



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Energía y Ambiente

**ANÁLISIS DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS, MEDIANTE TÉCNICAS GEO-
ESPACIALES CON ENFOQUE INTEGRAL, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BONITO,
IZABAL**

Iván Antonio Salazar Sosa

Asesorado por MEA. Rosa Liliana Hernández

Guatemala, noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS, MEDIANTE TÉCNICAS GEO-
ESPACIALES CON ENFOQUE INTEGRAL, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BONITO,
IZABAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y A LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
POR

IVÁN ANTONIO SALAZAR SOSA
ASESORADO POR MEA. ROSA LILIANA HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henri Fernando Duarte
SECRETARIA	Inga Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Doctora Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
SECRETARIA	Inga Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS, MEDIANTE TÉCNICAS GEO-
ESPACIALES CON ENFOQUE INTEGRAL, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BONITO,
IZABAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 16 de abril de 2016.

Ivan Antonio Salazar Sosa



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

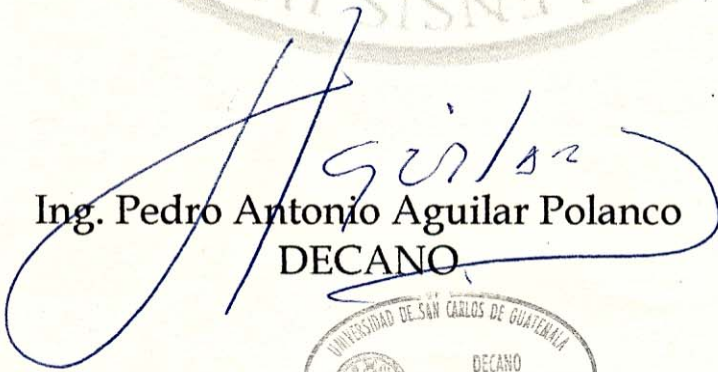
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2016-073

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: **"ANÁLISIS DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS, MEDIANTE TÉCNICAS GEO - ESPACIALES CON ENFOQUE INTEGRAL, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BONITO, IZABAL"** presentado por el Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables Iván Antonio Salazar Sosa, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO



Guatemala, noviembre de 2016.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC

ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-073

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"ANÁLISIS DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS, MEDIANTE TÉCNICAS GEO - ESPACIALES CON ENFOQUE INTEGRAL, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BONITO, IZABAL"** presentado por el Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables Iván Antonio Salazar Sosa, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director

Escuela de Estudios de Postgrado





FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-073

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente y revisor del Trabajo de Graduación titulado **"ANÁLISIS DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS, MEDIANTE TÉCNICAS GEO - ESPACIALES CON ENFOQUE INTEGRAL, EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BONITO, IZABAL"** presentado por el Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables Iván Antonio Salazar Sosa, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, noviembre de 2016

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Todo lo puedo en aquel que me fortalece.
Mis padres	María Eugenia Sosa Pérez, viuda de Salazar, el ángel que aún me cuida en la tierra, Daniel Salazar Paz (+) mi ángel que fue llamado a ocupar su lugar en cielo, los amo.
Mi esposa	Ana Lucia Rodríguez Yocuté, gracias mi dulce bebe, por tu apoyo, tu ternura y todo el amor, luchando juntos. Te amo Anita.
Mi suegra	Rufina Yocuté, gracias por toda su amistad, por brindarme su más preciada joya.
Mis tíos	Evangelina, Mario, Alberta, Rosa, Blanca, Sosa Pérez, por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mi hermano	Byron Daniel Salazar, por su ejemplo, honradez y profesionalismo.
Ingeniero	Marco Alexander Tax, por brindarme su apoyo incondicional para superarme profesionalmente.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San Carlos
de Guatemala**

Por ser la academia guía, formadora
profesionales dignos de la patria.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme la oportunidad de
continuar con mi formación profesional.

Compañeros de la maestría

Mario, Vinicio, Ernesto, Enrique, Lee
gracias por ser un equipo, una
manada..

Señor

Eduardo Donis Fuentes, por el aprecio,
respeto y el cariño como de un hermano
de toda una vida, brindado a mi padre y
a mi familia.

Amigos

Héctor López, Patricia Vélez, Sandra
Mateo, por demostrarme el verdadero
valor de la amistad.

Asesora

Rosa Lilibiana Hernández, por su apoyo y
asesoría.

Ingenieros

Elmer Antonio Álvarez, Edwin García,
Josué Franco, Manuel Henry, Elder
Figuroa, Minor García, por su gran
apoyo y amistad sincera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
LISTA DE ABRVIATURAS.....	IX
ACRONIMOS.....	X
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. La cuenca hidrográfica	1
1.1.1. El enfoque de manejo integrado de cuenca	1
1.1.2. La cuenca como un sistema	1
1.1.3. La cuenca formada por subsistemas	2
1.1.4. Partes de una cuenca hidrográfica	3
1.1.5. División de una cuenca hidrográfica	4
1.1.6. Manejo integral en el desarrollo sostenible.....	5
1.2. El análisis geoespacial	7
1.2.1. Aplicación de los SIG.....	8
1.2.2. Ventajas de los SIG	10
1.2.3. Importancia de los SIG	11
1.2.4. Los SIG como conjunto de subsistemas.....	12
1.2.5. Los SIG aplicados al manejo de cuencas.....	13

2.	MARCO REGULATORIO, JURÍDICO LEGAL	20
2.1.	Áreas protegidas	20
2.2.	Categorías de manejo de áreas protegidas.....	20
2.3.	Administración de áreas protegidas	22
2.4.	La Secretaría Ejecutiva del CONAP	22
2.5.	Departamento de Planificación de SECONAP	22
2.6.	Unidad de Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental	23
2.7.	Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil	24
2.7.1.	Plan maestro de la reserva San Gil	24
2.7.2.	Objetivos de la reserva San Gil	24
2.7.3.	Normativa de la reserva San Gil	25
2.7.4.	Zonificación de la reserva San Gil	25
	Zona núcleo	25
	Zona de uso múltiple	26
	Zona de amortiguamiento	27
	Zona recreativa	28
2.8.	Delimitación del área de estudio	30
2.8.1.	Recursos hídricos de la reserva San Gil	30
2.8.2.	Contexto social en la reserva San Gil	32
3.	RESULTADOS ,ANÁLISIS, DISCUSIÓN	39
3.1.	Aplicación de técnicas geoespaciales	39
3.1.1	Identificación de variables	39
3.1.2.	Identificación de variables de importancia	39
3.1.3.	Identificación de factores de vulnerabilidad	39
3.1.4.	Identificación de superposición de capas	40
3.2.	Caracterización de principales variables para identificar posibles impactos.....	41

3.3. Aplicación de técnicas geoespaciales para determinar medidas de mitigación adecuadas de acuerdo a la normativa del área protegida	42
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÉNDICE.....	76

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Representacion del sistema cuenca	2
2.	Partes de una cuenca	4
3.	Division de la cuenca	5
4.	Proceso de análisis geoespacial.....	9
5.	Ejemplo de raster.....	10
6.	Ejemplo de vector.....	10
7.	Representacion formato raster.....	10
8.	Representación formato vector	11
9.	Cobertura brutas	12
10.	Componentes de un SIG.....	13
11.	Ubicación del área de estudio	30
12.	Flujograma del proceso de analisis propuesto	41
13.	Mapa de morfometria y areas potenciales corrientes hídricas	43
14.	Mapa de area de mayor recarga hídrica	44
15.	Mapa de red de corrientes en partes de la cuenca	45
16.	Mapa pendientes mayores a 55 %	47
17.	Mapa exposicion pérdida de suelo	49
18.	Mapa geología y textura suelo	51
19.	Mapa de sistema de áreas protegidas	52
20.	Mapa de identificación de riesgos a impactos ambientales.....	55
21.	Interrelación de sostenibilidad	58
22.	Mapa de cobertura vegetal a mantener.....	61
23.	Mapa de manejo de prácticas de conservación de suelos.....	62

24.	Mapa de propuesta de áreas de amortiguamiento ríos.....	63
25.	Mapa de recomendación de manejo en zona núcleo	64
26.	Mapa de usos recomendados y apropiados	65

TABLAS

I. Cuencas de la reserva Cerro San Gil	31
II. Rios de la reserva Cerro San Gil	32
III. Matriz de identificacin de variables	38
IV. Matriz de importancia de ambiental	39
V. Matriz de importancia de vulnerabilidad.....	39
VI. Matriz de valoración de impactos.....	54
VII. Matriz de relación de jerarquización de impactos	54
VIII. Matriz de identificacion de impactos y medidas de mitigación	66

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
dbf.	Estructura y registro de datos
ha.	Hectárea
km.	Kilómetro
msnm.	Metros sobre el nivel del mar
%	Porcentaje
mz.	Manzana
Shp.	Entidades geométricas de los objetos
Shx.	Índice de las entidades geométricas
qq.	Quintal
Zn.	Zona núcleo
ZUM	Zona uso múltiple
ZAM	Zona de amortiguamiento
ZR	Zona recreativa

ACRÓNIMOS

CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
COMUDE	Consejo Municipal de Desarrollo.
FUNDAECO	Fundación para el Eco desarrollo.
INAB	Instituto Nacional de Bosques.
IGN	Instituto Geográfico Nacional.
MAGA	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.
PINFOR	Programa de Incentivos Forestales.
RPMCSG	Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil.
UICN	Unión Internacional para la Conservación.
TNC	The Nature Conservancy.

RESUMEN

El presente trabajo final de graduación describe y explica la funcionalidad de Manejo Integrado de Cuenca, utilizando la metodología del análisis Geoespacial como una herramienta de aplicación para el enfoque integral en la microcuenca de río Bonito en la reserva protectora de manantiales Cerro San Gil, Izabal como parte del proceso de la evaluación de instrumentos de impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos, a utilizarse en la Unidad de Estudios de Impacto Ambiental del CONAP.

Por si misma, la metodología pretende ser una herramienta práctica y factible para la toma de decisiones en el análisis de las distintas propuestas de proyectos hidroeléctricos presentados en la unidad que fortalezcan los principios de la sostenibilidad.

Los beneficiarios directos, en primer lugar, serán los usuarios que presentan el respectivo instrumento de evaluación ambiental, para un proyecto hidroeléctrico, ya que los SIG como una herramienta aplicada al manejo integrado de cuencas, pretende fortalecer la toma de decisiones para minimizar los impactos en el manejo de los recursos naturales; en segundo lugar, la Unidad de Estudios de Impacto Ambiental del CONAP, quien utilizará directamente en sus análisis esta herramienta fundamental; posteriormente será la Institución, quien fortalecerá sus procedimientos en el marco de las líneas de investigación de la Maestría en línea número 2 Gestión y Políticas Energéticas Ambientales sub línea 2.4 Evaluación de impactos ambientales en el sector energético y aspectos institucionales y legales .

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala, todo proyecto, obra, industria o actividad a realizarse requiere de un Instrumento de Evaluación Ambiental (Decreto Legislativo 68-86 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente) que contenga las medidas mínimas para la mitigación de impactos para su construcción y ejecución, según las normativas ambientales vigentes e ingresar para su análisis al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Para el caso de este tipo de actividades serán realizadas dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas, deberán presentarse al Consejo Nacional de Áreas Protegidas para su análisis y aprobación, dentro de la estructura y funcionamiento de CONAP, es la Unidad de Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental del departamento de Planificación, que realiza la evaluación de dichos instrumentos ambientales, pero estos instrumentos muchas veces no presentan una metodología de análisis que facilite la identificación de las principales variables biofísicas y geomorfológicas que puedan estar sujetas a impactos positivos o negativos por lo cual la aplicación de herramientas geo espaciales que permitan un análisis rápido y confiable, se convierte en una herramienta fundamental específicamente para el enfoque de Manejo Integrado de Cuencas, como parte de los Procesos de Planificación y Monitoreo Ambiental. El análisis geoespacial como una herramienta con enfoque de manejo integrado de cuencas vinculado a la normativa de Planes Maestros facilita y agiliza dicho proceso.

En la actualidad no se tiene una metodología estandarizada que cumpla con lo anterior, por lo que el presente estudio pretende hacer una descripción de la aplicación de dichas técnicas de análisis geoespacial, por medio de la caracterización de las principales variables a nivel de microcuenca que a su vez, permita identificar los posibles impactos y sus medidas de mitigación con base a esas variables en la fase de evaluación de los distintos proyectos hidroeléctricos.

Derivado de lo anterior, se hace la pregunta principal ¿La aplicación de herramientas geoespaciales permite una evaluación rápida? que orienta a la identificación de las variables biofísicas y morfológicas con enfoque de manejo integrado, que pueden verse afectadas, por el planteamiento de proyectos hidroeléctricos que se podrían ejecutar en los límites de la microcuenca del río Bonito en la reserva protectora de manantiales Cerro San Gil.

- Mediante la utilización de herramientas geoespaciales, por medio de la caracterización de las principales variables biofísicas, geomorfológicas y antropogénicas, se facilita la identificación de posibles impactos generados por el planteamiento de proyectos hidroeléctricos a ejecutarse en la microcuenca del río Bonito.
- Aplicando las herramientas geoespaciales en sus aspectos de relieve, geomorfología, pendiente, tipo de drenaje, altura, zonas de recarga hídrica, parte alta, media o baja de cuenca y otros aspectos productos de los SIG se fortalece la visión de manejo integrado de cuencas para la orientación de medidas de mitigación que minimicen los impactos, al suelo, al recurso hídrico, a la cobertura vegetal y a la biodiversidad vinculadas a las normas del plan maestro de RPMCSG.

OBJETIVOS

General

Determinar la funcionalidad de la cuenca hidrográfica y por medio de la ubicación de sus puntos críticos, plantear una metodología, aplicando herramientas geoespaciales para identificar posibles impactos y plantear las medidas de mitigación, en la microcuenca del río Bonito.

Específicos

1. Plantear una metodología de evaluación rápida en la fase de gabinete que oriente a la identificación de las principales variables biofísicas y geomorfológicas, con un enfoque de manejo integrado a nivel de la microcuenca del río Bonito, mediante la aplicación de técnicas geoespaciales, utilizando sobre posición de capas ya generadas.
2. Caracterizar las principales variables biofísicas, geomorfológicas, y antropogénicas de la microcuenca del río Bonito, en la reserva cerro San Gil para identificar posibles impactos de proyectos hidroeléctricos tomando como unidad de planificación la cuenca hidrográfica.
3. Plantear la aplicación de técnicas de análisis geoespacial como una herramienta para el análisis de proyectos hidroeléctricos en los límites de la microcuenca río Bonito, que a partir de las principales variables biofísicas, geomorfológicas, antropogénicas, permita la determinación de medidas de mitigación más adecuadas, vinculadas a la normativa del plan maestro de la reserva Cerro San Gil.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

- Variables

Principales variables identificadas y utilizadas en el presente trabajo de graduación, basada directamente en lo cualitativo y cuantitativo.

