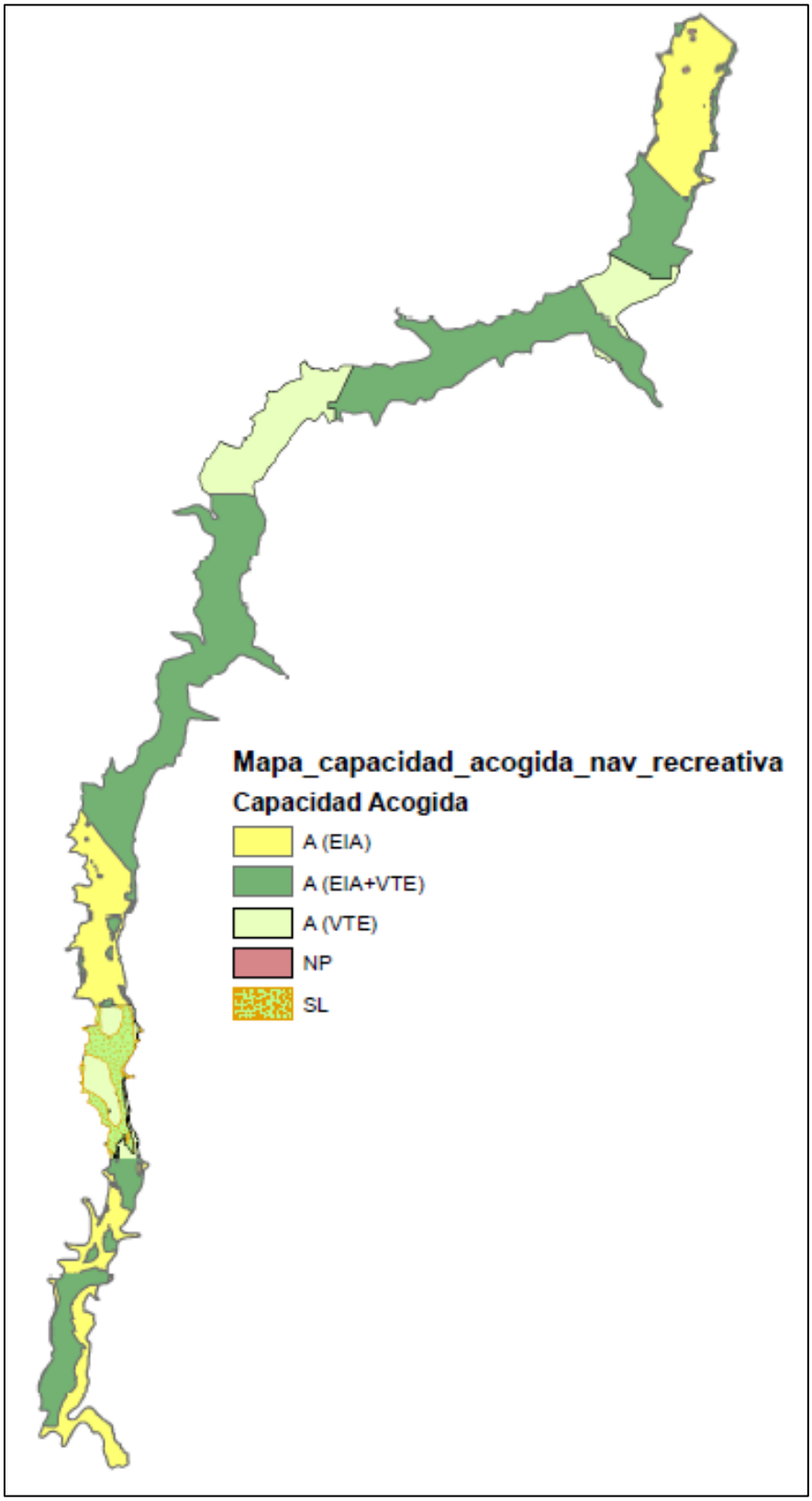
Figura 4-19. Capacidad de acogida navegación recreativa embalse Porce II



Fuente: Elaboración propia

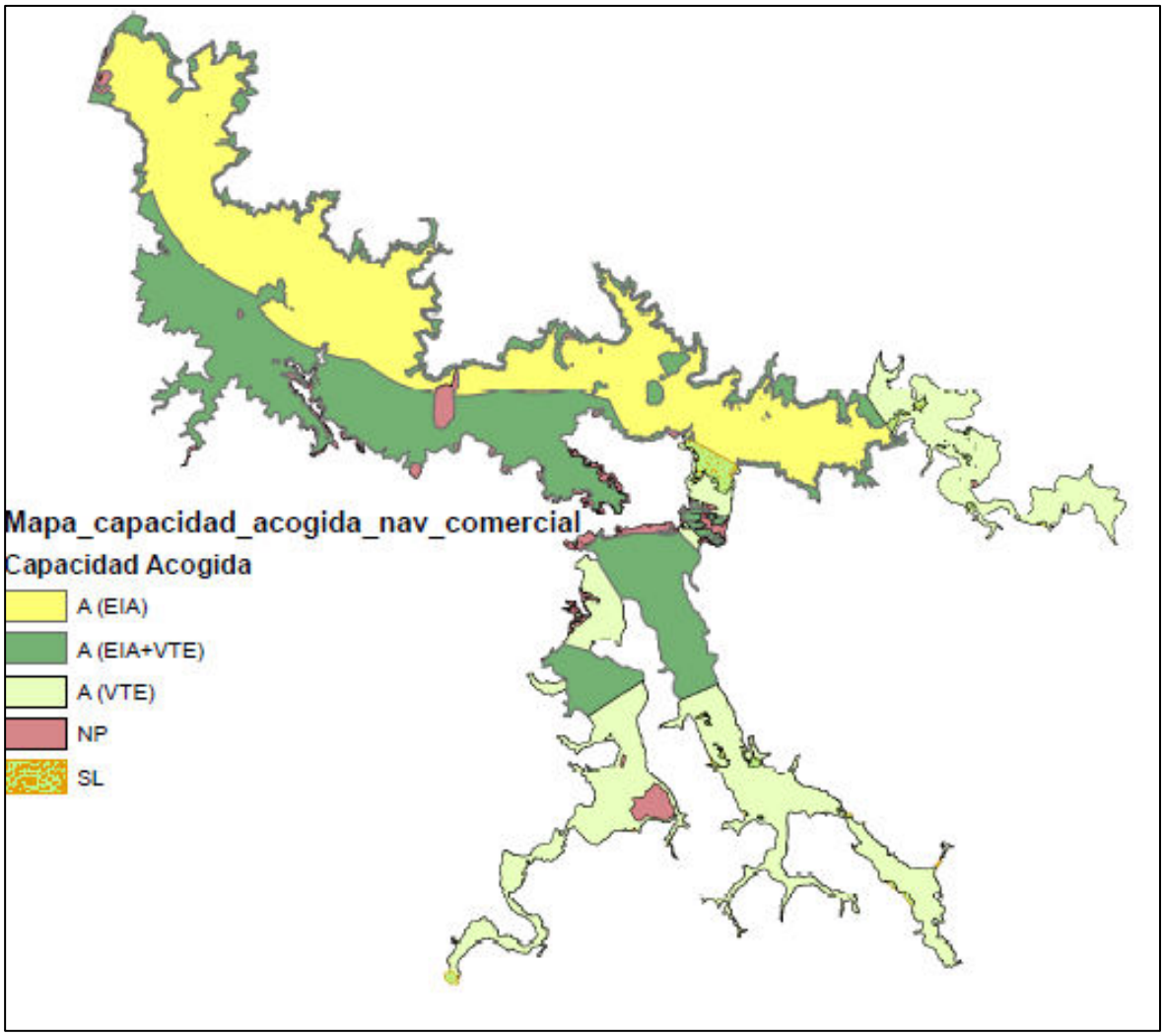
Para el embalse Porce III, la figura 4-20 evidencia que la navegación recreativa es restringida en todo el embalse. Hay una pequeña zona en el tramo inicial del embalse, donde el uso se puede realizar sin limitaciones, pero predominan las zonas con restricciones por factores ambientales.

Figura 4-20. Capacidad de acogida navegación recreativa embalse Porce III



Fuente: Elaboración propia

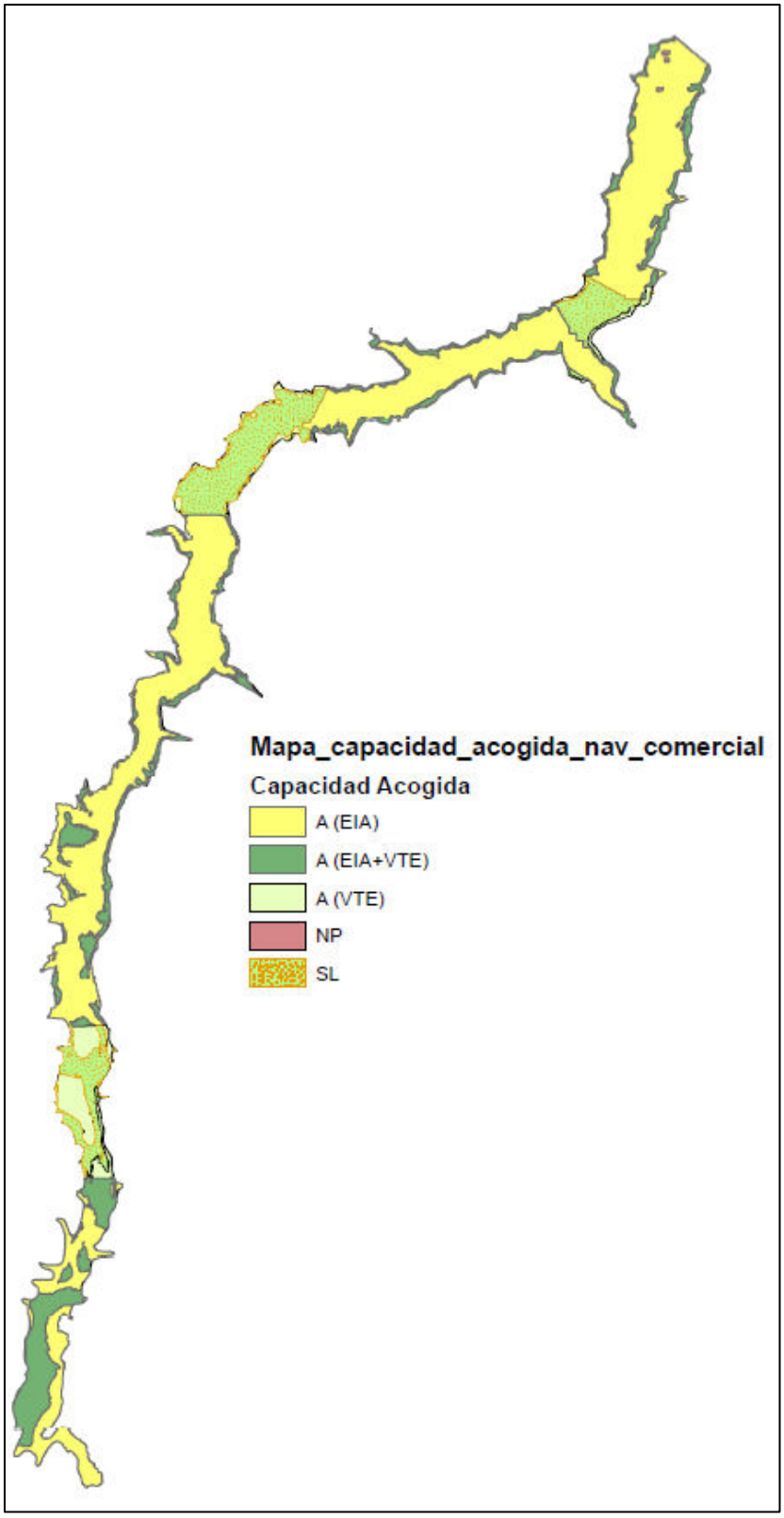
Figura 4-21. Capacidad de acogida navegación comercial embalse Porce II



Fuente: Elaboración propia

En el embalse Porce II, las zonas donde la navegación comercial se puede realizar sin limitaciones son en la práctica incipientes, por tanto, se puede decir que el uso se restringe en todo el embalse. Al igual que en el caso de la navegación recreativa, los brazos del río Porce, quebrada Guaduas y quebrada La Cancana presentan limitaciones técnico-económicas que podrían analizarse para viabilizar este uso en estos sectores; en el cuerpo central del embalse las restricciones son por factores ambientales.

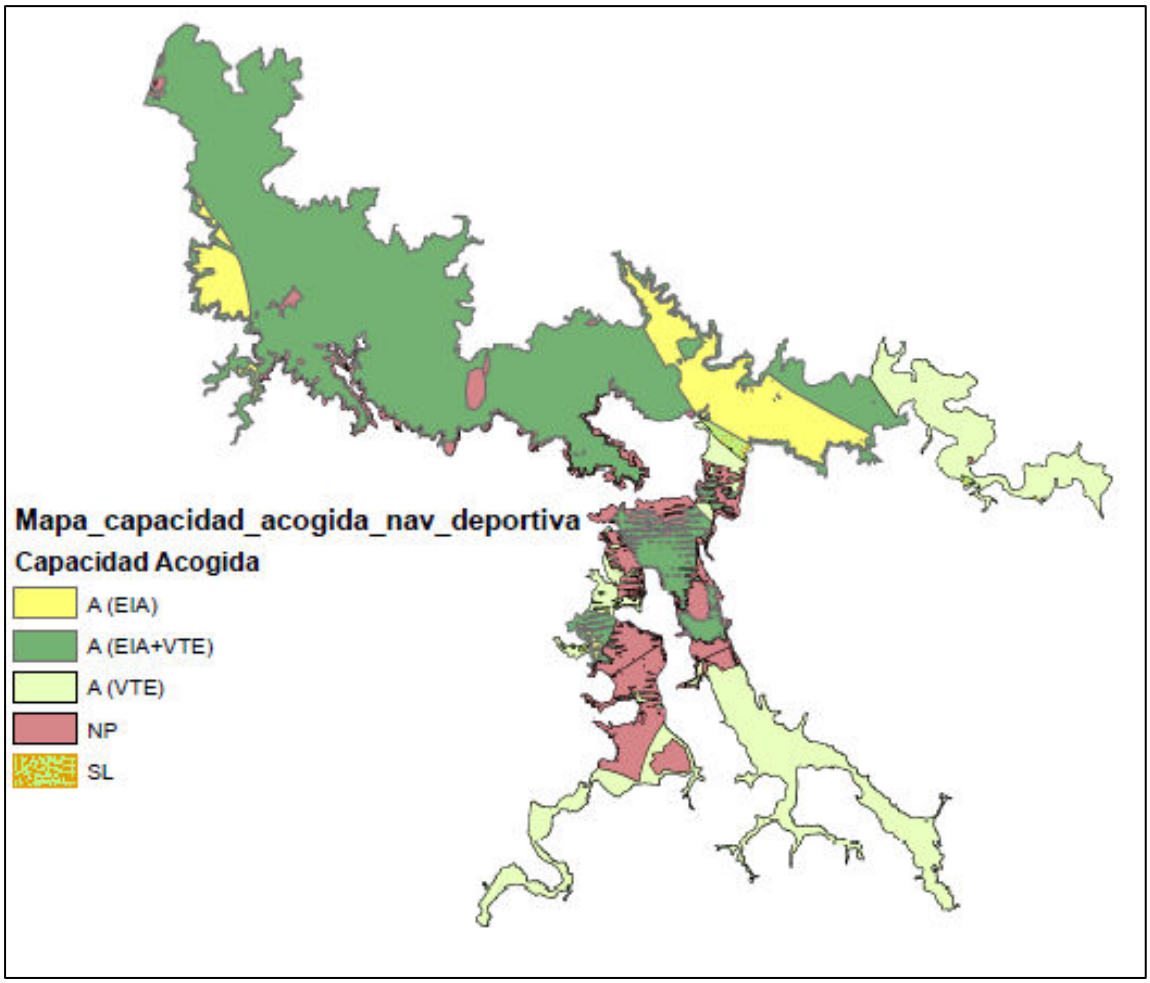
Figura 4-22. Capacidad de acogida navegación comercial embalse Porce III



Fuente: Elaboración propia

Según la figura 4-22, las restricciones ambientales para el embalse Porce III son aún más críticas. Las zonas donde el uso se puede realizar sin limitaciones son muy pequeñas y están en el mismo sector donde el uso es igual para pesca recreativa.