- Cuantitativas

- Alturas en metros
- Pendientes en porcentaje
- Elevaciones en metros sobre el nivel del mar
- Coordenadas Geográficas, GTM.
- Medida de terreno (área)
- Pendientes (rangos en %)

- Cualitativas

- Aspectos biofísicos
- Geomorfología
- Fisiografía
- Topografía
- Drenaje superficial (tipo de drenaje: dendrítico, paralelo sub paralelo meandro)
- Serie de suelo
- Textura de suelo
- Usos recomendados
- Uso actual
- Cobertura vegetal
- Vegetación

- Zonas de vidas
- Zonificación Áreas Protegidas
- Límite de cuencas parte baja, media y alta

A continuación se describe la metodología utilizada para la realización del trabajo de graduación titulado: Análisis de Proyectos Hidroeléctricos mediante técnicas geoespaciales con enfoque integral, en la microcuenca del río Bonito, Izabal.

- Metodología por objetivos
- Objetivo 1
 1. Se recopiló la información sobre manejo integrado de cuencas colocando los conceptos que respaldan el presente trabajo colocados en el marco teórico, a través de la revisión de distintas fuentes bibliográficas.
 2. Después de realizar la revisión de distintos documentos, se procedió a la recopilación y redacción sobre información de análisis geoespacial y cartografía, cuenca hidrográfica, manejo integral de cuencas, hidrología e hidrografía, normativa, aspectos legales, jurídicos y sociales de áreas protegidas y área de estudio.
 3. Recopiladas las capas o shapes generadas por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, Instituto Geográfico Nacional, Instituto Nacional de Bosques, entre otros, con las principales variables a analizar en el manejo integrado de cuencas.

- Objetivo 2

1. Se tomaron lecturas de puntos georreferenciados con GPS en área de influencia de la cuenca de río Bonito.
2. Ubicar los puntos geo referenciados en las distintas capas o shapes, para generar los mapas correspondientes.
3. Hacer ubicación geoespacial (a nivel geográfico, municipal y departamental) de la microcuenca sujeta a influencia de proyectos hidroeléctricos.
4. En campo se verificó los aspectos relacionados a pendiente, pedregosidad, textura de suelo, cuerpos de agua, vegetación, uso actual, porcentaje de la pendiente.
5. Con la verificación en campo, se procedió a realizar los mapas correspondientes y hacer el análisis descriptivo correspondiente.

Objetivo 3

1. Se realizó un análisis descriptivo que relaciona los componentes biofísicos, antropogénicos con los aspectos de cuenca en su parte baja, media y alta y como los proyectos hidroeléctricos influyen en estos aspectos.
2. Al interpretar los mapas fue necesario hacer las conclusiones y hacer la vinculación por medio de una matriz de análisis de los aspectos generados que son fundamentales en el aspecto de manejo integrado de cuencas.
3. Se plantea la aplicación de técnicas geoespacial como una herramienta con enfoque de manejo integrado de cuencas para la revisión aprobación de instrumentos de evaluación ambiental de proyectos hidroeléctricos.

Recursos utilizados:

- Instrumentos ambientales de hidroeléctricas
- Computadora
- Software: Arcgis , Kosmo, Quantum gis
- GPS
- Libreta de campo
- Base de datos de SIG (Capas o shapes de información climática, biofísica, hídrica, geomorfológica, pendientes, alturas, cuencas, cobertura vegetal, suelo, uso actual, cobertura vegetal entre otros).
- Cámara fotográfica
- GPS con altímetro
- Vehículo para toma de muestras en campo
- Asesoría técnica y toma de muestras en campo
- Viáticos visitas de campo

Ubicación y delimitación del área de estudio:

Después de la recopilación de la información existente sobre la cuenca de estudio, la base de datos en formato digital y mapas de curvas a nivel, ríos, caminos y poblados del área de estudio generados por el Instituto Geográfico Nacional, se obtuvo información cartográfica digital de la cuenca del río Bonito realizando una caracterización de los siguientes aspectos:

- Geomorfología
- Suelos
- Capacidad de uso de la tierra
- Hidrografía (drenaje superficial o corrientes hídricas)
- Uso actual y cobertura

- Vegetación y características bióticas (zonas de vida, especies vegetales)
- Usos recomendados
- Centros poblados
- Infraestructura vial

El análisis espacial de información biofísica, se realizó con el software y aplicación de teledetección de la marca ERDAS y Software Arc Gis, y Quantum Gis, que tienen capacidad de realizar operaciones matemáticas con los mapas básicos y temáticos. Luego del análisis y depuración de la información obtenida, se ingresará, al computador digitalizando los datos para alimentar la base de datos de la microcuenca del río Bonito. Cada variable biofísica de interés fue estudiada en forma detallada como a continuación se especifica:

Recurso hídrico:

Para el análisis de la variable hídrica, se realizó la delimitación de la cuenca, determinación de su área y su forma. Se realiza el análisis y trazado de los ríos y curvas de nivel con apoyo del modelo de elevación digital de la base de datos del MAGA y hojas cartográficas, usando la extensión Hydrology en el Software a utilizar. Con los resultados obtenidos de la digitalización se hizo el trazo de la red de corrientes hídricas o de los ríos considerando el orden y el tipo de corriente para cada uno. Se determinó la clase y orden de corrientes y se midió la longitud del cauce principal el área de cuenca y su perímetro. Para el desarrollo de los estudios morfo métricos hay variaciones en los límites considerados en el trazo del parte aguas de la cuenca, dependiendo del nivel de detalle con el que se trabaje, en este caso, se utilizó las bases de datos a escala de semidetalle para el estudio del río Bonito.

Se analizó el mapa de corrientes hídricas delimitándose la microcuenca para determinar las zonas de mayor área de captación y recarga hídrica. Se determinó la red de corrientes hídricas Intermitentes: permanecen únicamente en época de invierno; efímeras que son corrientes que aparecen exclusivamente durante una lluvia, especialmente cuando es intensa.

Longitud media de corrientes:

Es el indicador de pendientes, de tal cuenta que, las cuencas con corrientes con longitudes cortas reflejan pendientes muy escarpadas y las cuencas con longitudes largas van a reflejar pendientes suaves o planas. La longitud de las corrientes fue calculada usando Software (Kosmo, Quantum Gis ArcGis.).

Aspectos superficiales:

El análisis de superficie se elaboró un plano bidimensional de la microcuenca, con el cual se obtuvo la información que combinada con los aspectos lineales proporcionaron una clara idea de las características generales de la microcuenca.

Aspectos de relieve:

Los aspectos de relieve se refieren al comportamiento altitudinal lineal y de superficie de una cuenca. La configuración topográfica es uno de los factores que determinan la hidrografía de una cuenca, ya que el relieve tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma.

INTRODUCCIÓN

Debido a que la información geo-espacial proporciona una perspectiva única para analizar eventos y procesos que tienen lugar sobre el territorio, pues permite localizar cada evento en su posición geográfica, resulta imprescindible de cara a establecer relaciones entre procesos y apoyar la toma de decisiones.

Las nuevas tecnologías de información espacial proporcionan información precisa, detallada y rápida de gran utilidad para la evaluación y gestión de recursos. Las administraciones públicas y las empresas utilizan cada día información geo-espacial para el desarrollo de estrategias y la toma de decisiones. Se ve inminente en este contexto, la necesidad de generar conocimiento científico y tecnológico en este campo. En sintonía con esta demanda, la propuesta protocolo de investigación se centra en la aplicación del análisis geoespacial como una herramienta que brinde el enfoque de manejo integrado de cuencas en la fase de gabinete, para la evaluación aprobación y gestión ambiental a diversas escalas, tanto local como regional y nacional. El principal objetivo es contribuir al diagnóstico y gestión de problemas ambientales haciendo especial énfasis en el análisis de las interacciones de las actividades humanas con el medio y el planteamiento de las medidas de mitigación adecuadas derivadas de proyectos hidroeléctricos a realizarse dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas en el proceso de evaluación y aprobación en la Unidad de Evaluación de Impacto Ambiental léase más adelante EIAS, del Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP léase a continuación CONAP específicamente de proyectos de generación hidroeléctrica para el presente planteamiento. Dentro del desarrollo del marco teórico, se hace una referencia de las fuentes de información consultadas para el respaldo del mismo.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. La cuenca hidrográfica

Se entiende por cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje al espacio delimitado por la unión de todas las cabeceras que forman el río principal o el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico formado así un sistema. Este sistema posee entradas y salidas de agua por las siguientes formas:

Las entradas por precipitación: lluvia, granizo, nieve, condensaciones.

- Aporte por aguas subterráneas: provenientes de otras cuencas o mantos acuíferos subterráneos.
- Trasvase de otra cuenca.
- Descargas: de centrales hidroeléctricas cuya captación se sitúa en otra cuenca.
- Descarga: de aguas servidas de ciudades situadas en las cuencas.

Las salidas de agua de la cuenca puede darse por:

- Evapotranspiración de bosques o de áreas cultivadas con o sin riego.
- Evaporación desde superficies líquidas como lagos, tanques o pantanos.
- Infiltraciones profundas que alimentaran acuíferos.
- Derivaciones hacia otras cuencas hidrográficas.
- Derivaciones para consumo humano y en la industria.
- Salida de la cuenca, hacia un receptor o hacia el mar.

En una cuenca hidrográfica es necesario e indispensable que se tenga en cuenta un equilibrio entre las entradas y salidas del recurso hídrico, que es lo que conocemos como el “balance hídrico”, el cual consiste en determinar el

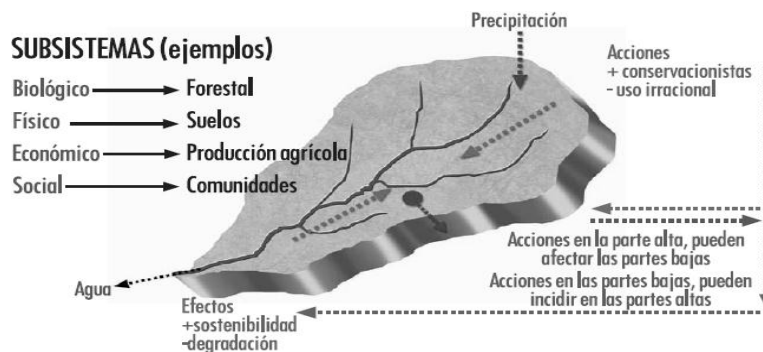
estado actual y proyecciones futuras del recurso hídrico en cuanto a cantidad y calidad, estableciendo la presión sobre el mismo al considerar su distribución espacial y temporal de oferta, disponibilidad y demanda. (Braña y Jacobo 2006).

1.1.2. La cuenca hidrográfica como sistema

Para comprender por qué la cuenca hidrográfica es un sistema es necesario explicar que:

- En la cuenca hidrográfica existen entradas y salidas, por ejemplo, el ciclo hidrológico permite cuantificar que a la cuenca ingresa una cantidad de agua por medio de la precipitación y otras formas; y luego existe una cantidad que sale de la cuenca, por medio de su río principal en las desembocaduras o por el uso que adquiera el agua.
- En la cuenca hidrográfica se producen interacciones entre sus elementos, por ejemplo, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas.
- En la cuenca hidrográfica existen interrelaciones, por ejemplo, la degradación de un recurso como el agua, está en relación con la falta de educación ambiental, con la falta de aplicación de leyes, con las tecnologías inapropiadas, etc.

Figura 1. Representación sistema cuenca



Fuente: Manejo de Cuencas Visión Mundial manual técnico (2009).

1.1.3. El Sistema cuenca hidrográfica, integrado por los subsistemas

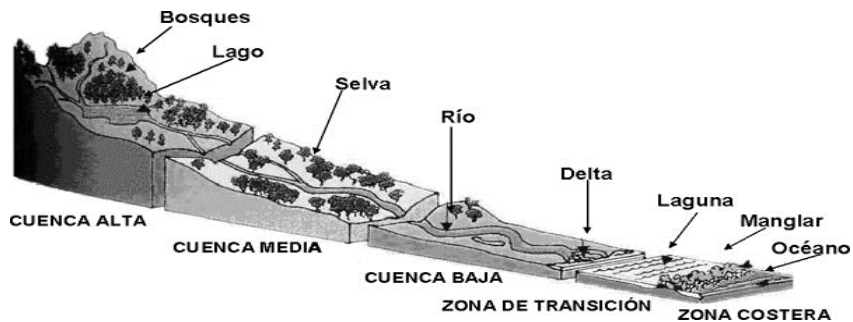
- Biológico, que integran esencialmente la flora y la fauna, y los elementos cultivados por el hombre.
- Físico, integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima (temperatura, radiación, evaporación, etc.).
- Económico, integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre, en agricultura, recursos naturales, ganadería, industria; servicios (camino, carreteras, energía, asentamientos y ciudades)
- Social, integrado por los elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, salud, educación, vivienda, culturales, organizacionales, políticos, etc. Los elementos que integran los subsistemas variarán de acuerdo al medio en el que se ubique la cuenca y al nivel de intervención del factor humano.

1.1.4. Partes de una cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se puede decir que está compuesta por determinadas partes, según el criterio que se utilice por ejemplo:

Criterio uno, altitud: Si el criterio utilizado es la altura, se podrían distinguir la parte alta, media y baja, sucesivamente, en función de los rangos de altura que tenga la cuenca. Si la diferencia de altura es significativa y varía de 0 a 2,500 msnm., es factible diferenciar las tres partes, si esta diferencia es menor, por ejemplo de 0 a 1000 msnm, posiblemente sólo se distingan dos partes, y si la cuenca es casi plana será menos probable establecer partes. Generalmente este criterio de la altura, se relaciona con el clima y puede ser una forma de establecer las partes de una cuenca.

Figura 2. Representación partes de una cuenca, según criterio de altitud



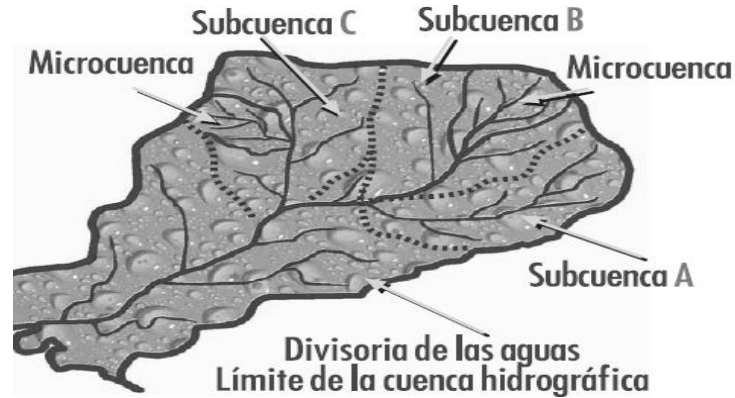
Fuente: Manual de Manejo de Cuencas Visión Mundial (2009).

Criterio dos, topografía: que es otro criterio muy similar al anterior que indica la relación con el relieve y la forma del terreno, las partes accidentadas forman las montañas y laderas, las partes onduladas, casi planas y planas, forman los valles; y finalmente, otra parte es la zona por donde discurre el río principal y sus afluentes, a esta se le denomina cauce.

1.1.5. División de una cuenca

La cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el curso principal. El trazo de la red hídrica es fundamental para delimitar los espacios en que se puede dividir la cuenca. A un curso principal llega un afluente secundario, este comprende una sub cuenca. Luego al curso principal de una sub cuenca, llega un afluente terciario, este comprende una microcuenca, además están las quebradas que son cauces menores.

Figura3. División de una cuenca hidrográfica



Fuente: elaboración propia, modificado de Manual de Manejo de Cuencas Visión Mundial (2009).

Sub cuenca:

Territorio que drena hacia el cauce principal de una cuenca el cual está conformado por un grupo de microcuencas.

Microcuenca:

Territorio que drena sus aguas hacia un curso principal de una sub cuenca, es decir que, la cuenca se divide en sub cuencas las que a su vez se dividen en microcuencas.

1.1.6. Enfoque de manejo integrado de cuencas

Existen varios autores y conceptos que convergen en conceptos similares, haciendo un breve resumen de todos conceptos en el presente estudio, se define como la herramienta que permite desarrollar las directrices de protección del recurso, ordenación de recursos naturales, ordenamiento territorial, con el fin principal de mejorar o fortalecer el nivel y calidad de vida de las poblaciones.

Permite que los proyectos de inversión dentro de una cuenca hidrográfica se fundamenten con los principios de sostenibilidades tomando en cuenta la división de la cuenca en sus partes baja, media y alta, según (García, 1997).

1.1.7. Manejo integral de la microcuenca en el desarrollo sostenible

Es importante señalar, que esta alternativa de utilizar el manejo integral de las microcuencas, para contribuir con el desarrollo sostenible, tiene su base en las posibilidades más directas que se definen en los espacios de las microcuencas. En territorio pequeño es probable que las comunidades tengan intereses comunes, por lo tanto, la participación conjunta de actores y usuarios de los servicios y recursos de las cuencas, harán posible la aplicación de todas las acciones técnicas directas e indirectas que la cuenca requiere.

También los extensionistas y facilitadores de los procesos de desarrollo sostenible tendrán mayor posibilidad de interactuar directamente y en forma más continua con los beneficiarios. Las organizaciones locales se estructurarán mejor y verán los beneficios de manera más inmediata, facilitando la continuidad de acciones. Esta intervención por microcuencas, debe considerar un plan de manejo integral o un plan maestro de la gran cuenca. Un aspecto particular, pero que no es exclusivo, que hace posible la sostenibilidad de los recursos naturales, es el trabajo que se realiza a nivel de finca o de cualquier otra unidad de intervención, cuando se implementan acciones por medio de microcuencas. En este caso, por ejemplo, es más probable que los agricultores adopten las tecnologías, por la continua y frecuente asistencia técnica que puedan recibir. El manejo integral, de carácter estratégico, tiene su base en la visión de conjunto (holística) de la cuenca para su uso óptimo. Surge como una necesidad incuestionable ante las condiciones de la cuenca, es decir,

se tiene la perspectiva de todos los sectores y factores: recursos naturales, recursos humanos, actividad socioeconómica, medioambiente, instituciones, etc. El manejo integral es de hecho la excepción, no la regla de lo que se hace hoy día. Puede constituir un objetivo de la gestión. El manejo integrado, de carácter táctico y operativo, tiene su base en los conceptos de relaciones y de balance adecuado entre los componentes del geo sistema que es la cuenca Según (Cotler, 2004).

1.1.8. El manejo de cuencas

Es el proceso complejo que le da orden a un conjunto de acciones dentro de la cuenca superficial (hidrográfica) o cuenca subterránea (hidrológica), encaminado a lograr un desarrollo social y económico sostenible en el tiempo además de la protección del medioambiente mencionado de González 2000 en (Cothler, 2004).

1.2. El análisis geoespacial:

Se puede describir como análisis geoespacial al conjunto de actividades que tienen como objetivo la explotación y análisis de imágenes (ya sean aéreas o de satélite) e información geoespacial que describe, valora, y representa visualmente las características físicas y geográficamente referencia las actividades en la Tierra. Debido a la constante evolución de las tecnologías de información geográfica, y reconociendo la importancia que la información ejerce sobre las actuaciones humanas, es imprescindible detectar con anticipación.

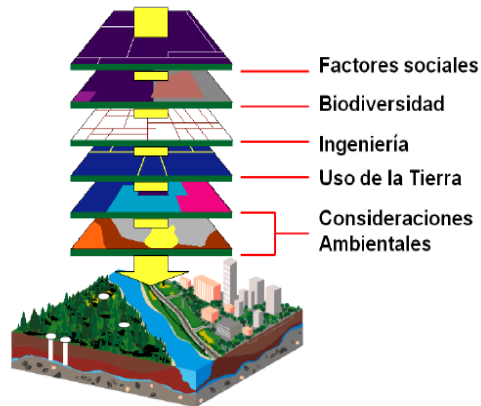
Los retos que la sociedad demanda por medio de la utilización e interpretación de los sistemas de información geográfica, que son una serie de elementos y sistemas que interactúan a través de los sensores remotos para la obtención de información a distancia que utilizan un programa de software que

combina los datos que puede ser atado a las coordenadas geográficas con las herramientas y métodos que pueden transformar la información en una herramienta analítica poderosa. La tecnología SIG puede superponer muchos tipos de datos, incluidos los demográficos, estadísticos, topográfico, la infraestructura.

De la ciudad, o los datos relacionados con el clima, hídrico, forestal, ambiente, vegetación, riesgos, geología, fisiografía y otros representados en mapas para transformar datos complejos en información útil. En conjunto, los programas de SIG, los datos y las metodologías se combinan para proporcionar una tecnología llamada análisis geoespacial, según (Puerta, Rengifo y Bravo, 2011).

Un sistema de información geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés (Geographic information system) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada y en un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones según (Calderón, Álvarez y Axpuc, 2011).

Figura 4. **Proceso de análisis geoespacial y sobre posición de capas para generación de información y mapas temáticos**

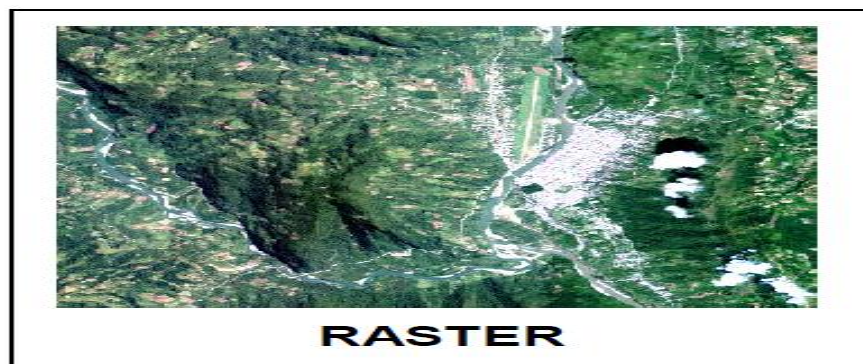


Fuente: Manual Técnico Software para análisis geoespacial Arc gis 10 Básico Universidad Agraria Perú (2010).

1.2.1 Formato de almacenamiento de datos espaciales

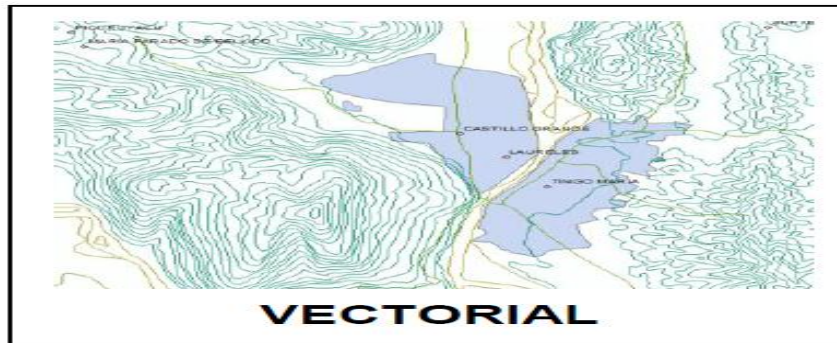
El objeto con el que se trabaja puede ser de dos tipos de formatos Raster (archivo de imagen) y vectorial (cobertura).

Figura 5. **Ejemplo de formato raster o imagen**



Fuente: elaboración propia, modificada del Manual Técnico Software para análisis geoespacial Arc gis 10 Básico Universidad Agraria Perú. (2010).

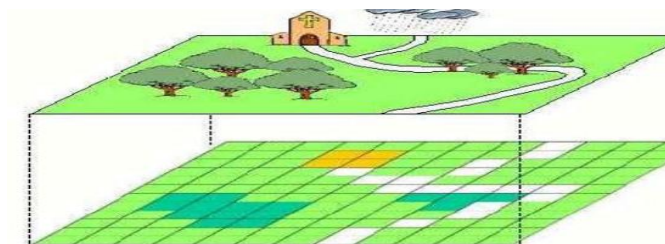
Figura 6. **Ejemplo de formato vectorial o cobertura**



Fuente: elaboración propia, modificada del Manual Técnico Software para análisis geoespacial Arc gis 10 Básico Universidad Agraria Perú. (2010).

El formato raster, Captura información mediante los medios: Scanner, satélite, fotografía aérea, cámaras de video entre otros. Son fotografías, imágenes digitales capturadas por satélites (LandSat, Spot) o información digital de un mapa. Trabaja con celdas de igual tamaño que poseen un valor; el tamaño de la celda define el nivel de detalle de la información. Este modelo está orientado para representar fenómenos tradicionalmente geográficos que varían continuamente en el espacio; como la pendiente del terreno, altitud o precipitación. El modelo raster también es llamado imagen, según (Puerta, Rengifo y Bravo, 2011).

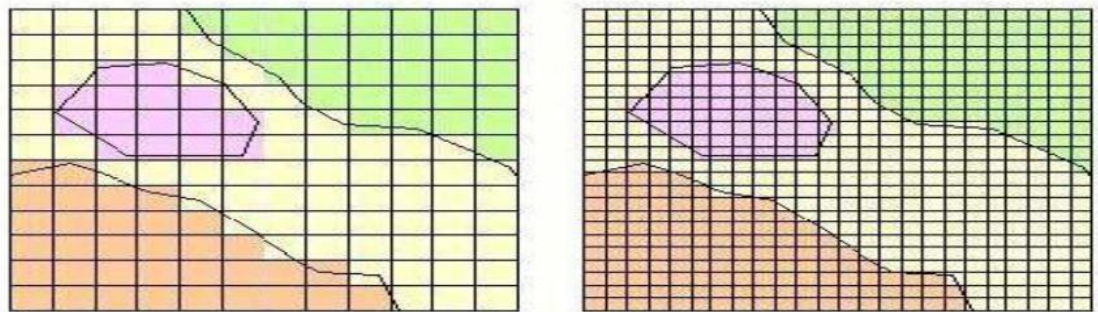
Figura 7. **Representación de formato raster**



Fuente: Manual Técnico Software para análisis geoespacial Arc gis 10 Básico Universidad Agraria Perú. (2010).

En este modelo, el espacio geográfico es dividido en sectores de forma regular denominada comúnmente píxel. De esta forma se establece una malla coordenada (con el origen en la esquina superior izquierda) de píxeles en la que cada píxel va a tomar el valor de la información geográfica que se encuentre en la posición del píxel, cuanto más pequeño sea el tamaño de píxel más precisa será la representación de la información, según (Puerta, Rengifo y Bravo, 2011).

Figura 8. **Comparación de la representación raster según el tamaño de píxel**



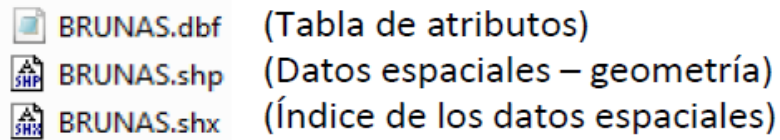
Fuente: Manual Técnico Software para análisis geoespacial Arc gis 10 Básico Universidad Agraria Perú (2009).

El propio hecho de que el píxel tenga un tamaño que puede ser mayor que el elemento geográfico que ha de almacenarse, puede hacer que los elementos geográficos sean "desplazados" de su posición real a posiciones "enteras" que son las que ocupan los píxeles, lo cual redonda en su precisión según (Puerta, Rengifo y Bravo, 2011).

El formato vectorial (shape) puede ser creado a partir de fuentes de información espacial existente, o pueden ser generados desde Software para análisis geoespacial y datos geográficos ArcGIS, Kosmos, Quantum Gis, donde se puede añadir elementos.

La composición de una cobertura vectorial en el Software, consta de tres o más archivos con el mismo nombre, pero con extensiones diferentes como se observa en el ejemplo siguiente:

Figura 9. La cobertura BRUNAS (shape) de Software (Arc Gis, Quantum Gis, Kosmo)



Fuente: Manual Técnico Software para análisis geoespacial Arc gis 10 Básico Universidad Agraria Perú. (2009).

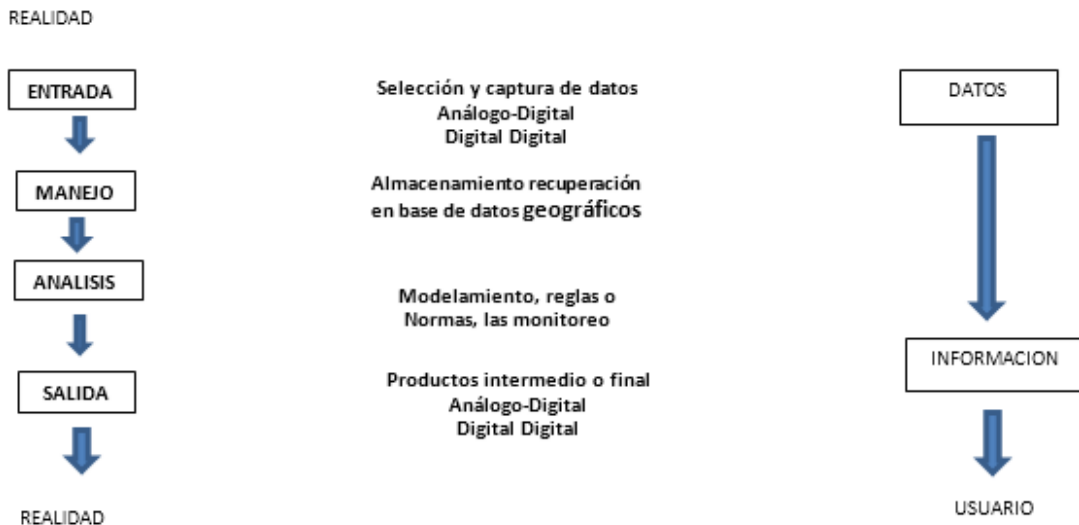
Este tipo de dato tiene gran rapidez en despliegue y visualización, además que pueden ser editados (modificados), los objetos de una cobertura vectorial pueden estar representados: puntos, línea y polígono.