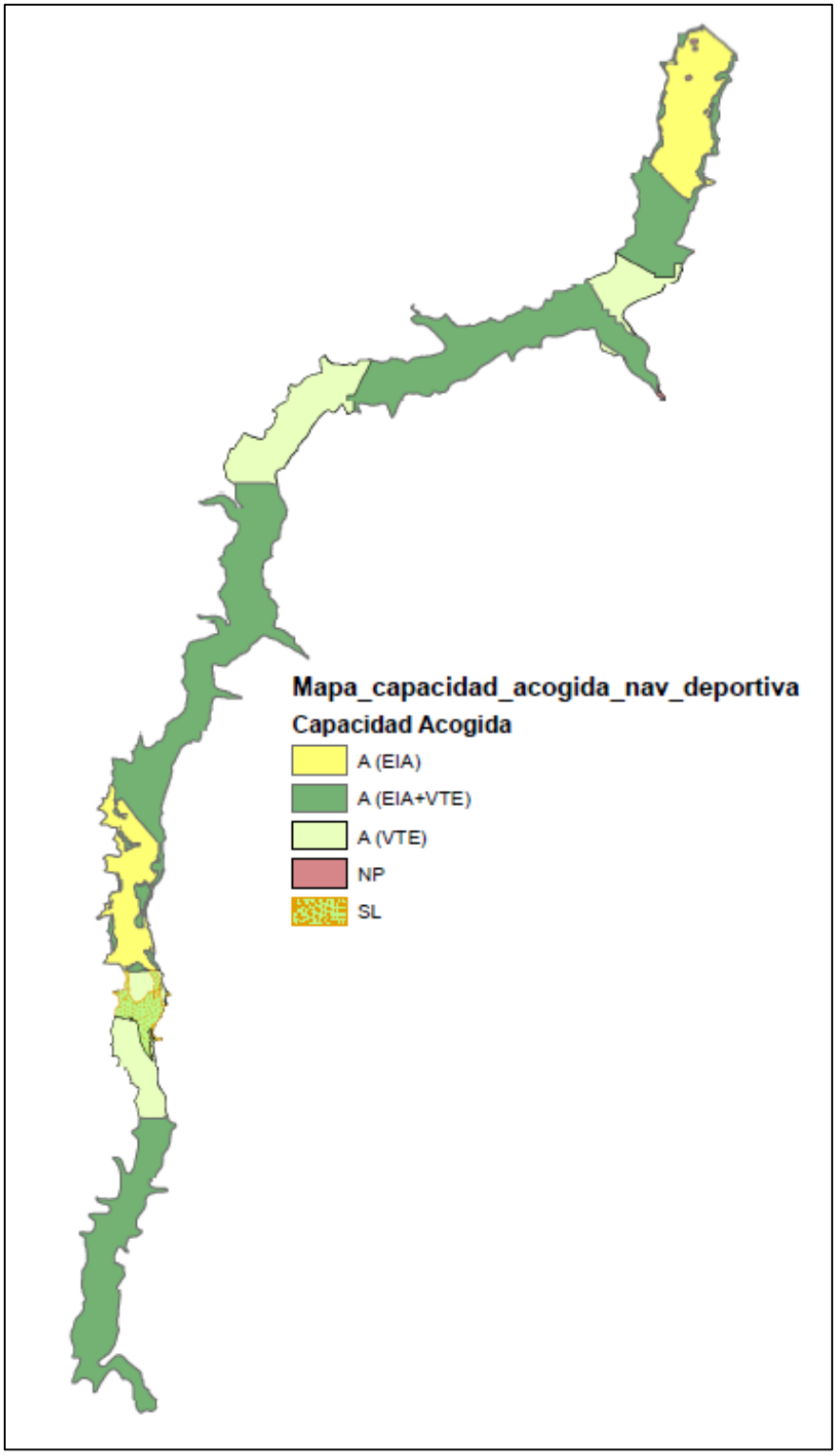
Figura 4-23. Capacidad de acogida navegación deportiva embalse Porce II



Fuente: Elaboración propia

Es evidente que la navegación deportiva presenta mayores áreas donde el uso no se permite, con respecto a los otros usos de esta categoría. El sector donde el uso puede realizarse sin limitaciones no es viable en la práctica, sólo podría considerarse este uso en las colas de las quebradas Guaduas y Cancana.

Figura 4-24. Capacidad de acogida navegación deportiva embalse Porce III



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-24 se aprecia que las zonas donde la navegación deportiva tiene restricciones por factores técnico-económicos, son similares a las de la navegación recreativa y es donde podría considerarse la posibilidad de desarrollar este uso, en el resto del embalse las restricciones son por factores ambientales y el área sin limitaciones para el uso es muy pequeña.

4.6 Resultados para la categoría de recreación

A pesar de haber considerado la pesca recreativa y la navegación recreativa en el análisis de las categorías de pesca y navegación, es importante hacer un análisis de los resultados encontrados para natación, en contraste con estos usos de categoría de recreación.

En las tablas 4-7 y 4-8 se presentan los resultados para los embalses Porce II y Porce III, respectivamente.

Tabla 4-7. Capacidad de acogida usos categoría recreación embalse Porce II

Capacidad de acogida	P. RECREATIVA		N. RECREATIVA		NATACIÓN	
	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total
A (EIA)			107,66	12,17	121,81	13,77
A (EIA+VTE)			530,33	59,96	343,04	38,79
A (VTE)	586,70	66,38	207,54	23,46		
DES					2,43	0,27
NP	21,99	2,49	30,45	3,44	417,10	47,16
SL	275,21	31,14	8,52	0,96		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-8. Capacidad de acogida usos categoría recreación embalse Porce III

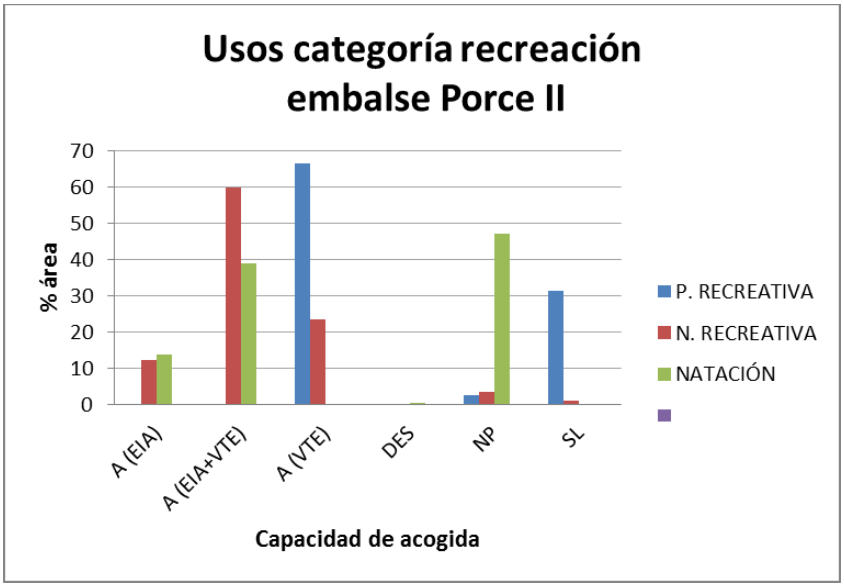
Capacidad de acogida	P. RECREATIVA		N. RECREATIVA		NATACIÓN	
	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total	Área (ha)	% Área Total
A (EIA)			116,86	26,19	109,63	24,58
A (EIA+VTE)			238,76	53,52	291,56	65,36
A (VTE)	240,49	53,94	72,07	16,15		
DES					4,32	0,97
NP	1,57	0,35	1,19	0,27	40,57	9,09
SL	203,77	45,71	17,26	3,87		

Fuente: Elaboración propia

Como se describe en las tablas 4-7 y 4-8, la natación es el único uso de esta categoría que tiene viabilidad condicionada especialmente por factores ambientales, se desaconseja en algunas zonas, no presenta zonas para realizar el uso sin limitaciones y es el de mayor porcentaje de áreas donde no se permite el uso, especialmente en el embalse Porce II, donde no puede realizar el uso en cerca del 50% del área. Por tanto, puede decirse que en esta categoría, el uso con mayores restricciones es natación, seguido de navegación recreativa.

En las figura 4-25 y 4-26 se presentan los resultados de los 3 usos, en cada embalse, para comparar aquellos en los que predomina cada una de las categorías de capacidad de acogida.

Figura 4-25. Comparativo capacidad de acogida usos categoría recreación embalse Porce II



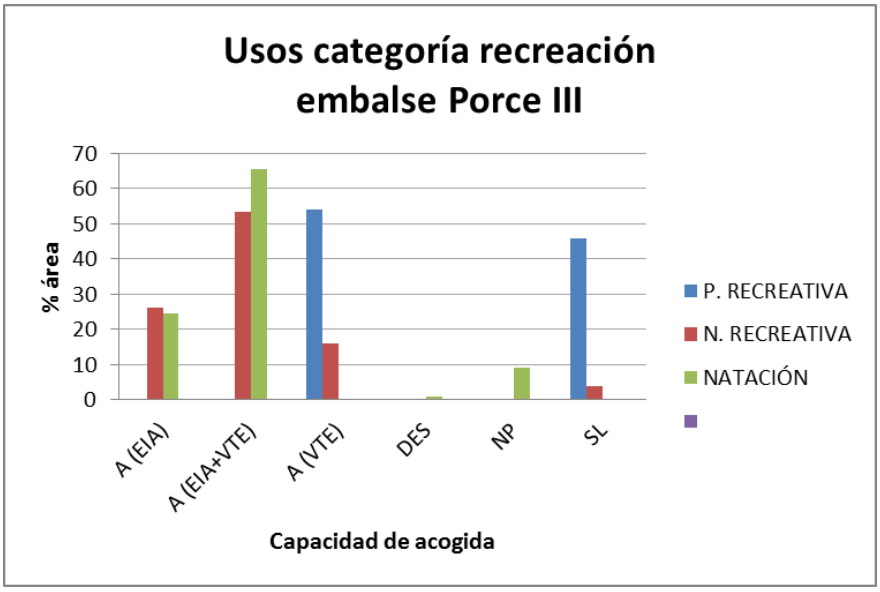
Fuente: Elaboración propia

En el embalse Porce II, la natación presenta mayores áreas con restricciones por factores ambientales y donde el uso no se permite. La pesca recreativa es el uso con mayor área sin limitaciones y con mayor área de restricciones por factores técnico-económicos, lo cual permite incidir que de los 3 usos, es el de mayor posibilidad de desarrollo.

Para el caso del embalse Porce III (Fig. 4-26), igualmente se encuentra que la pesca recreativa es el uso de mayores posibilidades de desarrollo.

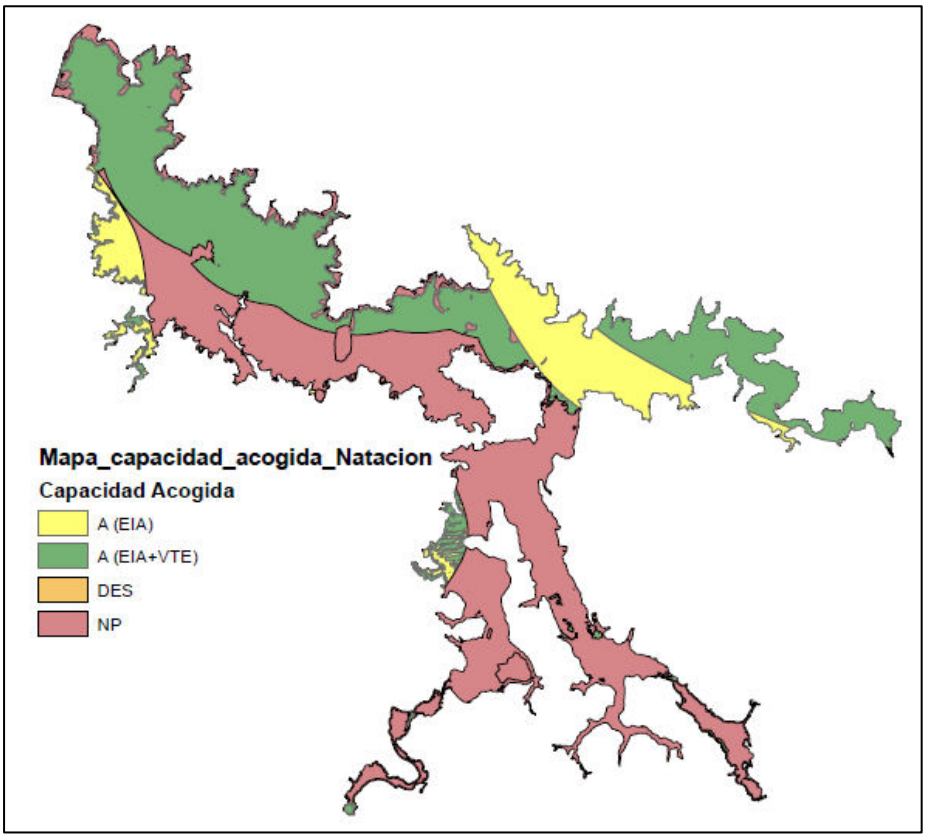
Los resultados del modelo cartográfico para el uso de natación, se encuentran en las figuras 4-27 y 4-28; los demás usos de esta categoría ya fueron analizados previamente.