La evolución de la tecnología informática ha hecho posible el desarrollo de sistemas que permiten la utilización integral de información con inmensos beneficios en la toma de decisiones el SIG maneja los datos geo referenciados mediante las siguientes tareas:

- Entrada de datos
- Manejo de datos (almacenamiento y recuperación)
- Manipulación y análisis
- Salida de datos

Como podrá observarse a continuación en la figura, se hace una breve descripción componentes de un Sistema de Información Geográfica.

Figura 10. **Componentes de un Sistema de Información Geográfica**



Fuente: elaboración propia, modificado del Manual Técnico Software para análisis geoespacial Arc gis 10 Básico Universidad Agraria Perú.

El manejo de los datos (transformaciones y mantenimiento de datos espaciales, transformaciones y reordenamiento de atributos, generación de características cartográficas similares, etc. el análisis y modelamiento (cálculo de operaciones como longitudes, áreas y volúmenes; análisis de redes y de modelos digitales de terreno; análisis de puntos, segmentos y polígonos interrelacionados; funciones topográficas, interpolaciones, operaciones de superposición, etc.), salida y presentación de los datos, es el proceso de presentar los resultados producto del análisis, las formas posibles son:

- Mapas.
- Cuadros (estadísticas, tablas, entre otros).
- Informes, gráficos y reportes.

1.2.2. Aplicaciones de los SIG

Mediante la utilización de algoritmos, los sistemas de Información Geográfica permiten realizar investigaciones de los recursos naturales, las cuales dependen en gran parte de los requerimientos e imaginación del usuario, dentro de un sistema de Información Geográfica se pueden presentar variaciones, que van desde aspectos muy elementales como son las funciones que determinan longitudes y áreas hasta situaciones mucho más complejas como los modelos digitales de elevación del terreno, modelos de predicción, entre otros.

Como resultado del funcionamiento y operación de estos sistemas, se puede tener información altamente confiable relacionada con:

La planificación rural, donde se trabaja en la localización de áreas espaciales que permiten estudiar ciertas características para la determinación de terrenos óptimos para el desarrollo de cultivos de diversos productos, la previsión de rendimientos para un determinado cultivo, estado actual de la deforestación de un municipio específico, entre otros.

La hidrografía, la determinación de áreas de inundaciones en zonas de influencia aluvial de ríos de gran caudal y estudios de amenazas en regiones en caso de que exista población humana, estudio de la densidad del drenaje, de caudales, pendientes, escorrentía, etc. La cartografía, cambios de proyecciones, empalmes y variaciones en escalas de mapas digitalizados. Además los cálculos automáticos de áreas y longitudes sobre los mapas.

Los suelos, determinación y cuantificación del uso y cobertura actual del suelo, al igual, la delimitación de áreas homogéneas para proyectos de planificación y desarrollo agropecuario, forestal, geológico, minero, entre otros.

Estudios de Ingeniería, especificación de volúmenes de tierra en corte y relleno para la construcción de vías de transporte, emplazamiento de obras civiles como aeropuertos, carreteras, oleoductos, embalses, etc. Igualmente estos SIG, ayudan al estudio de proyectos enfocados a optimizar rutas de carreteras, líneas de transmisión y otros. Para llevar a cabo los estudios mencionados, son indispensables los mapas de pendiente, obtenidos en forma rápida mediante los SIG.

Estudios urbanos, los SIG juegan un papel preponderante en el estudio de proyectos enfocados a optimizar rutas de circulación vehicular dentro de ciudades de alto índice poblacional. Igualmente para el emplazamiento de obras espaciales como parque de recreación o industriales, abastecimiento de servicios públicos, zonificación de la población por edades, estratificación del transporte, localización de zonas de concentración (comercial, industrial, residencial, de inseguridad, etc.), según ,(Puerta, Rengifo y Bravo, 2011).

El impacto ambiental, la explotación de los recursos naturales ha venido causando problemas en el medio ambiente, debido al cambio y desajuste de los ecosistemas.

El ordenamiento territorial, proceso mediante el cual se puede orientar la transformación, ocupación 'y utilización de los espacios geográficos, teniendo en cuenta los intereses sociales, económicos, políticos y culturales así como las potencialidades naturales del espacio considerado. Los SIG pueden utilizarse extraordinariamente como herramienta eficaz para el ordenamiento territorial, ya

que a través de la integración de datos espaciales y no espaciales obtenidos de diferentes fuentes, en diferentes formatos y diferentes escalas, se puede con gran facilidad y en corto plazo manejar grandes volúmenes de información y datos realizar análisis y modelamientos para la toma de decisiones.

Los sistemas de información geográfica permiten que el usuarios pueda consultar y resolver en forma rápida y oportuna los diferentes requerimientos de información para los distintos campos de operación como el agrícola, forestal, geológico, minero, entre otros.

1.2.3. Ventajas de la utilización de los SIG

Los SIG permiten a quienes deben planificar y tomar decisiones, hacerlo adecuada y oportunamente, ya que la información es almacenada en forma compacta. El mantenimiento y recuperación de los datos es bastante rápido y económico. La facilidad de trabajar con una variedad extensa de modelos cartográficos debido al eficiente análisis dinámico de los datos.

El análisis de modelos conceptuales son evaluados en forma rápida y eficiente, algunos de los casos es la generación de mapas de pendiente y la confección de mapas topográficos, implantación de obras y estudios de impacto ambiental entre otros. La interface de trabajo relacional que existe para el análisis simultáneo de datos espaciales y no espaciales. Facilidad de actualización de la información.

1.2.4. Importancia de utilizar un SIG

El SIG permite integrar lo espacial con otra clase de información dentro de un solo sistema y ofrece un marco adecuado para el análisis geográfico.

Por tener los mapas y otra clase de información espacial, en forma digital, el SIG permite manipular y desplegar el conocimiento geográfico en una nueva forma. Hace conexiones entre actividades basadas en proximidad geográfica y se puede relacionar por ejemplo un botadero de basura tóxica con una quebrada y evaluar el daño que puede causar.

Los SIG permiten el manejo de datos administrativos tales como: propietarios, propiedades, impuestos, servicios públicos, todos referenciados a su posición geográfica.

1.2.5. Los SIG como un conjunto interrelacionado de subsistemas

- Subsistema de procesamiento de datos
- Adquisición: mapas, imágenes, campo.
- Entrada de datos: de las fuentes a la base de datos.
- Almacenamiento de datos.
- Subsistema de análisis de datos
- Recuperación y análisis - realizada por preguntas y respuestas o por complejos análisis estadísticos de los datos.
- Salida de información - cómo desplegar los resultados como mapas o como tablas o para ser introducido en otro sistema digital.
- Subsistema de uso de la información.
- Los usuarios pueden ser investigadores, planeadores o gerentes de entidades.

- Interacción entre el grupo de SIG para planear los procedimientos analíticos y las estructuras de datos.
- **Subsistemas de manejo**

Papel organizacional - La sección de SIG debe estar organizada como una unidad separada en una entidad, con fines de manejar los recursos y ofrecer los servicios de una base de datos espacial. El grupo SIG incluye un experto en manejar el sistema, en el manejo de la base de datos y como operador del sistema que también sea un analista del sistema y operador de para digitalización.

Estos sistemas pueden convertirse en una Herramienta para el enfoque de Manejo Integrado de cuencas para lo cual se define a la **Cuenca hidrográfica** según (Isaac Herrera 1995) como “Depresión natural o valle fondo, plano o cóncavo separada de otras por divisorias de aguas y formando por un conjunto de pendientes inclinadas hacia un mismo curso de circulación de agua superficial en la que se vierten sus aguas ríos o quebradas.

1.2.6. Los objetivos del SIG aplicado al plan de manejo de una cuenca

El objetivo general de la aplicación del SIG en una cuenca hidrográfica es sistematizar la caracterización, priorización y formulación del plan de manejo de la microcuenca a partir de los componentes estructurales y procesos funcionales, que permitan garantizar el uso sustentable del recurso hídrico. Y dentro de los objetivos específicos de la aplicación de un SIG se pretende determinar el uso potencial de unidades territoriales partiendo de la información estructural (suelos, geología, hidrología, condiciones climáticas entre otros), relacionándolos entre sí. A si mismo se busca determinar el uso actual de la cuenca, estableciendo cuales son los conflictos de uso en áreas críticas con

procesos de degradación. Para la aproximación en la formulación del plan bajo la óptica de la comunidad que habita (sus actividades, acciones e influencia) en el área de estudio.

1.2.7. Toma de decisiones

Las unidades de tierra generadas de los levantamientos agrológicos están conectadas con un gran número de atributos, los cuales pueden desagregarse según las necesidades de interpretación. De acuerdo al modelo de evaluación propuesto se pretende que el usuario encuentre en los diferentes niveles del proceso, información útil que le ayude a la toma de decisiones en la planificación y manejo de los recursos.

2. MARCO REGULATORIO, JURDICO LEGAL

El presente trabajo de graduación se realizó en el marco de Normativas y Políticas Institucionales en la Unidad Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental del Departamento de Planificación del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-.

2.1. Áreas Protegidas

Las áreas protegidas, Según el Artículo 7 Decreto 4-89 Ley de Áreas Protegidas, son aquellas áreas que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de tal modo de mantener opciones de desarrollo sostenible.

2.2. Categorías de manejo de las áreas protegidas

Según el Artículo 8 del Reglamento de la Ley de Áreas Protegidas, para su mejor administración y manejo, las áreas protegidas están clasificadas en 6 categorías:

Categoría I Parque Nacional, Reserva Biológica:

Objetivos de protección, conservación y mantenimiento de los procesos naturales y la diversidad biológica en un estado inalterado

Categoría II Biotopo Protegido, Monumento Natural, Monumento cultural y Parque Histórico:

Objetivos de protección y conservación de los valores naturales y culturales que pueden proveer oportunidades de recreo, educación ambiental e investigación científica, turismo controlado y recreación limitada y rústica.

Categoría III Área de uso múltiple, Manantiales, Reserva Forestal y Refugio de Vida Silvestre:

Objetivos de proveer una producción sostenida de agua, madera, flora y fauna silvestre. La conservación de la naturaleza podría estar orientada primariamente al soporte de las actividades económicas, o bien la conservación podría ser un objetivo primario en sí mismo, dando siempre importancia a los objetivos económicos y sociales.

Categoría IV Área Recreativa Natural, Parque Regional y Rutas y Vías Escénicas:

Objetivos de la recreación al aire libre y educación, mantenimiento en un estado natural o seminatural, calidad del paisaje y prevención de la degradación de los recursos naturales.

Categoría V Reserva Natural Privada:

Objetivo de asegurar las condiciones naturales requeridas para proteger especies de significancia, grupos de especies, comunidades bióticas o rasgos físicos del ambiente y rasgos culturales en terrenos de propiedad privada.

Categoría VI Reserva de la Biosfera:

Objetivo de dar oportunidad de diferentes modalidades de utilización de la tierra y demás recursos naturales, tanto el uso y aprovechamiento sostenible de recursos naturales del área, con énfasis en las actividades tradicionales y actividades humanas estables, así como la conservación de núcleos de conservación más estricta.

2.3. Administración de áreas protegidas en Guatemala

Para la administración de las áreas protegidas en Guatemala, según Capítulo 1 Artículo 2 de la Ley de Áreas Protegidas, se crea el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas SIGAP, que está integrado por todas las áreas protegidas y las entidades que las administran, cuya organización y características establece la ley. Para la dirección y coordinación del Sistema Guatemalteco de Áreas protegidas se crea el Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP. La Ley de Áreas Protegidas indica que El rector de actividades dentro de Áreas Protegidas es El Consejo Nacional de Áreas Protegidas que es el órgano máximo de dirección y coordinación del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas SIGAP.

2.4. La Secretaría Ejecutiva del Consejo Nacional de Áreas Protegidas:

Es la entidad ejecutora de las decisiones y coordinaciones tomadas y realizadas por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- Coordina todas las acciones que por mandato de la Ley de Áreas Protegidas se encuentran dentro de su competencia, a través del personal asignado a las unidades y departamentos que conforman los equipos de trabajo a nivel técnico, administrativo, asesorías y direcciones regionales de la entidad. Para lo cual está estructurado de la siguiente manera:

- Asesoría Legal
- Dirección Administrativa General
- Departamento de Recursos Humanos
- Departamento Financiero
- Departamento de Sistemas de Información
- Dirección Técnica General
- Departamento de Planificación

- Departamento de Unidades de Conservación
- Departamento de Manejo Forestal
- Oficina técnica de Biodiversidad
- Departamento de Educación y Fomento
- Departamento de Vida silvestre
- Departamento Jurídico
- Departamento de Pueblos Indígenas
- Direcciones Regionales
- Sub-regionales
- Unidades Técnicas

2.5. Departamento de Planificación Estudios y Proyectos

Es el departamento encargado de generar los planes de estudio necesarios para el fortalecimiento técnico y financiero de la entidad, Plan Operativo Multianual, Plan Operativo Anual, Plan Estratégico Institucional, A sí mismo, el velar por el seguimiento al avance físico financiero, su monitoreo y evaluación, también tiene un componente de Evaluación de Estudios de Impacto ambiental de proyectos, actividades y obras dentro de los límites del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas CONAP. Para el cumplimiento y mejor desempeño de sus funciones, se encuentra integrado por tres unidades:

- Unidad de Planificación
- Unidad de Seguimiento y Evaluación
- Unidad de Evaluación de Impacto Ambiental

2.6. Unidad de Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental

Es la unidad encargada de coordinar, analizar, supervisar y dictaminar sobre los impactos de las distintas propuestas de Proyectos de actividades, obras o industrias a realizar dentro de los límites de las áreas protegidas que integran el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas SIGAP.

2.7. Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil

Objetivos de la reserva:

1) Proteger las fuentes de agua y las cuencas de Cerro San Gil. 2) proteger la diversidad biológica y los ecosistemas naturales de Cerro San Gil. 3) fomentar el desarrollo sostenible del área protegida, en forma compatible con la conservación de sus recursos naturales. 4) manejar y recuperar de manera sostenida los recursos naturales de Cerro San Gil para el beneficio de la población local, regional y nacional.

2.7.1. Plan maestro de la reserva Cerro San Gil

El plan maestro es el documento que dicta las normas y directrices en cuanto a objetivos, actividades permisibles y no permisibles según la zonificación del área protegida para lo cual se establecen los siguientes aspectos:

2.7.2. Objetivos de la reserva manantiales Cerro San Gil

1) Proveer el marco estratégico que ordene, oriente y que provea las estrategias que guiarán las acciones e inversiones necesarias para la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales y culturales. 2) asegurar el cumplimiento de la visión y de los objetivos primarios de conservación de la reserva. 3) promover y facilitar la participación de los comunitarios y de otros actores cuyos aportes constituyen parte integral para el manejo de la Reserva. 4) dar a conocer la situación actual de los recursos naturales de la Reserva y sus características principales, así como de la situación socioeconómica y legal propia del área protegida. Plan Maestro de la RPMCS (2008-2012).

2.7.3. Normativa general para la reserva Cerro San Gil

1) se permite la investigación básica y aplicada siempre y cuando cumpla con los requisitos de ley. 2) se permite el turismo de bajo impacto, una vez se utilicen los senderos e infraestructura ya destinados para uso público. 3) se permite la educación ambiental y el monitoreo ambiental siempre y cuando este se realiza en la infraestructura y senderos ya disponibles.

2.7.4. Zonificación de la reserva Cerro San Gil

Constituye una técnica de la planificación y ordenamiento territorial que permite organizar racionalmente el uso del espacio en un área protegida. La zonificación interna de un área protegida tiene como objetivo distribuir en los ambientes más aptos, los distintos usos compatibles con los objetivos de manejo del área. El Artículo 7 del Acuerdo Gubernativo 759-90 explica que cada área protegida podrá ser zonificada para su mejor manejo.

2.7.5. Zonificación interna de la reserva Cerro San Gil

1) Zona núcleo, 2) Zona de usos múltiples, 3) Zona recreativa, y 4) Zona de amortiguamiento.

- **Zona Núcleo (ZN)**

Descripción: La Zona Núcleo posee alta diversidad de flora y fauna, con endemismo comprobado de epífitas, anfibios, lianas, insectos, árboles y palmas. Además, es zona de recarga hídrica para los ríos Tamejá, Las Escobas, Bonito, Juan Vicente, Frío y Carboneras. En esta Zona no hay poblados humanos, el 90% de la tierra es propiedad privada y el 10% es propiedad del Estado.

Normas de la zona núcleo:

1) Se permite únicamente la construcción de infraestructura de bajo impacto para la protección y educación ambiental. 2) no se permite la introducción y/o depósito de desechos de cualquier tipo. 3) no se permite ningún tipo de aprovechamiento de recursos naturales, ni la cacería de ningún tipo. 4) no se permiten asentamientos humanos 5) no se permite ningún tipo de sistema productivo, incluyendo agrícola, pecuario, forestal, ni hidrobiológico.

- **Zona de uso múltiple (ZUM)**

Descripción: La ZUM se encuentra alrededor de la zona núcleo, tiene una extensión de 10,729.75 hectáreas y su altura oscila entre los 200 y 800 msnm (Artículo 7, Decreto 129-96). En ella se encuentran asentadas 10 comunidades tanto del grupo Q“eqchi” como mestizo. (Plan Maestro de la RPMCS 2008-2012).

Normas de la zona de uso múltiple:

1) se permite el manejo racional y sostenido de los recursos naturales renovables y no renovables siempre y cuando se cumpla con las normas técnicas y requisitos legales establecidos por el CONAP. Mientras no se cuente plan de manejo de los recursos, no se podrá incurrir en ningún tipo de aprovechamiento comercial; exceptuando los usos tradicionales efectuados por la población local y las licencias vigentes que hayan cumplido con los requisitos de la Ley Forestal y no se encuentren dentro de la zona núcleo, áreas endémicas o en cuencas productoras de agua potable (Artículo 6, Decreto 129-96). 2) se permite el desarrollo de actividades productivas agrícolas, forestales, pecuarias e hidrobiológicas que no afecten la integridad de la zona núcleo. 3) se permite la construcción de infraestructura de servicio como carreteras, puentes, escuelas, centro de salud, agua potable y otros, con mínimos impactos ambientales 4) se permite el cambio de uso del suelo siempre y cuando se cumpla con los requisitos de ley necesarios para su aprobación. 5) se permite la cacería de subsistencia la cual estará regulada por una normativa específica

producto de un proceso participativo. 6) no se permite el aprovechamiento de los recursos forestales bajo la técnica silvicultural de tala rasa. 7) no se permite la cacería deportiva.

- **Zona de amortiguamiento (ZAM)**

La zona de amortiguamiento es la zona de influencia del área protegida, esta zona tiene una extensión de 28,098.40 hectáreas, está ubicada entre los límites externos de la ZUM y los límites externos de la reserva, y se extiende desde los 0 msnm hasta los 200 msnm. Dentro de la ZAM se localizan 25 de las 40 comunidades que ocupan la reserva Cerro San Gil.

Se extiende hacia el sur sobre las montañas del Mico y hacia el norte y noroeste sobre las planicies del litoral Atlántico. El principal acceso es la carretera que conduce de Santo Tomás de Castilla hacia las comunidades de Las Pavas, San Pedro la Cocona, San Carlos el Porvenir, Palestina, San Miguelito y La Frontera.

Normas de la zona de amortiguamiento:

1) se podrán proteger ecosistemas naturales críticos; si esto es una prioridad de manejo establecida en el plan maestro y/o en los planes operativos anuales. 2) se fomentarán las plantaciones de cobertura, la reforestación y las plantaciones forestales con fines comerciales, preferentemente nativas. 3) se deberá promover el desarrollo rural sostenible en las comunidades asentadas en el área, así como el manejo ambiental de los cascos urbanos (Artículo 8, Decreto 129-96). 4) se permite las actividades agrícolas, agroforestales y ganaderas que no afecten los recursos naturales del área protegida y que no degraden los mismos. 5) se permite el uso y aprovechamiento de recursos naturales renovables. 6) se permite las actividades recreativas procurando minimizar su impacto ambiental. 7) se permite el cambio de uso del suelo siempre y cuando se cumpla con los requisitos de Ley necesarios para su aprobación. 8) se

permite la cacería de subsistencia la cual estará regulada por una normativa específica producto de un proceso participativo.9) se permite la construcción de infraestructura de servicio como carreteras, puentes, escuelas, centro de salud, agua potable y otros, siempre y cuando se minimicen sus impactos ambientales. 10) no se permite la cacería deportiva.

- **Zona recreativa (ZR)**

Descripción: Tiene una extensión de 706 hectáreas (Artículo 11, Decreto 129-96). Se encuentra ubicada entre el río San Agustín y el río Las Pavas. Incluye el balneario Las Escobas, Hotel Green Bay y la playa San Ramoncito. Será de uso semi-intensivo en donde se dará prioridad al manejo ambiental y al ordenamiento territorial (Artículo 10, Decreto 129-96).

Normas de la zona recreativa:

1) se permitirá el turismo minimizando los impactos ambientales y se atiendan las regulaciones establecidas en la Ley. 2) fomentar la información e interpretación ambiental, utilizando la infraestructura ya disponible.

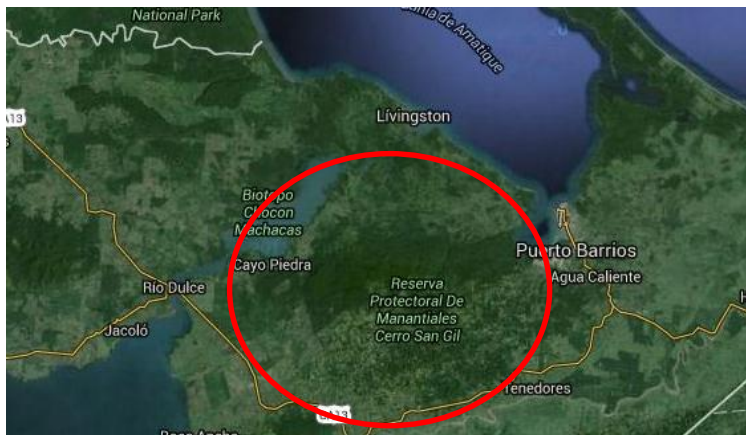
2.8. Delimitación del área de estudio

El presente trabajo de graduación se realizó en la micro cuenca del río Bonito en los límites de la reserva protectora de manantiales Cerro San Gil en el Departamento de Izabal enfocado hacia la evaluación de Proyectos hidroeléctricos por medio de herramientas geoespaciales en la Unidad de Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental del Departamento de Planificación de la Secretaria Ejecutiva del Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP.

La Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil (RPMCSG) se ubica, política y administrativamente, en el Departamento de Izabal, entre los municipios de Puertos Barrios, Livingston y Morales (Mapa 1); entre las

coordenadas 15°38"30" - 15°44"00" de latitud Norte, y 88°45"00" – 88°52"00" de longitud Oeste abarcando el área de Cerro San Gil, que corresponde a la parte más alta de las Montañas del Mico; las que a su vez conforman las tierras altas sedimentarias de la vertiente del Mar de las Antillas. La altitud de la reserva de Cerro San Gil oscila entre 0 y 1,267 MSN. La reserva limita al Norte con río Dulce; al Noroeste con el Golfete; al Noreste con la Bahía de Amatique y el Mar Caribe; al Este colinda con los poblados de Puerto Barrios y Santo Tomas de Castilla; Al Oeste con las fincas privadas que están en colindancia con la carretera CA-13 que conduce a río Dulce y al Departamento del Peten; y, al Sur con el Valle del Motagua. Su extensión territorial es de 47,434.65 hectáreas. Aproximadamente el 75% de la reserva se encuentra en jurisdicción del municipio de Livingston como se hace referencia en el Plan Maestro de la Reserva Cerro San Gil 2008-2012 según (Bucklin y Martínez, 1990 y 1998 respectivamente).

Figura 11. Ubicación del área de estudio



Fuente: elaboración propia, modificada de Google Earth 2016.

2.8.1. Recurso hídrico en la reserva Cerro San Gil:

- **Cuencas en la reserva**

Según el plan maestro de la RPMCS (2008-2012), el agua dulce es el más valioso servicio ambiental que el bosque de la reserva Cerro San Gil provee a la población del Departamento de Izabal. En la reserva existe una diversidad de ríos que abastecen de agua a las ciudades de Puerto Barrios y Santo Tomás de Castilla, así como a las 40 comunidades asentadas dentro del área protegida.

La hidrografía de Cerro San Gil está constituida por 8 sub cuencas, 43 micro cuencas y 19 tributarios de primer orden. Estos afluentes hacen un total de 187.94 km. lineales de corrientes de agua como se muestra en la siguiente figura:

Tabla I. **Cuencas en la Reserva Cerro San Gil**

Cuenca	Numeración Nacional	Sub cuenca	Vertiente
río Motagua	2.2	río San Francisco	Caribe
	2.2	Bahía de Amatique	Caribe
	2.2	Bahía de Santo Tomas	Caribe
	2.2	río Tenedores	Caribe
lago de Izabal- río Dulce	2.3	Área de Captación del Lago de Izabal- río Dulce	Caribe
	2.3	río Tameja	Caribe
	2.3	río San Juan	Caribe
	2.3	río San Marcos	Caribe

Fuente: Plan Maestro de la Reserva Cerro San Gil (2008-2012).

- **Ríos de la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil**

El Plan Maestro de la reserva Cerro San Gil (2008-2012) Indica que los principales ríos que nacen propiamente dentro la Reserva son: Las Escobas, San Carlos, Tamejá, San Agustín, San Marcos, Carboneras, Juan Vicente, Frío, Bonito, Lámpara, Salado, Quebrada Seca y Tenedores. Estos afluentes se consideran tributarios de primer orden. Los mismos descargan sus aguas hacia las cuencas del Lago de Izabal-río Dulce y del río Motagua, y hacia la Bahía de Amatique sobre la vertiente del Caribe. En el Lago de Izabal desemboca el río San Marcos; en el río Dulce desembocan los ríos Juan Vicente, Frío, Bonito, Tamejá y Lámpara; y, en la Bahía de Amatique los ríos Salado, San Carlos, Macho Creek, La Romana, Las Escobas y San Agustín.

Tabla II. **Ríos en la Reserva Cerro San Gil**

No.		Largo Cauce Principal en (Km)	No.		Largo Cauce Principal en (Km)
1	río Bonito	7.7	11	río Salado	52.54
2	río Frio	16.61	12	río Tenedores	13.02
3	río San Vicente	17.6	13	río Tamejá	19.71
4	río las Escobas	43.47	14	río Carboneras	13.12
5	río Lámpara	87.58	15	Quebrada Seca	54.83
6	río la Romana	58.21	16	Quebrada Seca	11.72
7	río San Marcos	12.67	17	Macho Creek	36.74
8	río San Francisco	92.2			
9	río San Carlos	11.25			
10	río San Agustín	63.77			

Fuente: Plan Maestro de la Reserva Cerro San Gil (2008-2012).

Otros ríos de importancia incluyen los ríos San Francisco, Carboneras y río Bonito, el río San Francisco nace en la comunidad Castañal el río

Carboneras nace en las cercanías de las comunidades de Nueva Jerusalén. Atraviesa las comunidades de Carboneras y Los Ángeles, así como varias fincas ganaderas que se encuentran ubicadas en la zona de amortiguamiento y en las zonas adyacentes al área protegida. Este río se convierte en el río Juan Vicente, el cual desemboca sobre la cuenca de Izabal-río Dulce. En cuanto al río Bonito, este río **nace en la parte más alta de la zona núcleo**. Es uno de los ríos menos intervenidos de la zona de recarga hídrica. Este atraviesa las comunidades de Zapotillo y Nacimiento San Gil. Desemboca en la cuenca Izabal-río Dulce y su agua es principalmente para uso doméstico y ganadero.

2.8.2. Contexto social:

- Demografía

Según el plan maestro de la reserva Cerro San Gil (2008-2012) se ubican 40 comunidades distribuidas dentro de la zona de amortiguamiento (ZAM), la zona de uso múltiple (ZUM) y la zona recreativa (ZR). Las comunidades están clasificadas como aldeas, caseríos, fincas y parcelamientos agrarios. El Censo Poblacional del año 2002, muestra que la población para 35 de las 40 comunidades mencionadas asciende a 11,289 habitantes, de los cuales el 51% son hombres y el 49% son mujeres (INE, 2002). De la población estimada para la Reserva, el 34% pertenece a grupos indígenas, en su mayoría del grupo Maya Q'eqchi'; el resto (66%), es caracterizada como "pertenencia étnica ladina o no indígena" (refiere en el Plan Maestro el 2008-2012 el INE, 2002). Los pobladores de origen Q'eqchi' son en su mayoría originarios de Izabal y de Alta Verapaz; mientras que los habitantes de origen mestizo son originarios de los Departamentos de Zacapa y Chiquimula en el oriente del país.