Figura 4-26. Comparativo capacidad de acogida usos categoría recreación embalse Porce III



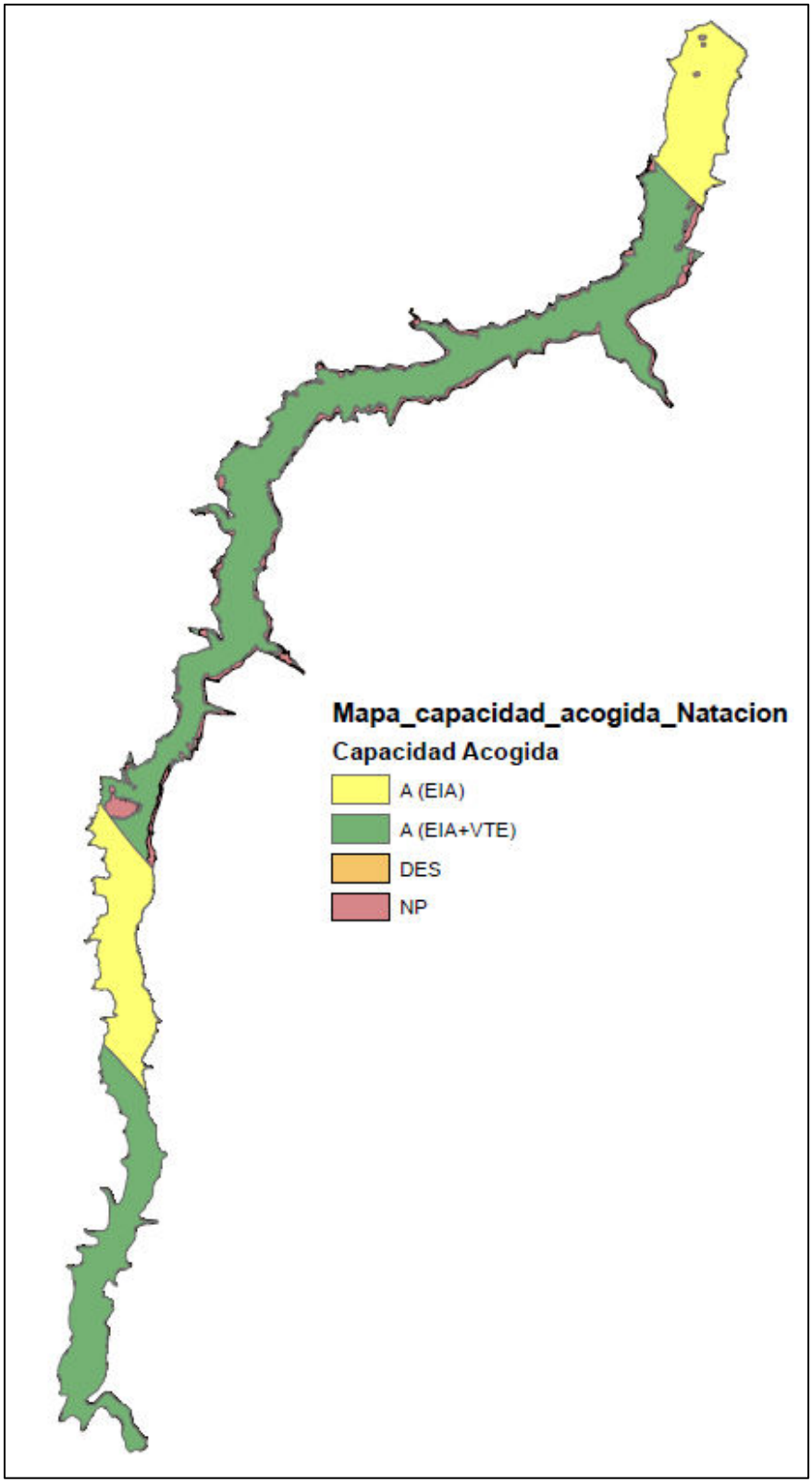
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-27. Capacidad de acogida natación embalse Porce II



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-28. Capacidad de acogida natación embalse Porce III



Fuente: Elaboración propia

Las figuras 4-27 y 4-28 demuestran lo desaconsejable de este uso ambos embalses, siendo más crítica la situación para el embalse Porce II, donde es muy significativa el área donde no se permite el uso.

4.7 Resultados del análisis de mejor uso para el embalse

Como se indicó en el modelo conceptual, a partir de un análisis multiobjetivo se determinaría el mejor uso. En las tablas 4-9 y 4-10 se presentan los resultados encontrados para los 8 usos evaluados en el embalse.

Tabla 4-9. Mejor uso en el embalse Porce II

Categoría	Uso	Área (ha)	% Área Total
Recreación	Pesca recreativa	122,57	14,06
	Navegación recreativa		
	Natación		
Pesca	Pesca artesanal	657,15	75,39
	Pesca deportiva	91,90	10,54
	Acuicultura		
Navegación	Navegación comercial		
	Navegación deportiva		
	No se permite ningún uso adicional a la protección		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-10. Mejor uso en el embalse Porce III

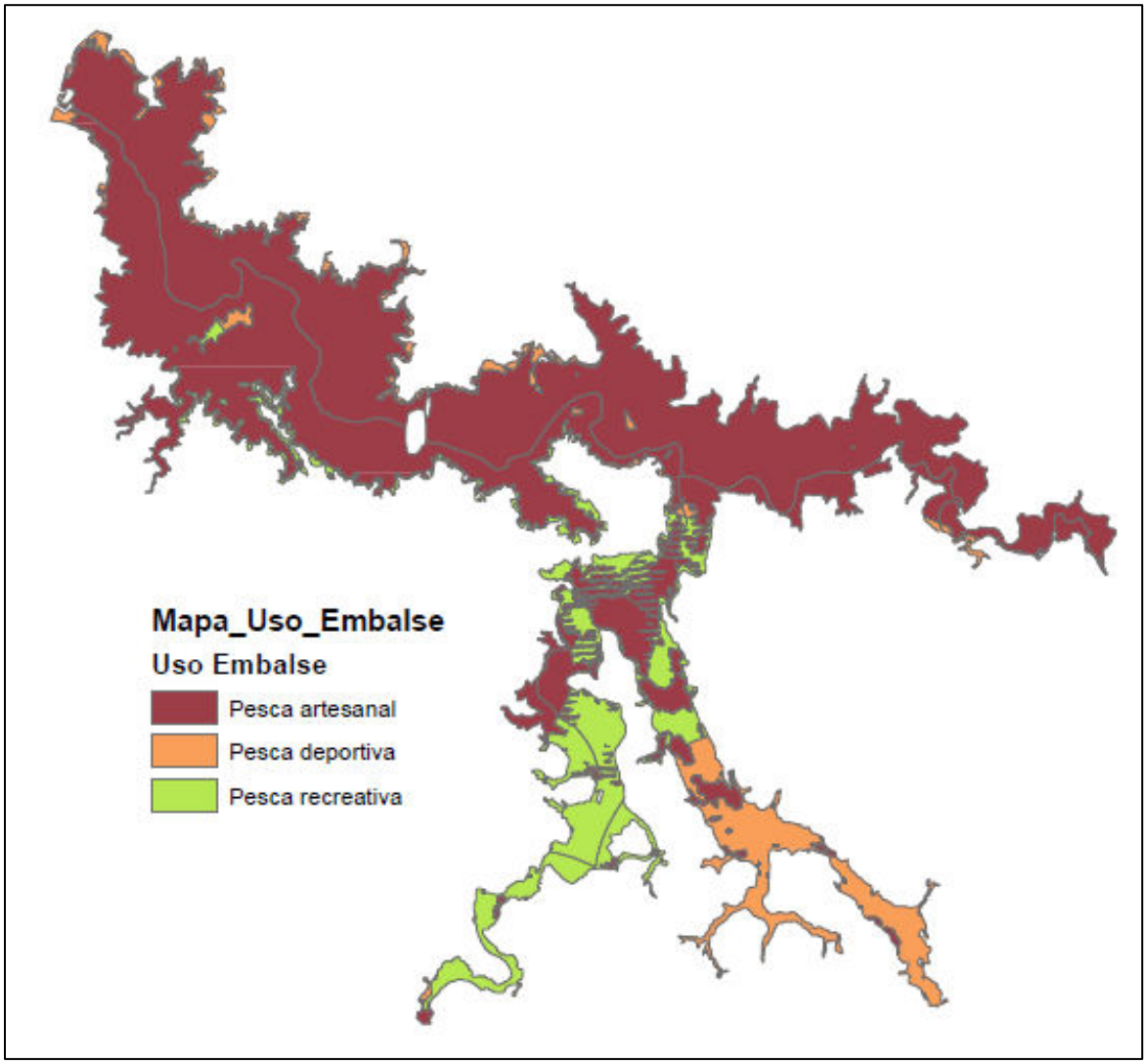
Categoría	Uso	Área (ha)	% Área Total
Recreación	Pesca recreativa	5,17	1,15
	Navegación recreativa		
	Natación		
Pesca	Pesca artesanal	418,84	93,30
	Pesca deportiva	24,93	5,55
	Acuicultura		
Navegación	Navegación comercial		
	Navegación deportiva		
	No se permite ningún uso adicional a la protección		

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo presentado en las tablas 4-9 y 4-10, se tiene que se consideran como mejores usos en los embalses la pesca recreativa, deportiva y artesanal, siendo ésta última la que predomina como mejor uso.

En las figura 4-29 y 4-30 se presentan los mapa con los resultados para cada embalse.

Figura 4-29. Mejor uso embalse Porce II

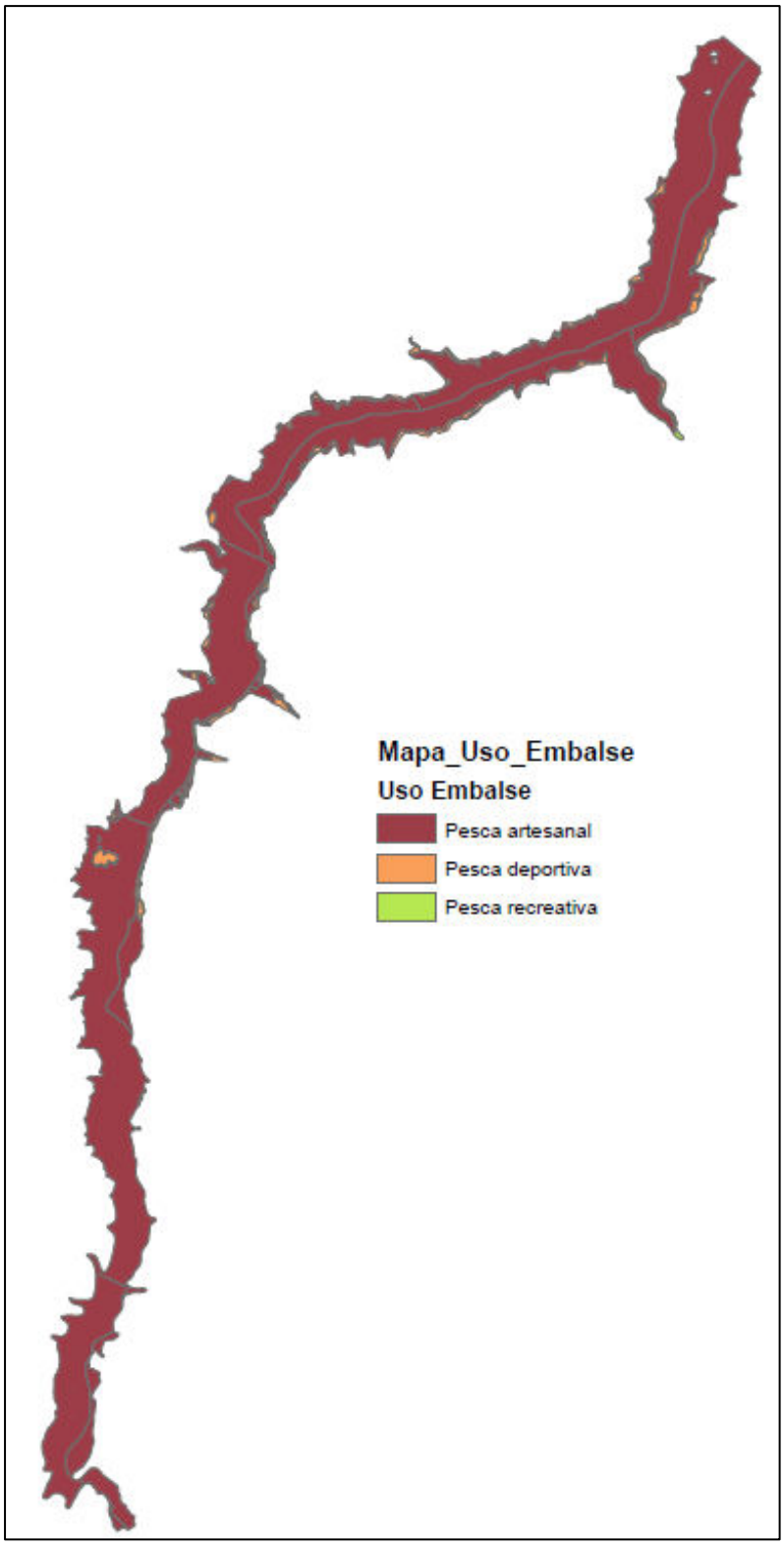


Fuente: Elaboración propia

La figura 4-29 indica que predomina la viabilidad de la pesca recreativa en el brazo del río Porce y la pesca deportiva en el brazo de la quebrada Guaduas.

Por su parte, la figura 4-30, demuestra que prácticamente el uso predominante es la pesca artesanal, ya que los demás usos posibles están en áreas insignificantes y dispersas

Figura 4-30. Mejor uso embalse Porce III



Fuente: Elaboración propia

5.Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Sin lugar a dudas, la capacidad de acogida es una potente herramienta para realizar análisis territorial, como se evidencia en este Trabajo Final.

Especialmente en entornos de embalses esto representa posibilidades de hacer análisis juiciosos que involucren las restricciones ambientales y operativas de estas zonas que suelen ser frágiles por los impactos acumulativos presentes en el territorio y los bienes y servicios ecosistémicos que llegan a prestar por las medidas de protección y conservación que realizan las empresas generadoras, como parte de sus obligaciones de licencia ambiental e iniciativas voluntarias enmarcadas en la sostenibilidad ambiental.

Esta herramienta permite evaluar potencialidades de los territorios para aprovechar estos espacios naturales con usos que sean compatibles y complementarios con la protección, que es la función características de estos entornos.

La validación de los modelos conceptual y lógico con su aplicación al caso de estudio, demuestran que la concepción de dichos modelos fue acertada y los resultados encontrados fueron bastante satisfactorios, lo cual se debe además, por la buena calidad de la información geográfica empleada.

Respecto a los modelos lógicos, la secuencia de herramientas y la integración de modelos propuestos para la EMO, fueron acertados, toda vez que al correr los modelos no se presentaron errores en el programa.

Para el caso de estudio, se encontró un gran potencial de apalancar el desarrollo turístico de la región con actividades como la pesca recreativa y deportiva, lo cual ya se viene realizando de manera informal por turistas locales, regionales y procedentes del Valle de Aburrá, debido especialmente a las actividades tradicionales de pesca en el río Porce. Igualmente, en las zonas de protección se tiene un gran potencial para realizar actividades de camping y senderismo.

Esta situación puede verse favorecida con la construcción de la doble calzada a Cisneros, lo cual permitirá un mayor flujo de turistas a la zona, lo cual reta a las administraciones municipales y comunidades locales para planificar desde ahora el desarrollo de estos usos, que en la mayoría de los casos requieren superar restricciones de factores técnico-económicos.

Con relación a las potencialidades para mejorar las actividades económicas de las comunidades asentadas en la zona de influencia, se tiene en la pesca artesanal la manera de lograrlo. Esta actividad ya se viene realizando en los embalses, especialmente en Porce II donde se tiene un estimado de 67 pescadores que dependen económicamente de esta actividad.

En la ordenación de este uso específico ya se tienen avances significativos, ya que desde hace cerca de 3 años se viene realizando un proceso participativo de ordenación pesquero liderado por EPM y la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, con el concurso de los pescadores actuales de Porce II y comunidades de la zona de influencia del embalse Porce III, quienes evalúan la posibilidad de desarrollar actividades pesqueras en el embalse para subsistencia y desarrollo turístico.

Los usos asociados a la pesca dependen en gran medida de la calidad del agua del embalse, especialmente porque ésta condiciona la calidad del recurso pesquero, lo cual es bastante relevante para la comercialización. De allí que la empresa generadora y las autoridades ambientales deben estar dando señales oportunas que permitan tomar decisiones en este sentido.

Los demás usos evaluados deben analizarse con mayor detalle, pues en términos generales no son considerados los mejores usos para las zonas de protección y los embalses. Se puede decir que ciclomontañismo y cabalgatas, natación y acuicultura son usos que deben descartarse en la zona de estudio, pues los resultados encontrados así lo indican.

Puede considerarse que las zonas donde se deben evaluar los usos para su desarrollo deben ser en aquellas donde el uso es viable con restricciones técnico-económicas y sin limitaciones; las áreas que involucran restricciones ambientales no deben ser consideradas debido a la fragilidad de estos entornos y la necesidad de preservar los bienes y servicios ecosistémicos que prestan.

Todo lo anterior indica que la aplicación de esta metodología es una herramienta que permitirá determinar usos potenciales en embalses y sus zonas de protección, lo cual a su vez permitirá contar con análisis territoriales valiosos para los procesos de planificación de estos usos en la escala de ordenación regional y municipal.

Y es en este sentido, donde el Trabajo Final realizado por la abogada Nataly Montoya Restrepo, denominado *Ordenamiento de los usos del suelo en las áreas de influencia de los*

embalses: un enfoque normativo, cobra especial relevancia para que las autoridades competentes puedan incorporar esta información en el análisis territorial.

5.2 Recomendaciones

El uso de herramientas SIG requiere contar con información geográfica suficiente y de detalle, de allí que el éxito de la aplicación de esta metodología dependerá de la calidad de la información de entrada.

Es por ello, que hay un gran reto para los investigadores y planificadores del territorio para producir información de calidad que pueda sustentar la aplicación de modelos para obtener resultados ajustados a la realidad o a los valores esperados.

Para seguir afinando la metodología, es necesario realizar un análisis de sensibilidad, que por el alcance de este Trabajo Final no se realizó. Al respecto, se sugiere realizarlo en dos de los cinco niveles indicados en el numeral 1.6.2, a saber: análisis de la incidencia de la variación de los pesos otorgados a los distintos factores y análisis de la incidencia de la modelación de los factores.

Igualmente, podría ampliarse la evaluación del juicio de expertos a través de la aplicación de una Delphi completa, a fin de refinar los pesos de ponderación empleados en esta metodología.

Los resultados obtenidos para el caso de estudio, brinda información que puede servir como punto de partida para un trabajo interinstitucional que permita integrar las herramientas de planificación de la autoridad ambiental, las administraciones municipales, la Gobernación y las autoridades competentes en la ordenación de la pesca y la navegación, para potenciar el desarrollo local y turístico de esta región.

Para ello, el Trabajo Final de Nataly Montoya, ya referenciado, brindará elementos que se pueden incorporar en los instrumentos de ordenamiento que cada entidad tiene para planificar el territorio.

A. Anexo: Consulta a expertos

Como se mencionó en el numeral 2.1.3, en este Anexo se encuentra la base de datos de expertos consultados, la presentación de la encuesta, los modelos de encuesta aplicados, las fechas de envío y recibo de las encuestas y las observaciones realizadas por algunos de ellos.

- **BASE DE DATOS EXPERTOS**

Experto	Profesión	Cargo	Entidad	Área de trabajo	Correo electrónico
Jaime Trujillo Delgado	Ingeniero Civil	Jefe Área Gestión Ambiental (retirado)	EPM	Gestión ambiental de los proyectos hidroeléctricos en operación	ja_truji@hotmail.com
José Enrique Londoño	Ingeniero Civil	Subgerente Ambiental (E)	EPM	Gestión ambiental de los proyectos hidroeléctricos en operación	Jose.Londono@epm.com.co
Adolfo Grecco	Biólogo	Profesional Ambiental Área Planeación	EPM	Gestión ambiental de los proyectos hidroeléctricos en fase de estudios	Adolfo.Grecco@epm.com.co
Hernán Sánchez Cruz	Biólogo	Profesional Ambiental Subgerencia Sostenibilidad Ituango	EPM	Gestión ambiental de los proyectos hidroeléctricos en fase de construcción	hernan.sanchez@epm.com.co
Javier Parra Bedoya	Ingeniero Sanitario	Subdirector de Recursos Naturales	CORNARE	Gestión ambiental y ordenamiento del territorio	jparra@cornare.gov.co
Martha Nidia Córdoba	Arquitecta	Subdirectora de Planeación	CORANTIOQUIA	Gestión ambiental y ordenamiento del territorio	mcordoba@corantioquia.gov.co
Guillermo Vásquez Velásquez	Ingeniero Forestal	Profesor asociado - Departamento de Ciencias Forestales	Universidad Nacional	Gestión ambiental y ordenamiento del territorio	glvasque@unal.edu.co

Experto	Profesión	Cargo	Entidad	Área de trabajo	Correo electrónico
Sergio Canella	Ingeniero Civil	Gerente División de Planeación Energética (retirado)	Eletrobras Furnas	Gestión ambiental y ordenamiento de cuencas en proyectos hidroeléctricos de Brasil	scanella@uol.com.br
Gabriel Roldán	Licenciado en biología y química	Director Grupo de Investigación Limnología	Universidad Católica de Oriente	Limnología y pesca	groldan@uco.edu.co; groldan@une.net.co
Javier Cardona	Biólogo	Profesional Regional Aguas	CORNARE	Limnología y pesca	jcardona@cornare.gov.co
Jaime Aramburo	Ingeniero Forestal	Profesional Ambiental Área Planeación	EPM	Biodiversidad y áreas protegidas (proyectos hidroeléctricos en estudio)	Jaime.Aramburo@epm.com.co
Jorge Alejandro Peláez	Ingeniero Forestal	Profesional Ambiental Área Gestión Ambiental	EPM	Biodiversidad y áreas protegidas (proyectos hidroeléctricos en operación)	jorge.pelaez.silva@epm.com.co
María Altagracia Berrío	Ingeniero Forestal	Coordinadora grupo biodiversidad	CORNARE	Biodiversidad y áreas protegidas	mberrio@cornare.gov.co

Experto	Profesión	Cargo	Entidad	Área de trabajo	Correo electrónico
Alexandra Arango	Bióloga	Investigadora y docente	Universidad Católica de Oriente	Pesca	aarango@uco.edu.co; aarango1975@gmail.com
Mauricio Valderrama	Biólogo	Investigador y consultor	Fundación Humedales	Pesca	mvalde@fundacionhumedales.org
Raúl Pardo	Biólogo	Profesional Ordenamiento Pesquero	AUNAP	Pesca	raul.pardo@aunap.gov.co
Carlos Alberto Socarrás	Administrador	Inspector Fluvial embalse Peñol-Guatapé	Ministerio de Transporte	Navegación	caralsoc@hotmail.com
Jaime Enrique Guío	Ingeniero	Inspector Fluvial Calima - Salvajina (Valle - Cauca)	Ministerio de Transporte	Navegación	lajuguiog@hotmail.com

Fuente: Elaboración propia

- **PRESENTACIÓN DE LA ENCUESTA**

La encuesta fue remitida por correo electrónico a cada uno de los expertos listados previamente. En el correo se adjuntaba un documento en Word con información general sobre la encuesta a aplicar, sin dar muchos detalles del tema para no sesgar las respuestas. A continuación se transcribe la información contenida en dicho archivo:

¿POR QUÉ LA ENCUESTA?

Como parte del desarrollo de mi trabajo de grado de la maestría en Estudios Urbano Regionales en la Universidad Nacional Sede Medellín, es necesario realizar un panel de expertos, mediante la aplicación de una encuesta utilizando el Método Delphi.

¿CUÁLES SON LOS TEMAS?

Se seleccionaron algunos de los usos o actividades posibles a desarrollar en los embalses y en las zonas de protección aledañas a éstos y para cada uno de los usos se definieron unos criterios que permiten estimar la ***capacidad*** *del medio para el desarrollo de la actividad o el* ***impacto*** *que la actividad puede generar en el medio. Ver anexo "justificación de criterios para cada uso.pdf" para conocer los criterios que aplican para cada uso y su explicación.*

¿CÓMO SE DILIGENCIA LA ENCUESTA?

Para cada uso, se debe calificar la importancia de los criterios de capacidad con valores entre 0 a 1, de tal forma que la sumatoria sea 1. Igualmente se debe proceder para la calificación de los criterios de impacto. Los valores más bajos indican baja importancia del criterio para la actividad o uso.

¿DE QUÉ TRATA EL MÉTODO?

El método Delphi es una herramienta de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo. Una Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro.

Es decir, el método Delphi procede por medio de la interrogación a expertos con la ayuda de cuestionarios sucesivos, a fin de poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos. La encuesta se lleva a cabo de una manera anónima (actualmente es habitual realizarla haciendo uso del correo electrónico o mediante cuestionarios web establecidos al efecto) para evitar los efectos de "líderes". El objetivo de los cuestionarios sucesivos, es "disminuir el espacio intercuartil precisando la mediana".

¿POR QUÉ FUISTE SELECCIONADO?

Porque a mi juicio eres una persona que por su formación y/o experiencia puede aportar elementos valiosos a mi investigación.

¿CUÁNDO DEBES ENTREGAR LA INFORMACIÓN?

Entendiendo sus múltiples ocupaciones y la necesidad de compilar la información de todos los expertos para continuar la aplicación del método, le solicito su colaboración para remitirme la información en un plazo de ***una semana****, contado a partir de la entrega de este correo electrónico.*

- **MODELOS DE ENCUESTA**

De acuerdo a la especialidad y área de trabajo del experto, se aplicaba uno de los siguientes modelos de encuesta:

a) Total: Se valoraban los criterios de capacidad y de impacto para los 11 usos considerados en este Trabajo Final.
b) Total sin turismo: Sólo se consideraban los 8 usos en el embalse
c) Pesca: Se consideraban los 4 usos asociados a esta categoría (pesca recreativa, deportiva, artesanal y acuicultura)
d) Navegación: Contemplaba los 3 usos de esta categoría (navegación recreativa, deportiva y comercial)

También se adjuntó como anexo la justificación de los criterios de capacidad y de impacto que aplican para cada uso y que fueron descritos en las tablas 2-8 a 2-11.

El modelo de encuesta remitido se presenta a continuación:

UNIVERSIDAD NACIONAL SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE ARQUITECTURA
ESCUELA DE PLANIFICACIÓN URBANO REGIONAL
MAESTRÍA EN ESTUDIOS URBANO REGIONALES

TESIS DE GRADO SANDRA YANNETH RÍOS GALLEGO

APLICACIÓN DE ENCUESTAS - PANEL DE EXPERTOS

NOMBRE EXPERTO: _____

INDICACIONES: Califique con valores entre 0 y 1 (empleando números con dos cifras decimales), la importancia de los criterios que aplican a los usos indicados (celdas resaltadas en gris), de tal manera que la sumatoria de las calificaciones de los criterios sea 1. Tenga en cuenta que los **criterios de capacidad** permiten estimar la capacidad del medio para el desarrollo de la actividad y los **criterios de impacto** estiman el impacto que la actividad puede generar en el medio. Ver anexo "*justificación de criterios para cada uso.pdf*" para conocer la explicación de los criterios que aplican para cada uso. MUCHAS GRACIAS!!!

CALIFICACIÓN DE CRITERIOS DE CAPACIDAD

CRITERIO	USO										
	TURISMO			RECREACIÓN			PESCA			NAVEGACIÓN	
	SENDERISMO	CAMPING	CABALGATAS/ CICLOMONTAÑISMO	NAVEGACIÓN	PESCA	NATACIÓN	ARTESANAL	DEPORTIVA	ACUICULTURA	COMERCIAL	DEPORTIVA
Calidad del agua del embalse											
Profundidad media del agua en el embalse											
Acceso a cuerpos de agua aledaños al embalse											
Pendiente del terreno											
Cercanía de centros poblados											
Acceso a vías											
Acceso a equipamientos											
TOTAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

CALIFICACIÓN DE CRITERIOS DE IMPACTO

CRITERIO	USO										
	TURISMO			RECREACIÓN			PESCA			NAVEGACIÓN	
	SENDERISMO	CAMPING	CABALGATAS/ CICLOMONTAÑISMO	NAVEGACIÓN	PESCA	NATACIÓN	ARTESANAL	DEPORTIVA	ACUICULTURA	COMERCIAL	DEPORTIVA
Grado de alteración de coberturas vegetales											
Riesgo de afectación de procesos erosivos en zonas de protección u orillas del embalse											
Desmejoramiento de la calidad del agua del embalse											
Riesgo de afectación a los cuerpos de agua aledaños al embalse											
TOTAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- **ENVÍO Y RECIBO DE ENCUESTAS**

Como se ha comentado, las encuestas se remitían por correo y por este mismo medio se recibían diligenciadas. Sólo 4 expertos no dieron respuesta. A continuación se indica el tipo de encuesta diligenciada y las fechas de envío y recibo.