Los comunitarios de Cerro San Gil migraron formando asentamientos humanos que ahora se conocen como comunidades y parcelamientos. Entre las comunidades actuales se pueden mencionar Sarita, el Mirador, El Tamarindal,

Los Andes, Buena Vista y Macho Creek. Del total de la población estimada para la Reserva, el 66% es menor de 25 años y el 34% se encuentra entre los 25 y 65 años de edad. La población económicamente activa representa el 64%, del cual el 52% se clasifica como población económicamente activa ocupada. En cuanto a la población económicamente activa (PEA), en Izabal la constituye la población superior a las siete años de edad, la cual genera la productividad para el beneficio propio y para la población en edad potencial económicamente activa (refiere en el Plan Maestro 2008-2012 SEGEPLAN, 2003). Se desconoce la tasa migratoria dentro de la Reserva, aunque se sabe que en el área protegida existen frecuentes migraciones internas (Martínez, 1998). La densidad poblacional es de aproximadamente 12 habitantes por kilómetro cuadrado. La población Q'eqchi ha estado en continuo movimiento en los últimos 120 años, huyeron de la expansión cafetalera en las Verapaces, comenzando su expansión hacia el norte, desde el Quiché, al municipio de Livingston en el oeste, y llegando a Petén (como se hace referencia por IGN, 1981 en el Plan Maestro 2008-2012). Todos los pobladores de Cerro San Gil, tienen su raíz común en el departamento de Alta Verapaz, en el municipio de Chabón. A continuación se describe como se conformaron algunas de las comunidades asentadas en Cerro San Gil.

- Ingreso y condiciones de vida

El ingreso promedio mensual por habitante varía de acuerdo a la actividad productiva que se realiza. Por ejemplo, los pequeños agricultores obtienen un promedio de Q700.00 mensuales, mientras que otros agricultores con mejores ingresos pueden generar hasta Q1, 500.00 mensuales.

Los agricultores y ganaderos que cuentan con terrenos grandes pueden obtener un promedio de Q. 5, 000.00 por mes, en la pesca, un pescador puede

generar entre Q. 800.00 y Q. 1,000.00 mensuales, el nivel de ingreso de la población asalariada que trabaja fuera de la Reserva y que tiene estudios a nivel medio puede ganar entre Q1,500 y Q2,500.00 mensuales como lo refieren Calderón (2006), Birriel, 2005) en el Plan Maestro (2008-2012). Las cantidades expuestas en este documento varían en cada comunidad, pero se determina que el ingreso promedio por familia dentro de la Reserva, oscila entre Q650.00 y Q900.00 mensuales (Según un estudio referido de Zamora, 2005).en el Plan Maestro (2008-2012). De acuerdo con las cantidades propuestas, se podría decir que los habitantes de Cerro San Gil viven entre los niveles de pobreza y pobreza extrema, ya que su ingreso promedio diario es menor de un dólar por persona. Según estimaciones realizadas en los años de 1998 y 1999, el 7.7% y el 49.9% de la población de Izabal se encuentra en niveles de pobreza extrema y pobreza general, respectivamente. Entre las comunidades más pobres se encuentran Nacimiento San Gil, Samaria y Santa Cruz.

- Vivienda

Existen aproximadamente 2,152 viviendas según lo referido en el Plan Maestro (2008-2012) por el INE, en el censo Nacional (2002). Las casas son rurales, colectivas, simples y rústicas, con un patrón de construcción tradicional a su entorno. En las comunidades Q"eqchi", los materiales de construcción incluyen manaca (*Orbyngia cohume*), caduquilla (*Calyptogyne donnelli*) y cabiche (*Roystonea dunlapiana*) para los techos, caña o bambú (*Bambusa vulgaris*).

La vivienda consiste en uno o dos ambientes o "cuartos" en donde se realizan todas las actividades domésticas. En las comunidades de origen mestizo, se observan construcciones de block, lámina galvanizada de zinc y piso de cemento. Las casas cuentan con 3 o 4 ambientes con forro de madera aserrada.

- Vías de acceso

El acceso a la reserva Cerro San Gil desde la ciudad de Guatemala es posible través de la carretera Panamericana CA-9 (ruta al Atlántico) que conduce a Puerto Barrios. Las principales vías de acceso (Ver Mapa 7) a los distintos sitios de interés y hacia las comunidades del área protegida, son en su mayoría, de terracería. La reserva Cerro San Gil cuenta con cuatro ingresos principales: 1. Ruta de Santo Tomas de Castilla hacia Las Escobas. 2. Carretera al Atlántico, cruce en el lugar conocido como el Cimarrón. 3. Comunidad de Gaytán. 4. Carretera al Atlántico, cruce hacia río Dulce a la altura de la comunidad Buenos Aires.

- Servicios públicos e infraestructura social

La mayoría de poblados cuentan con carreteras, puentes, salones comunales y centros de acopio. Los servicios de salud son prestados por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) a través de los distintos puestos y centros de salud, el Hospital Nacional de Puerto Barrios, el puesto de Salud de Santo Tomás de Castilla y el Hospital Nacional Infantil en Puerto Barrios según estudio de SEGEPLAN, 2003 referido en el Plan Maestro (2008-2012).

- Actividades productivas

La economía es fundamentalmente agrícola y en menor grado pecuario y forestal de la siguiente manera:

Agricultura: La principal actividad económica la constituye la agricultura en sus formas de subsistencia y semicomercial. Se hace referencia en el Plan Maestro 2008-2012 Según Rosales (1996), cada agricultor cuenta con un promedio de 3

hectáreas de tierra habilitadas para los cultivos agrícolas. Los cultivos tradicionales son el maíz (*Zea mays*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*). También se cultivan tubérculos como la yuca (*Manihot esculenta*) y el yampí (*Discorea sculenta*). En huertos familiares se observan siembras de malanga (*Colocassia sculenta*) y (*Xanthosoma biolasium*), plátano (*Musa paradisiaca*), banano (*M. sapientum*), caña (*Sacharum officinarum*), cítricos (*Citrus spp.*), y café (*Coffea arabica*). En la región sur de la reserva, en el parcelamiento Los Ángeles, la piña (*Ananas comosus*) se ha convertido en un cultivo de trascendencia. Las comunidades de Samaria, Nueva Jerusalém, Pacayas y el Sector B, atienden cultivos de café (*Coffea arábica*) y cardamomo (*Elettaria cardamomun*).

Producción ganadera y pecuaria: Con respecto a las actividades pecuarias, en Cerro San Gil es común la producción para autoconsumo de gallinas, pavos, cerdos y otros animales de patio. En menor proporción se observa la producción de bovinos. La producción forestal comprende proyectos para la producción de especies nativas como Santa María (*Calophyllum brasiliense*), sangre (*Virola koschnyi*) y mapola (*Sterculia apetala*); y, en menor la producción comercial de especies de rápido crecimiento tales como melina (*Gmelina arborea*), teca (*Tectona grandis*) y pino (*Pinus caribea*). En las inmediaciones de la reserva existe producción comercial de hule (*Hevea spp.*) según lo referido en (Plan Maestro 2008-2012).

- Organización comunitaria

Las comunidades de Cerro San Gil forman parte de los Comité Comunitarios de Desarrollo –COCODES- los cuales constan de 13 miembros en la junta directiva, mientras que el resto de habitantes de la comunidad forman parte de la asamblea. Estas organizaciones están conformados a nivel regional en COCODES de segundo nivel; los miembros de este nivel participan en el Consejo Municipal de Desarrollo Asimismo, existen otros tipos de

organización comunal entre los cuales se pueden mencionar, la empresa campesina asociativa. Otras agrupaciones incluyen las asociaciones y comités de mujeres artesanas en las comunidades Laureles, San Francisco la Cocona, San Pedro la Cocona, San Miguelito y Sarita. Los comités de tierras que se constituyen en Empresas Campesinas Asociativas (ECA's) de las comunidades de San Carlos, los Laures y Sarita, además de los representantes distritales que son miembros del foro Intercomunitario con representación en el consejo ejecutivo local. En las comunidades de las Pavas, San Pedro la Cocona y Zaragoza existe la asociación de productores de pimienta negra, mientras que en las comunidades de Cumbre Fría y Zaragoza se conforma la asociación de productores de mandarina.

3. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

3.1. Aplicación de técnicas geoespaciales para análisis del área de estudio

Se realiza el planteamiento de metodología que se describe de la siguiente manera:

3.1.1. Identificación de variables biofísicas del territorio

Se deberá realizar la selección de los factores que pudiesen brindar la mejor información de las condiciones biofísicas del territorio y las potencialidades de sus recursos. Para el presente caso, se identificaron las variables biofísicas y geomorfológicas que tienen incidencia directa un proyecto hidroeléctrico.

Tabla III. Matriz de identificación de variables y vulnerabilidad a impactos

Variables de Importancia en el ambiente		Vulnerabilidad el área
cobertura vegetal		Pendientes a lo largo de toda la cuenca
red de corriente hídrica		Vulnerabilidad de Erosión
cauce principal		Vulnerabilidad a pérdida de recarga hídrica
Clasificación de suelos		Vulnerabilidad movimiento de tierra
geología		vulnerabilidad remoción cobertura vegetal
Sistema de áreas protegidas		centros de poblados
Pendiente del cauce principal		zonas de cultivo
Porcentaje de los rangos de pendientes en toda la microcuenca		
Alturas o altitudes		

Fuente: elaboración propia, con base a la caracterización biofísica de la microcuenca.

3.1.2. Identificación variable de importancia ambiental

Actividades de proyectos hidroeléctricos. Utilizando la matriz importancia ambiental, se identifican las principales variables biofísicas que son de importancia ambiental en el área de la microcuenca que podrían estar expuestas a impactos por actividades hidroeléctricas.

Tabla IV. **Variables de importancia ambiental**

Variables de Importancia en el ambiente	Valor asignado
Delimitación y ubicación dentro de cuenca, sub cuenca, microcuenca	1
Red de corrientes hídricas	2
Cauce principal	3
Cobertura vegetal	4
Clasificación de suelos	5
geología	6
Sistema de áreas protegidas	7
Pendiente del cauce principal	8
Alturas o altitudes	9

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Identificación de factores de vulnerabilidad

Se generó una matriz en la cual se asignó una valoración o ponderación con base al riesgo de amenaza y vulnerabilidad de aspectos biofísicos en el área de la microcuenca como se observa en la matriz planteada:

Tabla V. **Matriz de importancia de vulnerabilidad**

Vulnerabilidad el área	valor asignado
Pendientes a lo largo de toda la microcuenca	1
Vulnerabilidad de Erosión	2
Vulnerabilidad a pérdida de recarga hídrica	3
Vulnerabilidad movimiento de tierra	4
vulnerabilidad remoción cobertura vegetal	5
Centros poblados	6
Áreas de cultivos	7

Fuente: elaboración propia.

Se deberán de identificar con las herramientas geoespaciales las zonas donde existe menor estabilidad del terreno, con mayores pendientes y más susceptibles a procesos erosivos, de movimiento de masas y mayor presión antrópica tanto en relación a los proyectos hidroeléctricos así como a las actividades humanas en general para determinar las áreas más vulnerables y expuestas de la microcuenca en relación a establecimiento de proyectos hidroeléctricos.

3.1.4. Sobre posición de capas de los aspectos biofísicos

Con el fin de identificar las áreas de las variables que están sujetas a ser impactadas se realizara una sobre posición de capas para generar un mapa de variables de importancia ambiental que podrían estar sujetos a posibles impactos en el área de la microcuenca, por la realización de proyectos hidroeléctricos, los cuales estarán basados en función de los componentes como los son presa, canal de conducción, cuarto de máquinas.

3.1.5. Generación de mapa de variables de importancia ambiental

Utilizando la matriz de importancia de variables y los rangos asignados de importancia, se procederá a la sobre posición de capas en el orden dado para general el mapa de variables de importancia ambiental están sujetas a impactos ambientales producto de las actividades hidroeléctricas.

3.1.6. Identificación de impactos ambientales

Con la matriz de identificación de importancia ambiental y la de identificaron de amenazas se identificarán los posibles impactos ambientales

que se generarán a lo largo de toda la microcuenca para generar un mapa de identificación de los mismos.

3.1.7. Identificación de las posibles medidas de mitigación

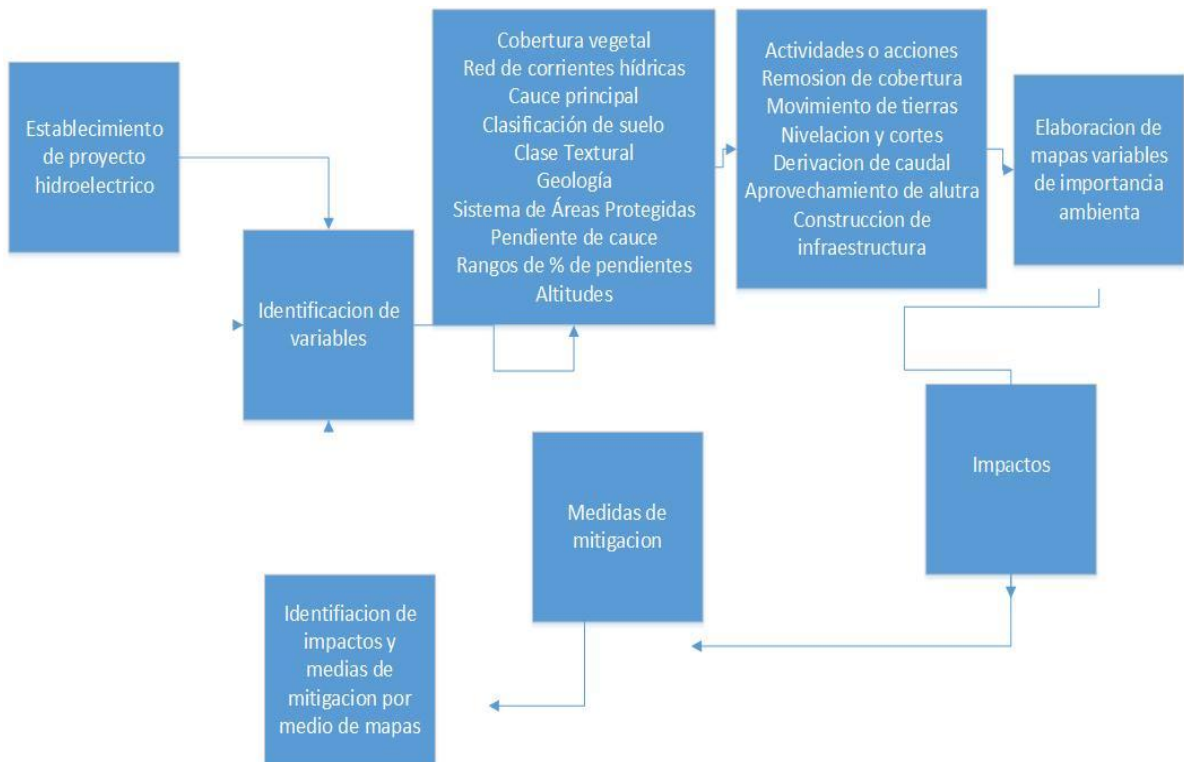
A lo largo de toda la microcuenca: Después de identificar, las variables de importancia ambiental para los proyectos hidroeléctricos e identificar las vulnerabilidad en el área y los posibles impactos ambientales, se procederá a identificar las medidas de mitigación más adecuadas como parte del manejo integral de la microcuenca en la que todos los actores por tener actividades directas en la microcuenca afectarán directamente en dicha área.