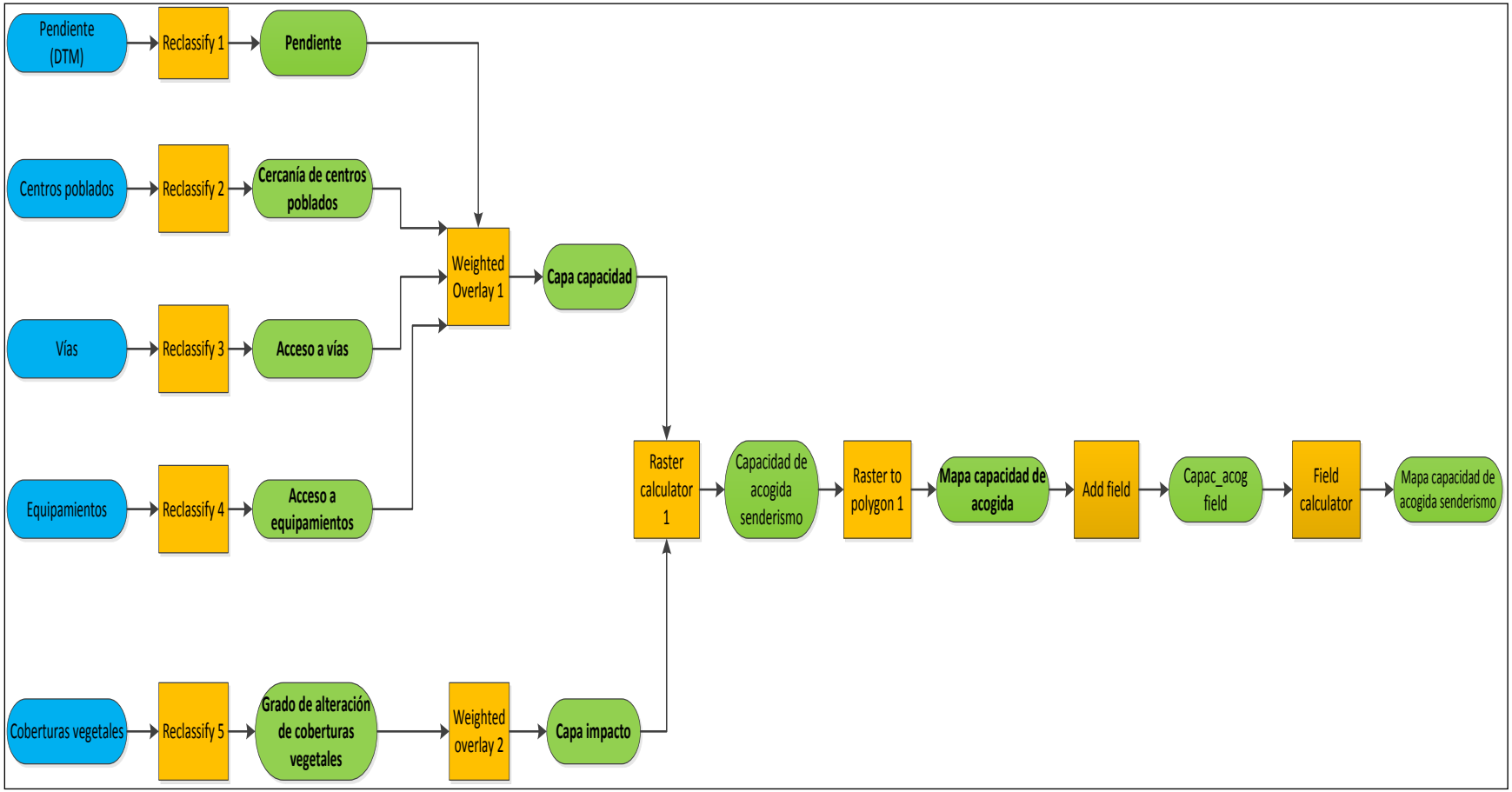
Experto	Tipo de encuesta diligenciada	Fecha envio	Fecha respuesta	Observaciones
Jaime Trujillo Delgado	Total	ago-20		No se recibió respuesta
José Enrique Londoño	Total	ago-20	ago-21	
Adolfo Grecco	Total	ago-20	ago-22	
Hernán Sánchez Cruz	Total	ago-20	ago-29	
Javier Parra Bedoya	Total	ago-20	ago-21	
Martha Nidia Córdoba	Total	ago-20		No se recibió respuesta
Guillermo Vásquez Velásquez	Total	sep-02	sep-03	
Sergio Canella	Total	ago-20		No se recibió respuesta
Gabriel Roldán	Total sin turismo	ago-20	ago-27	Considera que el criterio de capacidad de mayor importancia es la calidad del agua y considera que los usos que más la afectan son la acuicultura y la navegación deportiva
Javier Cardona	Total sin turismo	ago-20		No se recibió respuesta
Jaime Aramburo	Turismo	ago-20	ago-26	Considera que el clima es un criterio para la oferta del medio y que la presencia de guardabosques, vigilantes, instalaciones militares o industriales cerca de las zonas de protección de los embalses puede disminuir la capacidad del medio para el turismo
Jorge Alejandro Peláez	Turismo	ago-20	sep-02	Considera que el criterio de afectación a cuerpos de agua aledaños al embalse también aplican a los usos de senderismo y cabalgatas/ciclomontañismo, por los residuos

Experto	Tipo de encuesta diligenciada	Fecha envio	Fecha respuesta	Observaciones
				sólidos, uso de jabones y detergentes, heces fecales, para el caso de senderismo y por heces fecales, erosión de cauces y producción de sedimentos, para cabalgatas/ciclomontañismo
María Altagracia Berrío	Turismo	ago-20	ago-22	
Alexandra Arango	Pesca	ago-20	ago-25	
Mauricio Valderrama	Pesca	ago-20	ago-21	Considera incorporar la variable de variación diaria de niveles como criterio de capacidad, especialmente importante para la acuicultura
Raúl Pardo	Pesca	ago-20	sep-02	Considera que la pesca artesanal sólo debe estar concebida a la seguridad alimentaria y no a la comercialización y que es más ajustado hablar de fluctuaciones en la profundidad del agua, por su alta variabilidad en los embalses
Carlos Alberto Socarrás	Navegación	ago-20	ago-26	
Jaime Enrique Guío	Navegación	ago-20	sep-03	

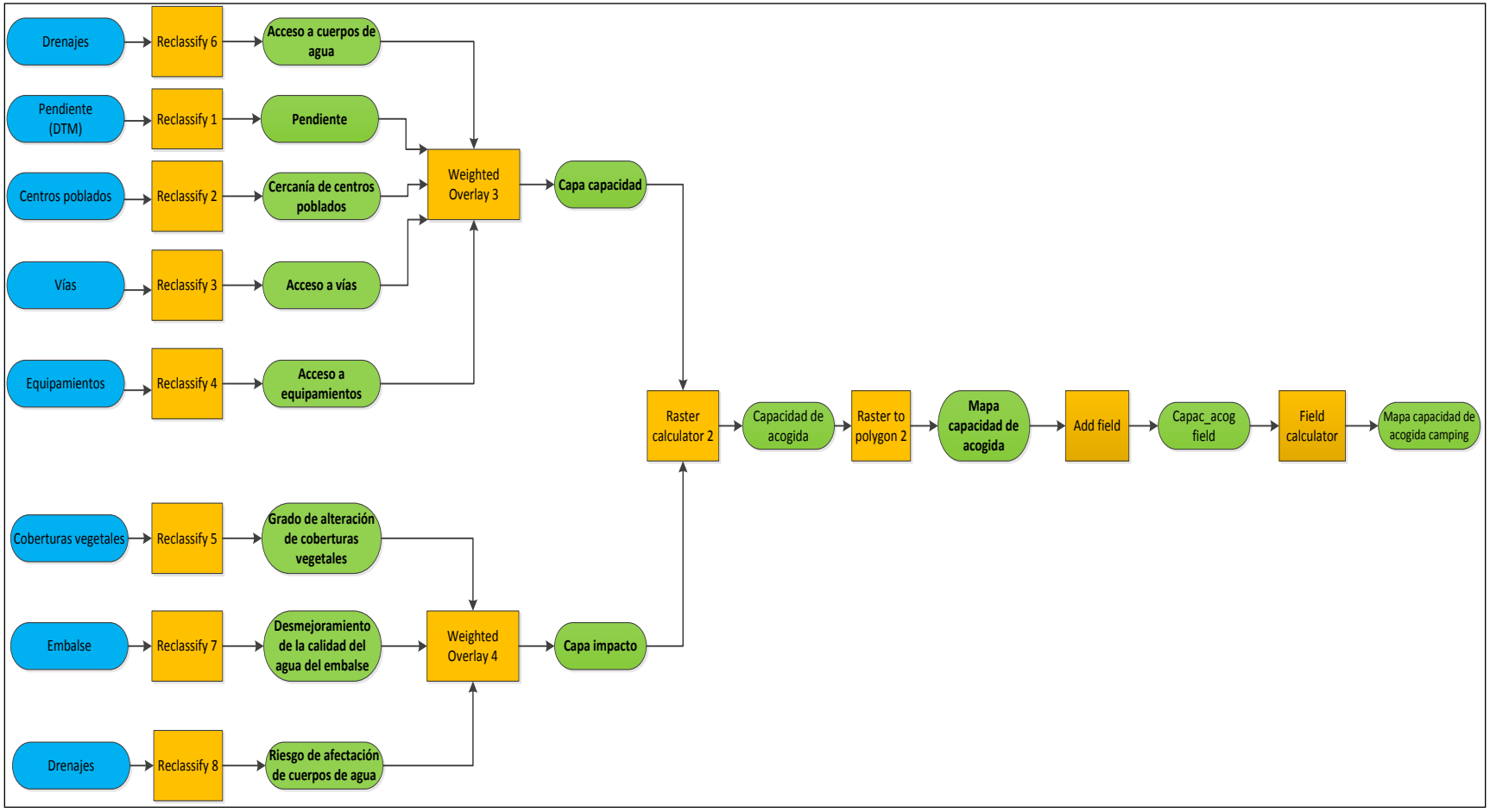
B. Anexo: Modelos lógicos para EMC y EMO

En este anexo se encuentran los modelos lógicos para la Evaluación Multicriterio para la evaluación de los 11 usos seleccionados, denominados submodelos de capacidad de acogida y los modelos para la Evaluación Multiobjetivo.

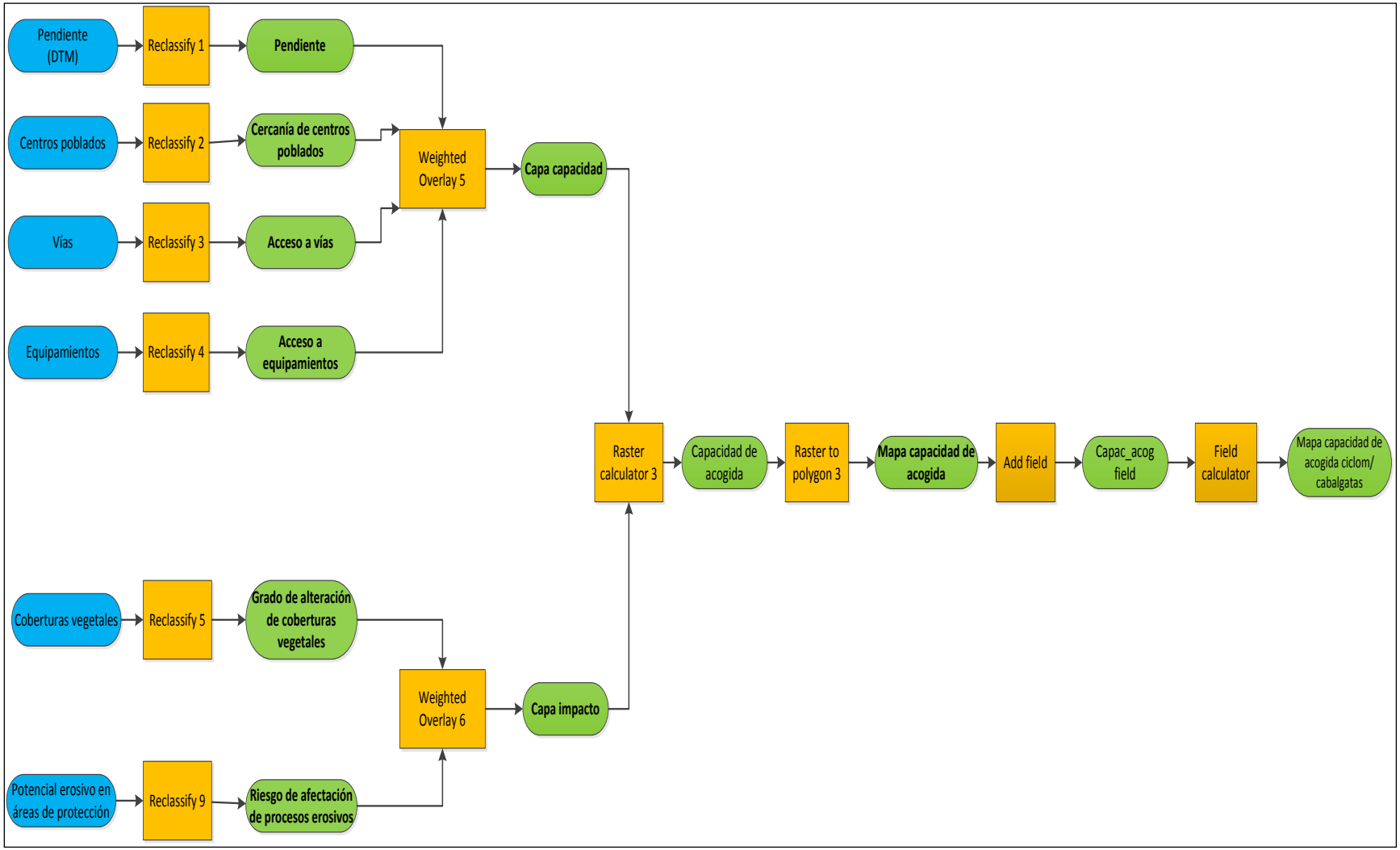
Submodelo de capacidad de acogida para senderismo (A)



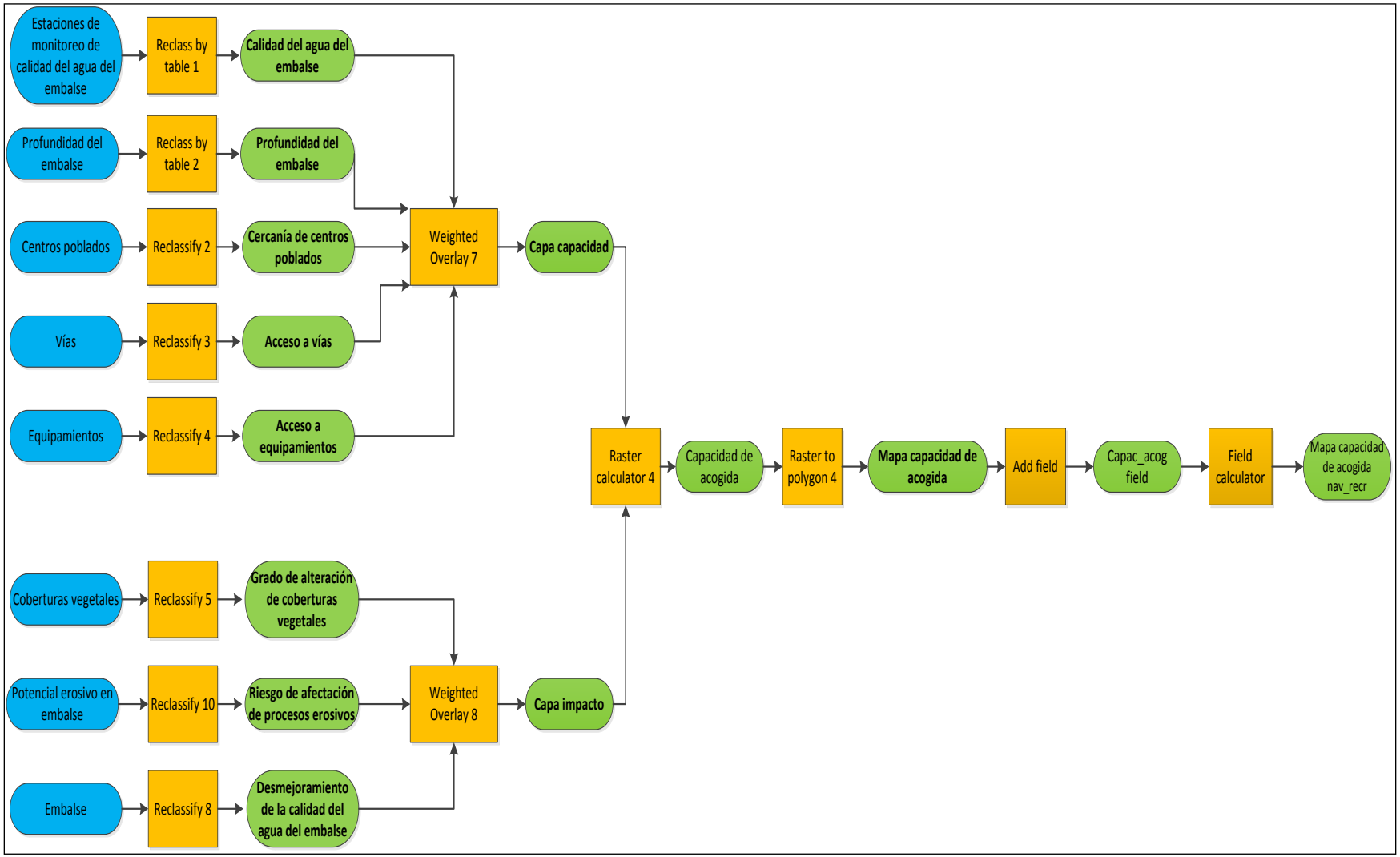
Submodelo de capacidad de acogida para camping (B)



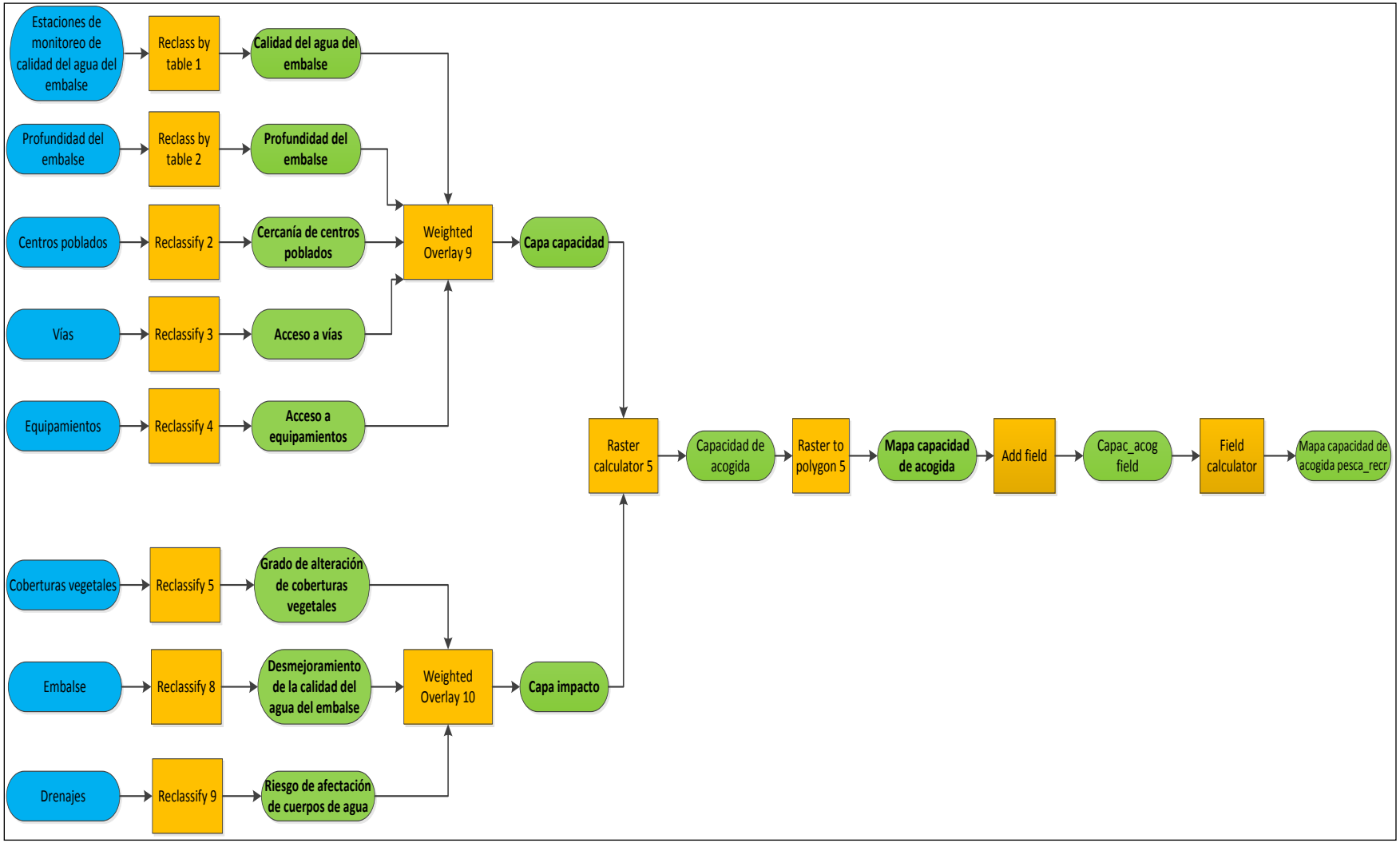
Submodelo de capacidad de acogida para ciclomontañismo/cabalgatas (C)



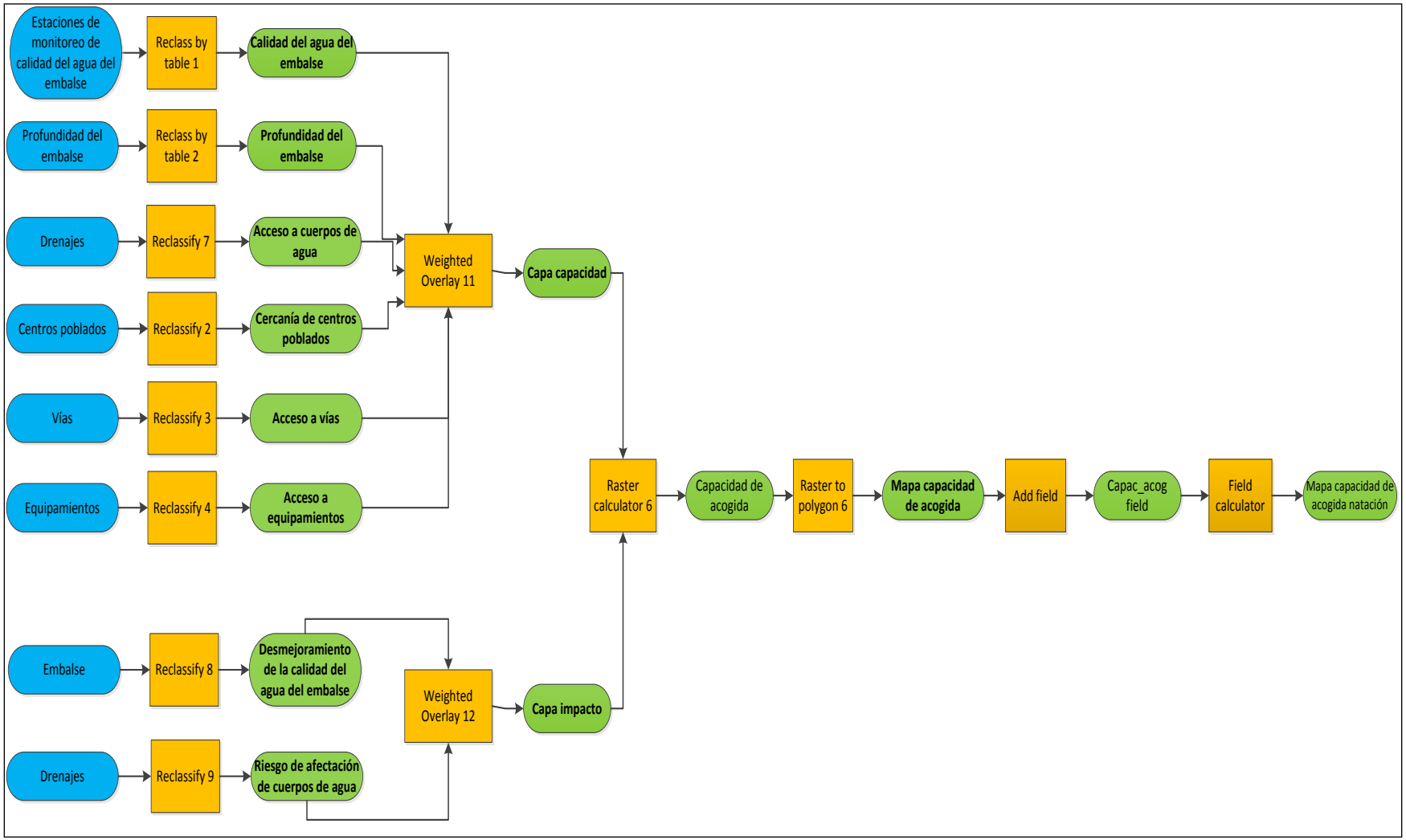
Submodelo de capacidad de acogida para navegación recreativa (D)



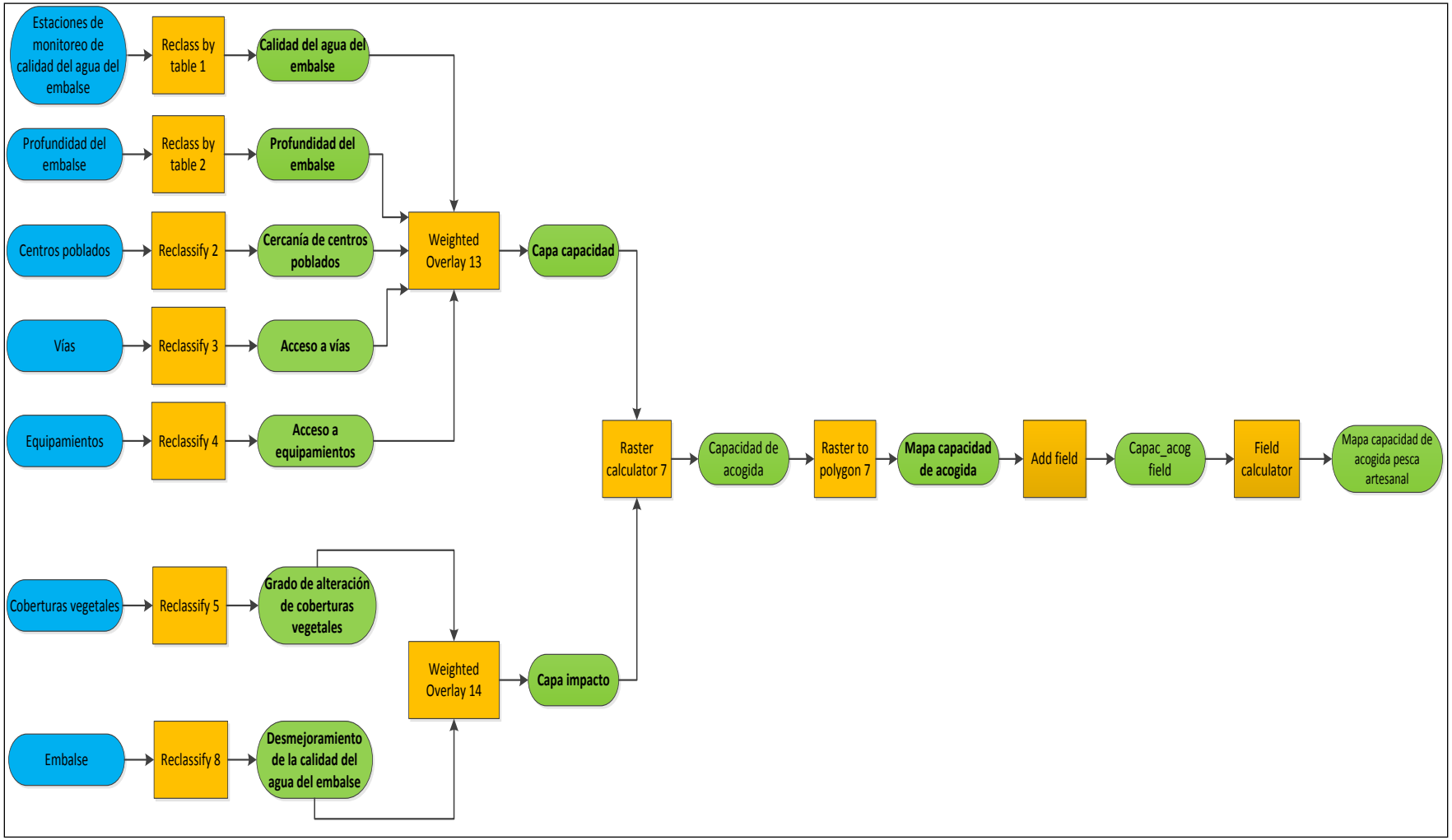
Submodelo de capacidad de acogida para pesca recreativa (E)