3.1.8. Identificación de indicadores

Se deberán realizar e identificar indicadores a evaluar por medio de los mapas temáticos a generar sobre:

- Presión del medio ambiente (áreas con conflicto de uso del suelo)
- Indicadores de estado del medio ambiente (series o clases de suelo, áreas deforestadas)
- Indicadores de respuesta sobre el medio ambiente en búsqueda de sostenibilidad (reducción de erosión, suavización de pendiente prácticas de conservación de suelos, forestación, manejo integrado de cuenca) para lo cual el flujograma del este proceso es el siguiente:

Figura 12. Flujograma de los procesos de aplicación de herramientas geoespaciales



Fuente: elaboración propia.

3.2. Caracterización de principales variables biofísicas, geomorfológicas y antropológicas para identificar posibles impactos

La primera preocupación de los planificadores es establecer los elementos principales de la planificación o los parámetros del proyecto por medio de la información y los datos disponibles. Los elementos principales son:

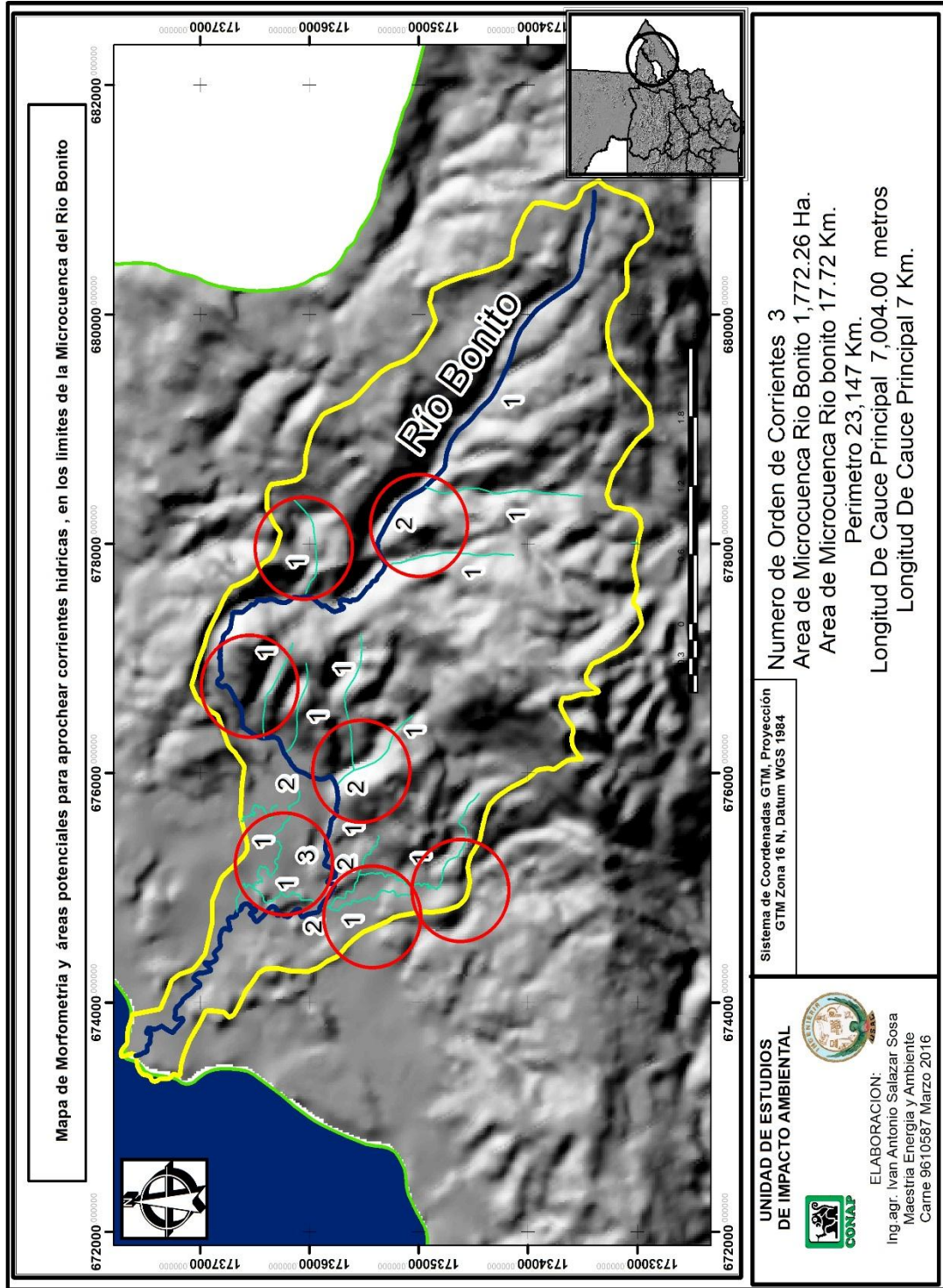
- Red de drenaje con su cauce principal y tributario
- Rango de pendientes a lo largo de la cuenca
- Alturas.
- Geología y textura de suelo
- Limitaciones del medio-ambiente

Si los parámetros de planificación tuvieran que ser arreglados en orden de importancia, la hidrología resultaría probablemente en el primer lugar. La hidrología trata de la presencia y disponibilidad de agua y en términos hidroeléctricos se propone contestar tres importantes preguntas:

- ¿Lugar de disponibilidad?
- ¿Cantidad disponible?
- ¿En qué momento?

Para el caso de la microcuenca del río Bonito, se identificó la red de corrientes hídricas, el cauce principal y sus tributarios que podrían ser aprovechados si la normativa del área protegida lo permite esto en función de la distribución en toda la microcuenca. La finalidad de conocer el orden de corrientes es para estimar o hacer un inventario de las posibles áreas para utilización de corrientes hídricas a lo largo de la microcuenca estableciendo para la misma 10 corrientes posibles más el cauce principal a partir del área que se encuentra fuera de límites de la zona núcleo.

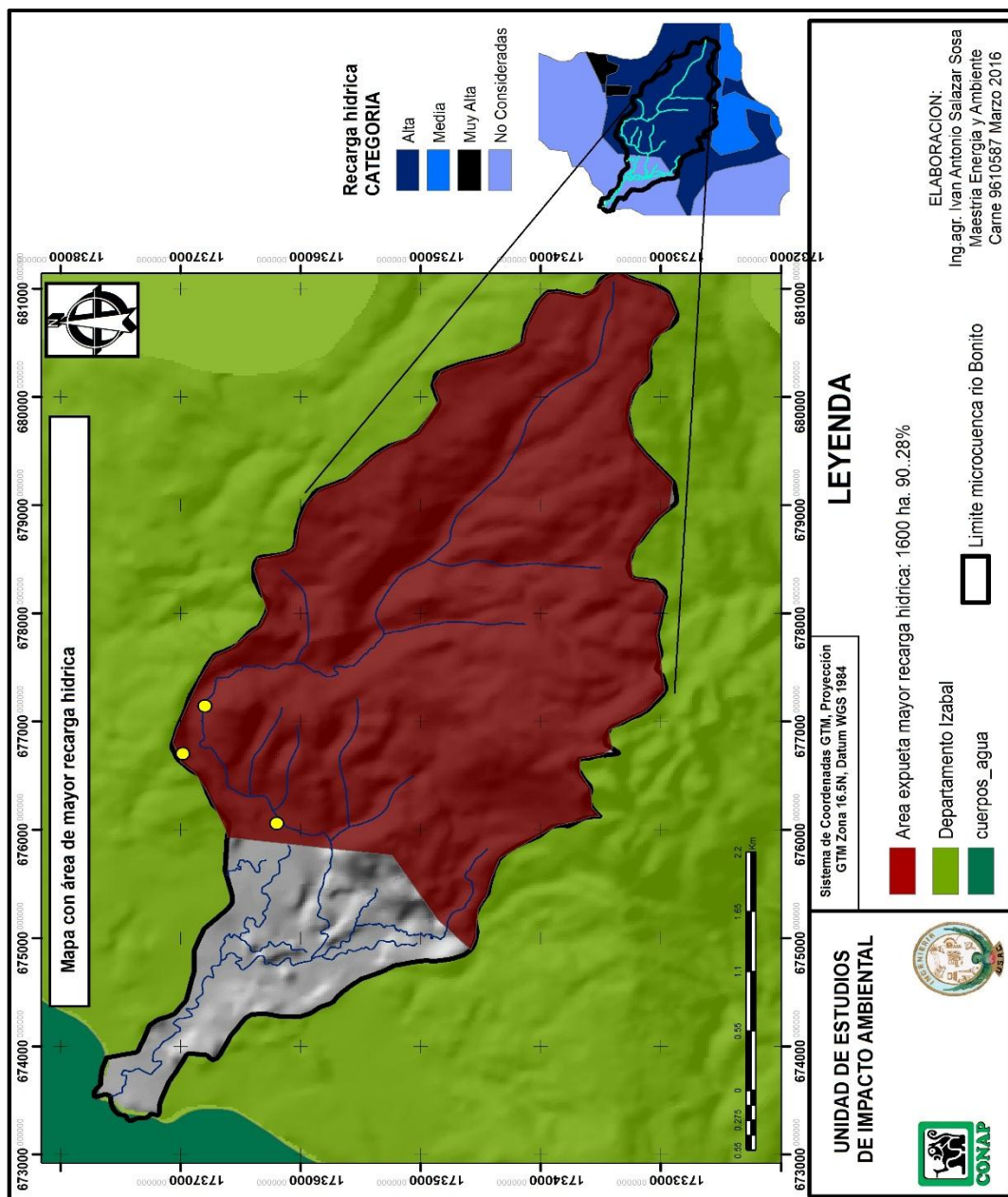
Figura13. Mapa morfometría y áreas potenciales de aprovechamiento de corrientes hídricas



Fuente: elaboración propia, realizando en fase de gabinete.

Como parte de conocer la disponibilidad de recurso hídrico se identificaron las áreas con mayor capacidad de recarga hídrica en función de la cobertura forestal, utilizando como base a la capa de Zonas de Recarga Hídrica generado por el Instituto Nacional de Bosques INAB en el año 2005.

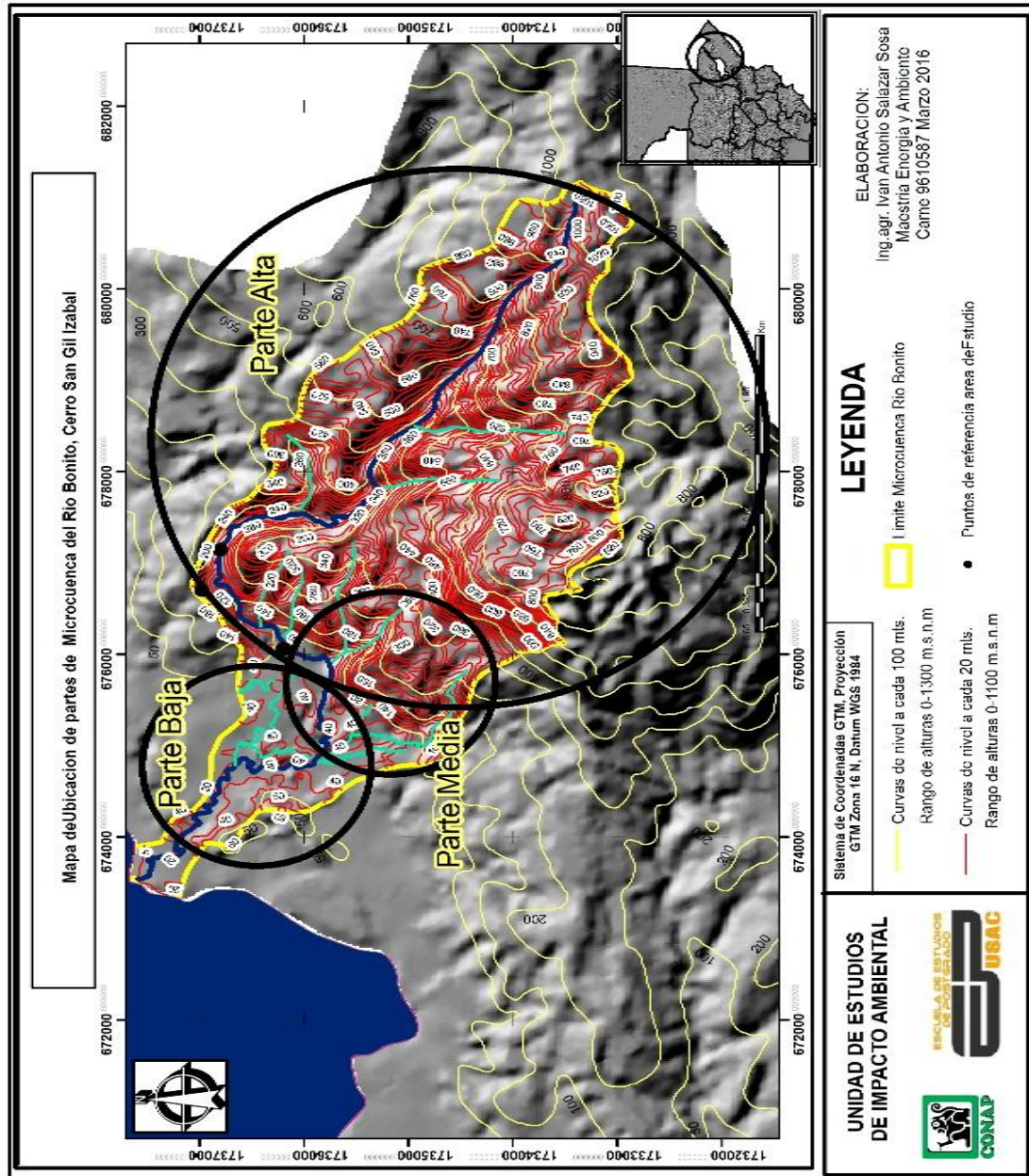
Figura 14. Mapa área de mayor recarga hídrica en relación a la cobertura forestal



Fuente: elaboración propia, realizando en fase de gabinete.

Mediante la aplicación de técnicas geoespaciales, también se puede estimar las áreas de ubicación de las corrientes hídricas en las partes, alta, media o baja de la cuenca, importante para conocer las alturas o saltos.

Figura 15. Mapa ubicación de la red de corrientes en las partes de la microcuenca



Fuente: elaboración propia, realizando en fase de gabinete.