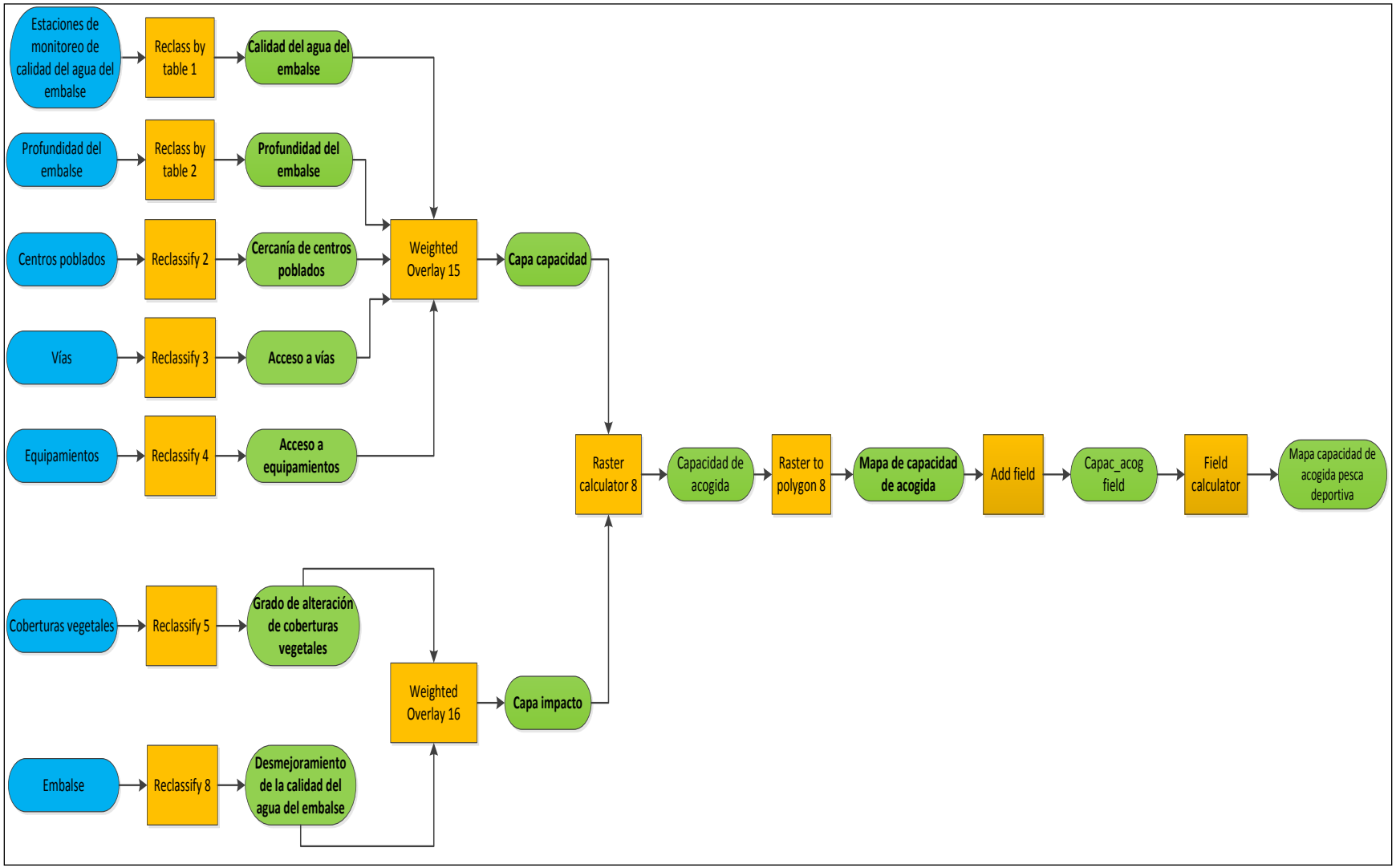
Submodelo de capacidad de acogida para natación (F)



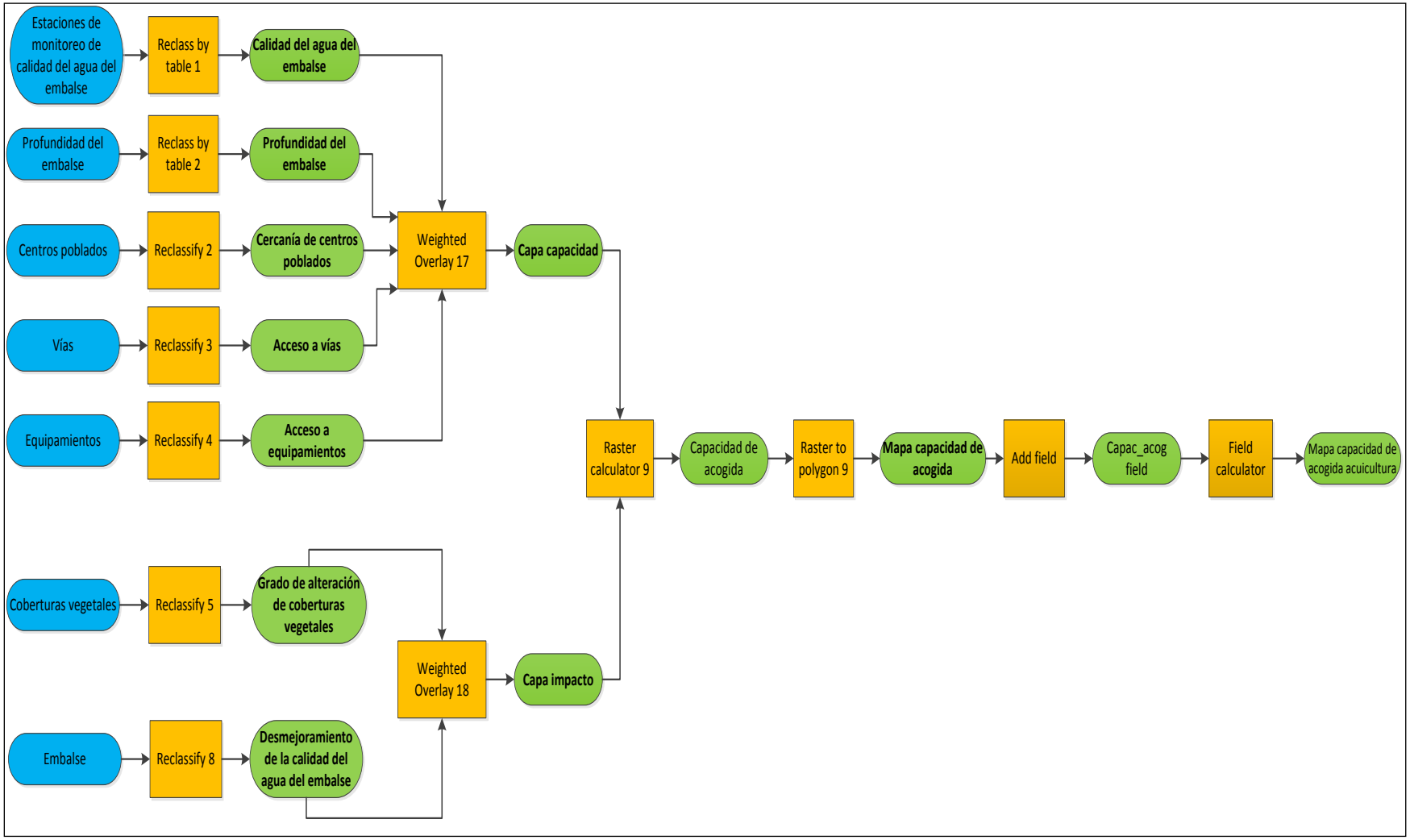
Submodelo de capacidad de acogida para pesca artesanal (G)



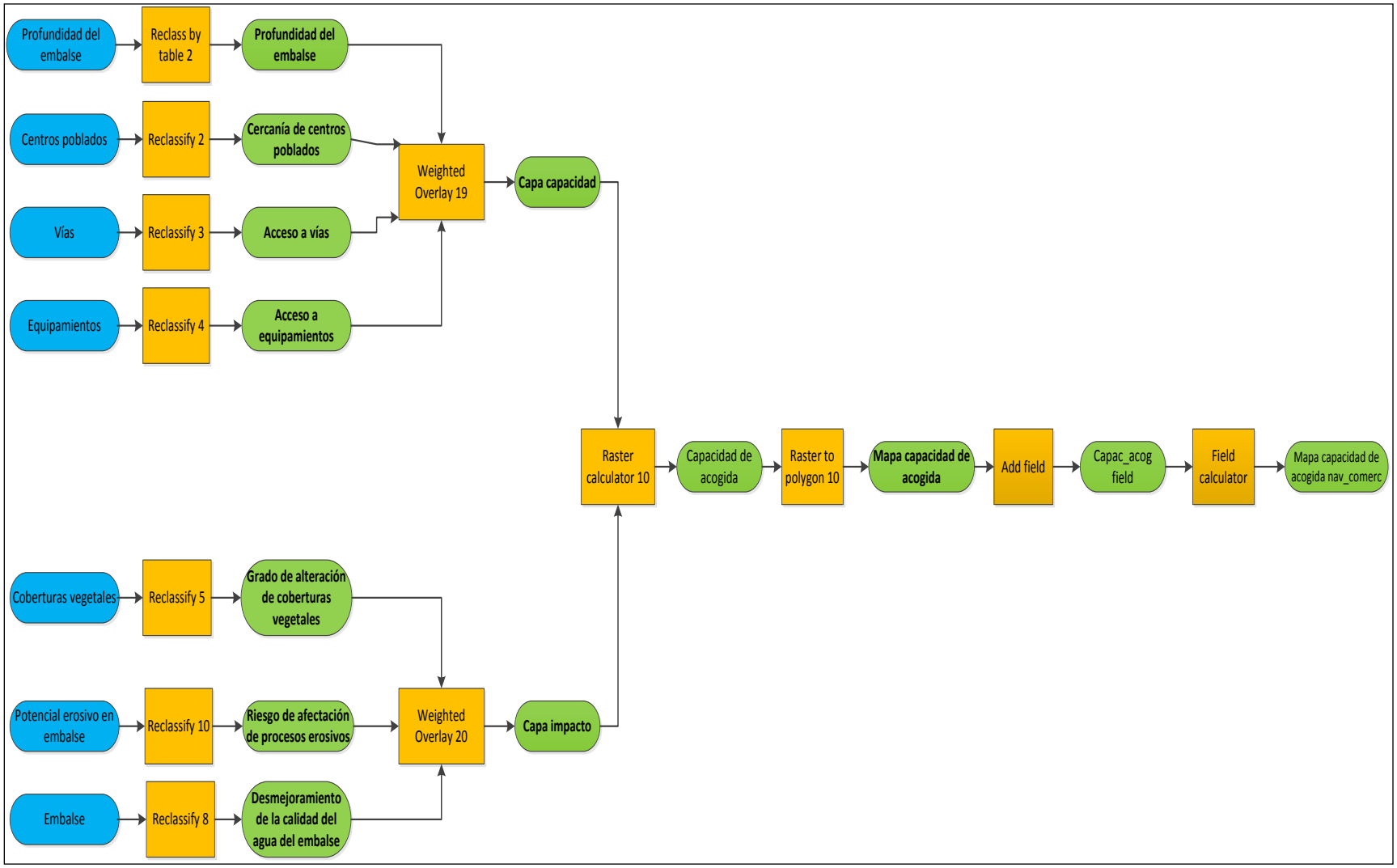
Submodelo de capacidad de acogida para pesca deportiva (H)



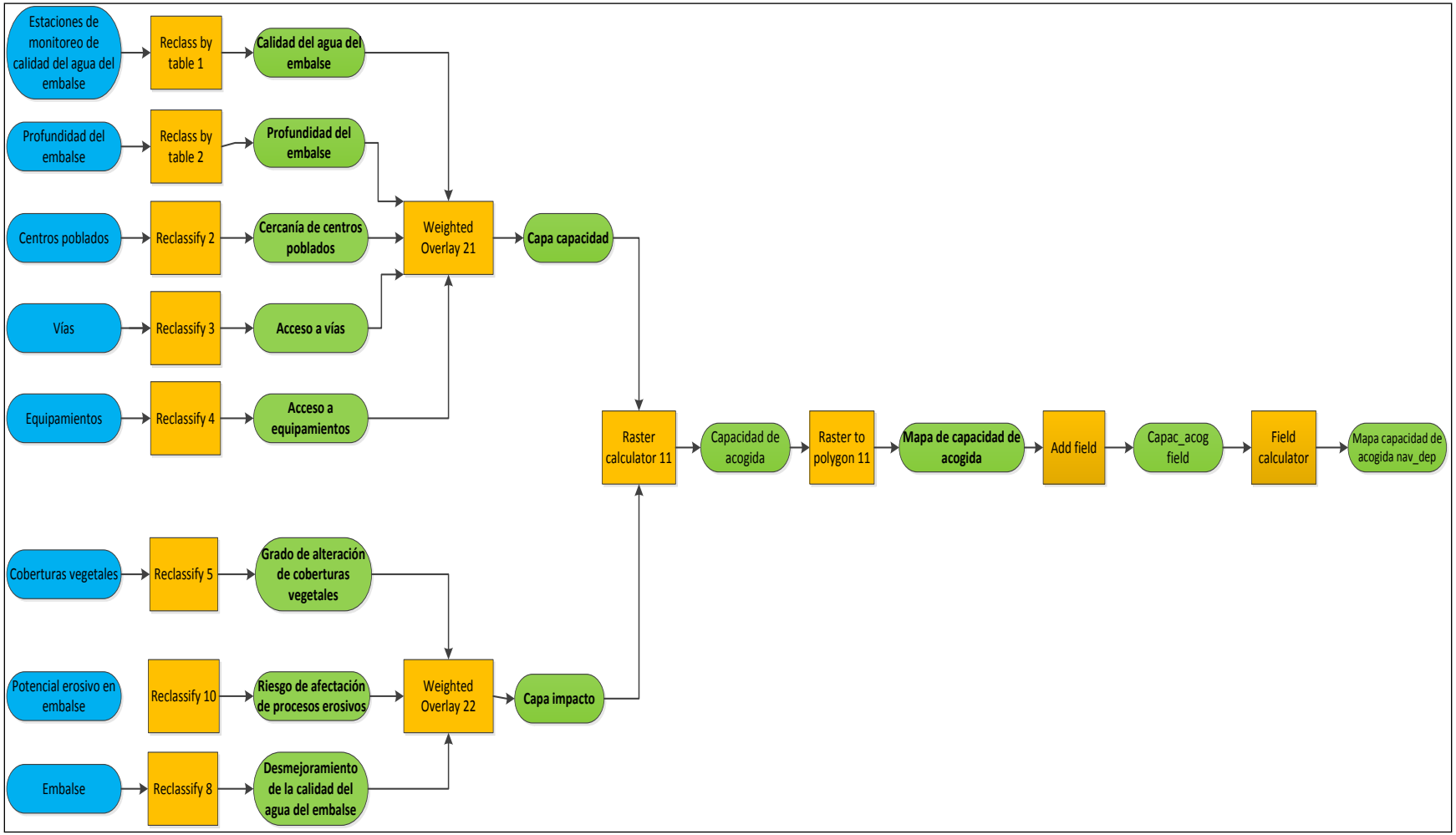
Submodelo de capacidad de acogida para acuicultura (I)



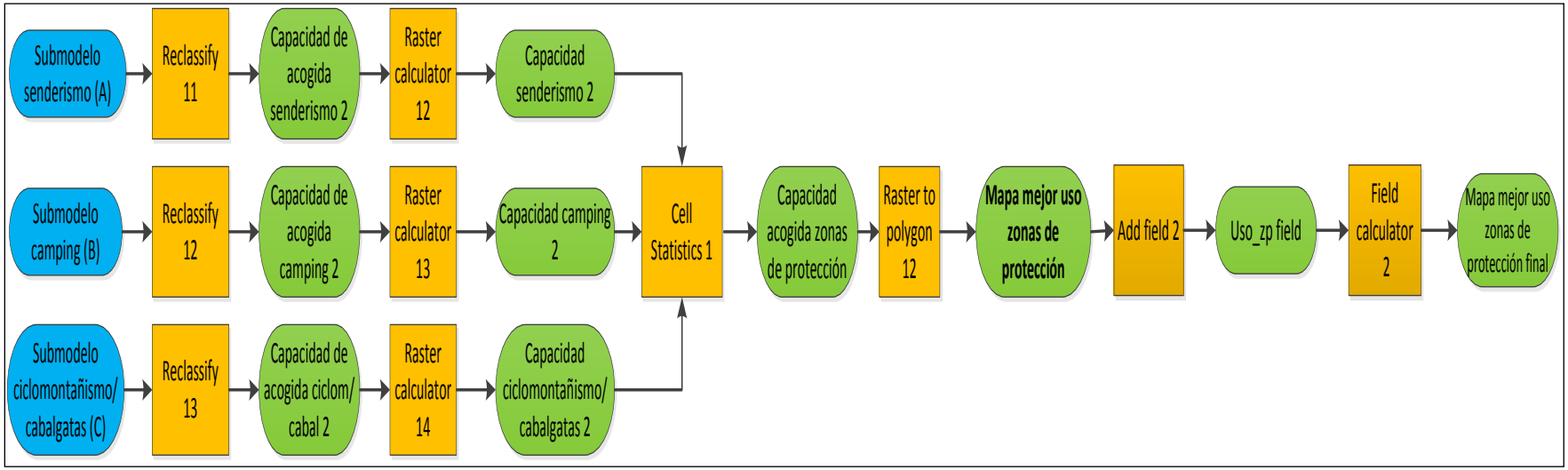
Submodelo de capacidad de acogida para navegación comercial (J)



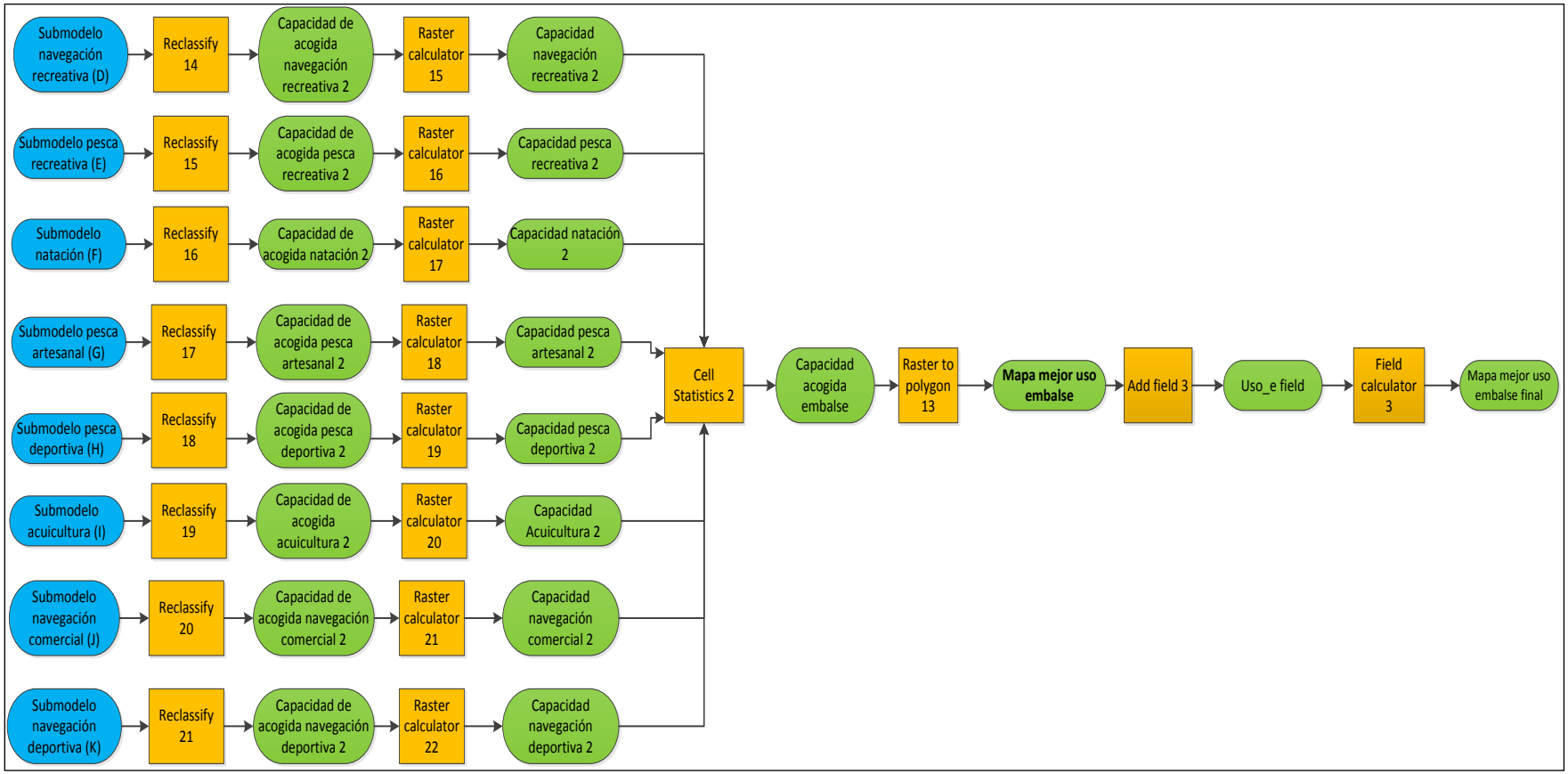
Submodelo de capacidad de acogida para navegación deportiva (K)



Modelo para mejor uso en zonas de protección



Modelo para mejor uso en embalse



Bibliografía

Acosta Toledo, C. L. (2004). *Efecto de las empresas transnacionales en las comunidades indígenas: Endesa y la comunidad mapuche-pehuenche*. Recuperado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lri/acosta_t_cl/capitulo3.pdf

Agudelo Patiño, L. (1998). *Capacidad de carga y huella ecológica del Valle de Aburrá*. Colombia: Convenio Corantioquia - Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Ayuntamiento de Chinchilla de Montearagón. (s.f.). *Plan de Ordenación Municipal*. Recuperado de http://www.ayuntamientochinchilla.com/normas/normas.htm

Antequera Terroso, E. (2008). *Temas de ordenación del territorio*. Tomo II. España: Universidad Politécnica de Valencia.

Asociación de Ciencias Ambientales. (2012). *Proyecto Río Henares*. Recuperado de http://www.riohenares.org/index.php/rio-henares/calidad-de-las-aguas/41-porcentaje-de-saturacion-de-oxigeno.html

Bosque Sendra, J. y García, R. (2000). El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de la Universidad complutense*, 20, 49-67. Recuperado de http://www.geogra.uah.es/joaquin/pdf/SIG_Ordenacion-territorio.pdf

Bravo Estévez, M. de L., Arrieta Gallastegui, J. J. (s.f.). *El método Delphi. Su implementación en una estrategia didáctica para la enseñanza de las demostraciones geométricas*. Recuperado de http://www.rieoei.org/deloslectores/804Bravo.PDF

Corporación Regional del Cauca. (s.f.). *POT*. Recuperado de http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/padilla/TITULO%202%20El%20Diagnostico.pdf

Cuellar, W. (2009). *Calidad del agua en embalses de EPM. Retos y oportunidades. Caso de estudio embalses de Riogrande II y Porce II, Antioquia, Colombia*. Ponencia IV Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente.

Decreto 3600 de 2007.

EPM. (2009). *Actualización de la caracterización socioeconómica de las comunidades del área de influencia del proyecto hidroeléctrico Porce III, Tercer corte*. Medellín

EPM. (2012). Evaluación del impacto socioeconómico del componente de reasentamiento del proyecto hidrológico Porce II. *Revista EPM, enero-junio.* Medellín: EPM

ESRI. (2010). *Performing Analysis with ArcGis® Desktop*. Estados Unidos.

ESRI. (2013). *Ayuda de ArcGIS 10.1*. Recuperado de http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/

FAO. (2005). *Guía del administrador pesquero: Diseño y aplicación de los planes de ordenación*. Recuperado de http://www.fao.org/docrep/008/y3427s/y3427s0c.htm

Franco Maass, S., Osorio García, M., Nava Bernal, G. & Regil García, H. (abril, 2009). Evaluación multicriterio de los recursos turísticos: Parque Nacional Nevado de Toluca – México. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, *18*(2), 208-226. Argentina: Centro de Investigaciones y Estudios Turísticos. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180714240006

Fundación Cemex España. (2007). *El ciclo del agua en la Comunitat Valenciana*. Recuperado de http://www.e-domenech.com/agua/valencia/castellano/cicag/2/2_5_1/main.html

Fundación Humedales. (2013). *Formulación de planes de ordenación pesquera (POP) en los embalses de Porce II y Porce III y desarrollo de acciones participativas para su implementación y manejo integral del recurso pesquero y acuícola*. Bogotá

García, J., Cadenas, R. y Simón, M. *Aplicación de un sistema de evaluación multicriterio a la conservación de fauna silvestre mediante un S.I.G.* Recuperado de http://www.lifelince.org/public/Garcia_et_al_2004.pdf

Génesis. (2013). Manual de estándares de la información geográfica para ser cargada a la Geodatabase de Génesis. Medellín: EPM

Gómez García, S. (2007). *Determinación de la capacidad de acogida del territorio a la urbanización. Estudio de caso en el corregimiento de San Cristóbal (Medellín)*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Arquitectura. Escuela de Planeación Urbano-Regional, Colombia.

Gómez Orea, D. (2007). *Ordenación Territorial*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Henríquez, C. y Qüense, J. (2009). *Evaluación multicriterio/multiobjetivo aplicada a los usos y coberturas de suelo en la cuenca de Chillán*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Jiménez, L., Álvarez, R., Gutiérrez, F., Hernández, S., Valderrama, M. y Villa, F. (2011). La pesca y los recursos pesqueros en los embalses colombianos. En: C. Lasso, F. Gutiérrez, M. Morales, E. Agudelo, H. Ramírez y R. Ajiaco (Eds.), *Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia*: *Pesquerías continentales de Colombia: Cuenca del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertientes del Pacífico (pp. 233-274).* Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.

Largo, D.C. (2011). *Caracterización espacio–temporal de la estructura térmica del embalse Porce II*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Minas. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Colombia

Ley 1558 de 2012.

León, Xavier et al. (2008). *Integración energética en Latinoamérica y conflictos socioambientales.* Recuperado de http://www.fes-ecuador.org/media/pdf/conflictossocioambientales.pdf

Luque, A. (julio-diciembre, 2003). La evaluación del medio para la práctica de actividades turístico-deportivas en la naturaleza. *Cuadernos de Turismo, 12*, 131-149. España: Universidad de Murcia. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39801207

Movimiento de los Afectados por las Represas – MAB. (2011). *Violación de los derechos humanos en la construcción de represas*. Síntesis del Informe de la Comisión Especial "Afectados por Represas". Consejo de Defensa de los Derechos de la Persona Humana. Sao Paulo

Naciones Unidas, CEPAL & GTZ. (2004). *Fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe: situación y propuestas de políticas*. Recuperado de http://www.eclac.org/publicaciones/xml/2/14982/Lcl2132e_s.pdf

Orán Cáceres, J.P., Gómez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2010). Una propuesta complementaria de análisis de sensibilidad de un modelo basado en técnicas SIG y evaluación multicriterio. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos (pp. 971-987)*. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla

Otero Pastor, I., González Algarraba, E. & Moreno Cuesta, E. (Nov-Dic, 2001). Evaluación de la capacidad de acogida de nuevos usos por una vía pecuaria mediante el desarrollo de un modelo. Aplicación práctica. *Revista Informes de la Construcción*, *53*(476), 53-71. España.

Sandoval, M y Abellán, M. (julio-diciembre, 2000). Estudio de la capacidad de acogida y planificación de las áreas recreativas de Calasparra (Murcia). *Cuadernos de Turismo, 6*, 103-121. España: Universidad de Murcia. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39800607

Smith, R. y Jaramillo Álvarez, G. (2005). *Desarrollo de técnicas para el manejo de incertidumbre e imprecisión en problemas de decisión con múltiples objetivos*. Colombia: Universidad Nacional.

TURESPAÑA. (1998).Turismo Náutico. *Colección Estudios de Productos Turísticos.* Recuperado de http://www.benmagec.org/archivos/puertos%20deportivos/puertosdeportivos.html#_ftn1

Universidad de Deusto. (s.f.). *El método Delphi*. Recuperado de http://www.prospectiva.eu/zaharra/Metodo_delphi.pdf

Universidad Nacional. (s.f). *Qué hace un SIG con la información?* Recuperado de

http://www.unal.edu.co/siamac/sig/publica/SIG1.pdf

Universidad Nacional. (2011). *Plan de monitoreo y seguimiento de la componente físico – biótica. Ejecución del monitoreo del paisaje en la zona de influencia del Embalse Porce II y Embalse Porce III.* Medellín

Universidad Politécnica de Cataluña. (s.f.). *Evaluación financiera de la inversión en un puerto deportivo. Análisis de rentabilidad y sensibilidad*. Recuperado de http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4373/18/04.pdf

Valderrama, M. (1984). *Análisis de la situación actual y perspectivas de desarrollo pesquero en embalses de Colombia*. Recuperado de http://www.fao.org/docrep/008/ad772s/AD772S16.htm