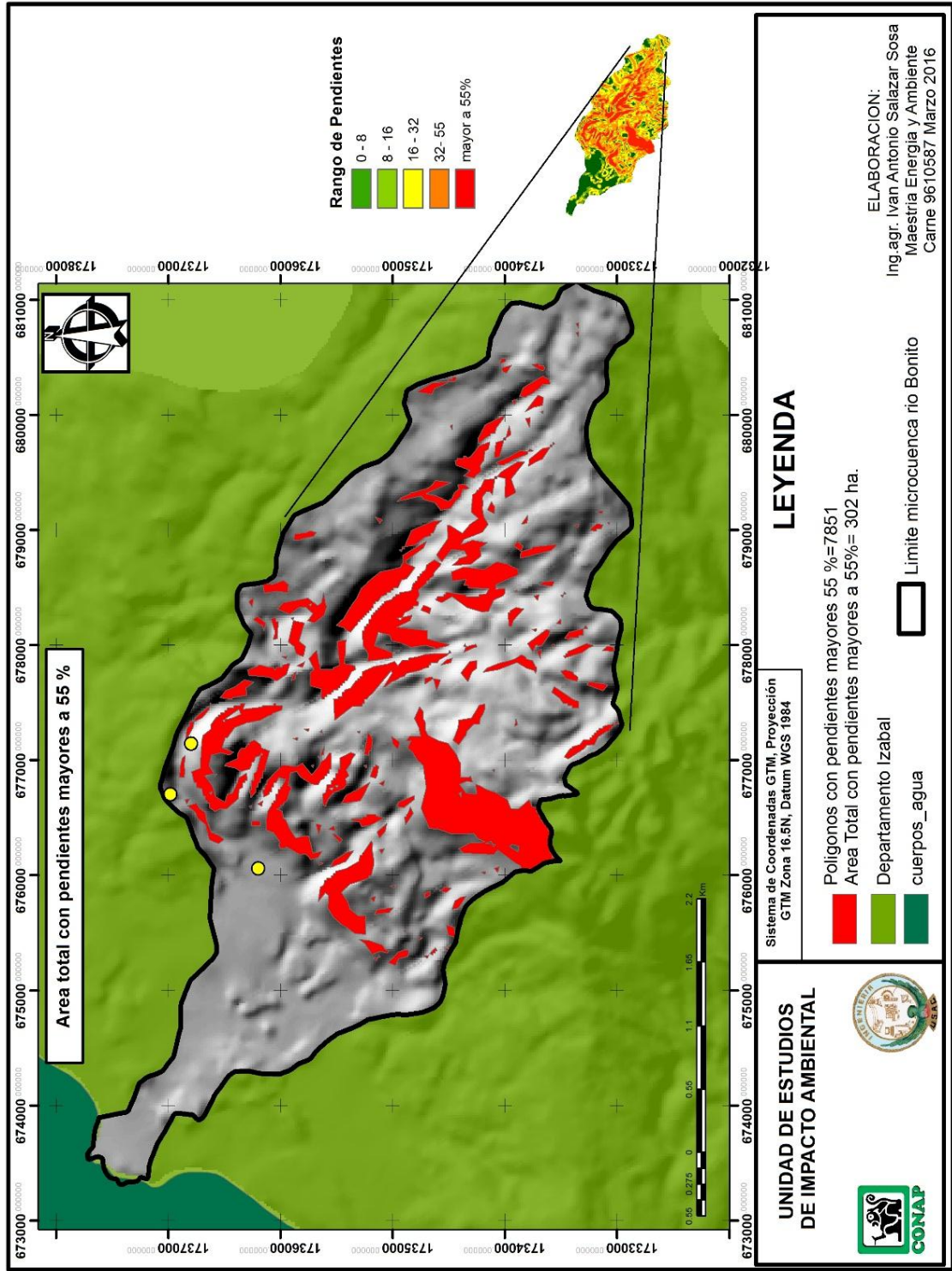
- Pendiente

Con respecto a la pendiente, se utilizó el Modelo de Elevación Digital (3 D Análisis) con base a la clasificación de tierras por capacidad de uso del Instituto Nacional de Bosques para la estimación de rango de pendientes, obteniendo el mapa de pendientes para los límites de la microcuenca, que indican los rangos de 0-8 %, 8-16 %, 16-32%, 32- 54%, 55 a mayor de 55 % lo cual orienta para determinar el área total que podrá estar expuesta a pérdida de suelo por erosión eólica o pérdida por escorrentía superficial, debido a la inclinación del terreno. Utilizando este modelo de elevación digital y la aplicación de estas herramientas geoespaciales se estableció que el área total expuesta a pérdida de suelo por erosión hídrica o eólica es de 302 hectáreas del total del área de la microcuenca en estudio, esto nos indica que existe exposición (riesgo) a pérdida del suelo por los agentes descritos anteriormente, esta aplicación de herramientas geoespaciales permite hacer este tipo de análisis en una forma rápida, así mismo se identifica la pendiente media del cauce principal de 17%. Esencial para conocer el salto a utilizar.

- Determinación de ubicación dentro de la parte alta a baja de la microcuenca

Debido a la presencia de la red de drenajes paralelos y dendríticos a lo largo identificados , utilizando las herramientas geoespaciales y con las superposición de capas de curvas de nivel que representan las altitudes se establece que la microcuenca se encuentra dividida en parte Alta de Cuenca (cabecera de cuenca) al sur este, en la orientación norte parte media y noreste parte baja , con base a la descripción realizada por el Manual de Manejo de Cuencas de Visión Mundial tomando el criterio de Altitud, y los conceptos del Manual de Hidrología de Isaac Herrera.

Figura 16. Mapa aspectos área de pendientes mayores 55 %



Fuente: elaboración propia, realizando en gabinete.

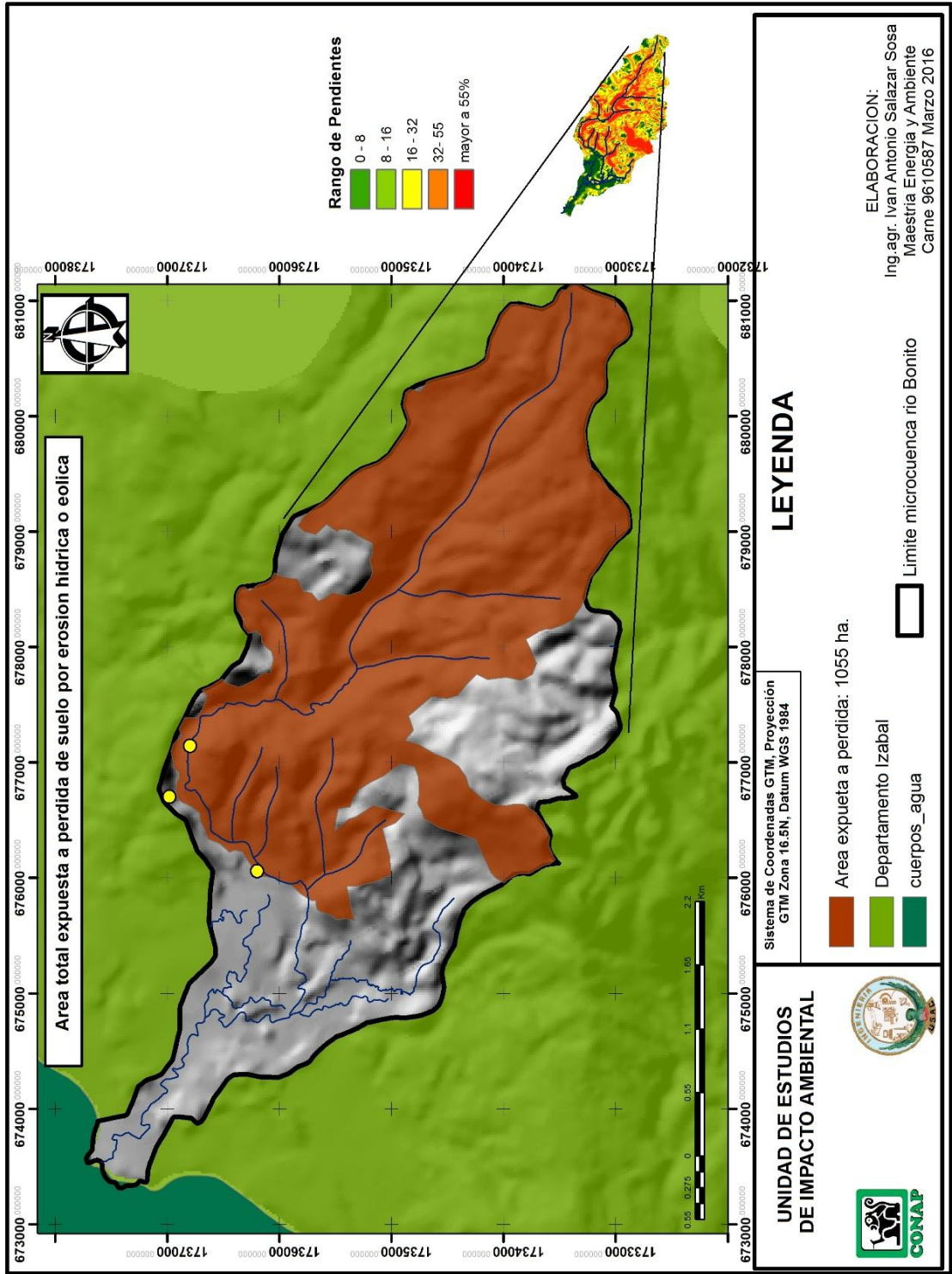
- Área de cubierta vegetal

Después de realizar una sobre posición de capas, se determinó el área total que está sujeta a riesgo a ser afectada por pérdida por escorrentía superficial equivale a 1055 hectáreas, por área que quedaría desprovista de esta cobertura vegetal , en el momento de la construcción de algún tipo de infraestructura. Este factor es muy importante, ya que está en función de las acciones o actividades humanas, como la agricultura, las silvicultura, la ganadería, actividades de cambio de uso y otros factores que determinan esta exposición a que dentro de la microcuenca se pierda suelo por el escurrimiento de corrientes hídricas o bien agentes hídricos que transportan las partículas de suelo hacia otros lugares más bajos, para lo cual también influye la textura y la profundidad efectiva, en la cual las raíces del suelo podrán tener un mejor agarre de dichas partículas.

- Área total de recarga hídrica que puede estar afectada en función de cobertura:

Debido a las actividades humanas, el área de la microcuenca río Bonito, está expuesta a que un total de 1600 hectáreas puedan estar afectadas por la falta de filtración de agua hacia los mantos acuíferos por pérdida de cobertura vegetal, remoción de suelo, construcción de infraestructura gris.

Figura 17. Mapa área total de exposición a pérdida de suelo



Fuente: elaboración propia, realizando en gabinete.

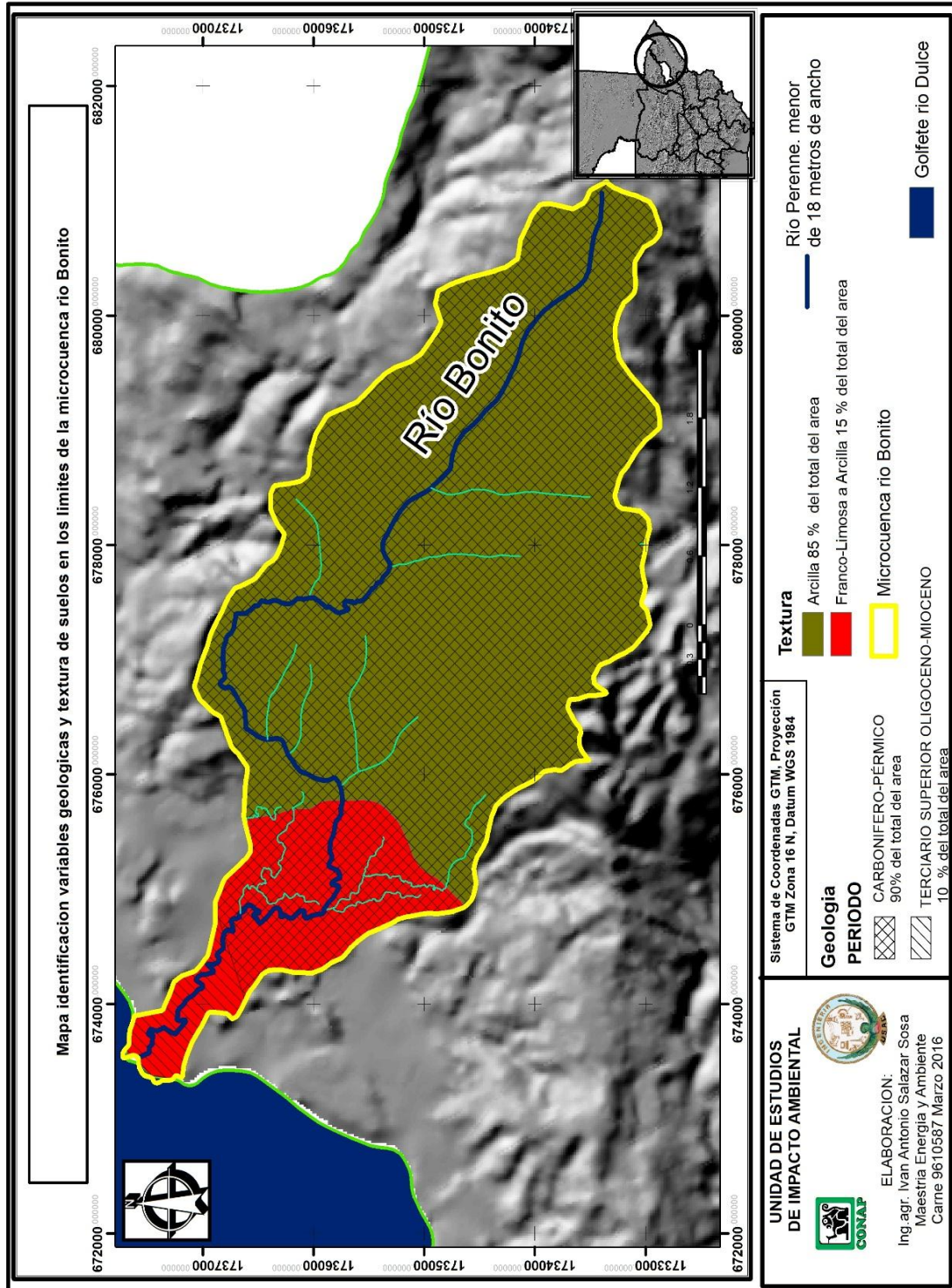
- **Geología y suelo**

Está dominada por sedimentos de origen marino, de edad Pérmico a Terciario, consistiendo primordialmente en Calizas cristalinas, capas rojas (continentales), Calizas bioclásticas, Dolomitas, Brechas Calcáreas intraformacionales, lutitas y gravas. Las rocas carbonatadas dominantes en el área estudiada se presentan con una estratificación burda y moderadamente fracturadas. En las partes de las laderas donde la pendiente es alta no se observan evidencias de deslizamientos antiguos o recientes. El espesor de suelo desarrollado sobre estas pendientes es bajo de uno 0.5 m a 1 m. No se observa reptación de suelo o evidencias de movimientos de ladera. Un 85 por ciento contiene textura arcillas y un 15 por ciento contiene textura franco arcillosa, la litología en el área consiste en lutitas y areniscas intercaladas con lentes de caliza. La estratificación se muestra delgada con buzamiento de alto ángulo.

Sistema de áreas protegidas

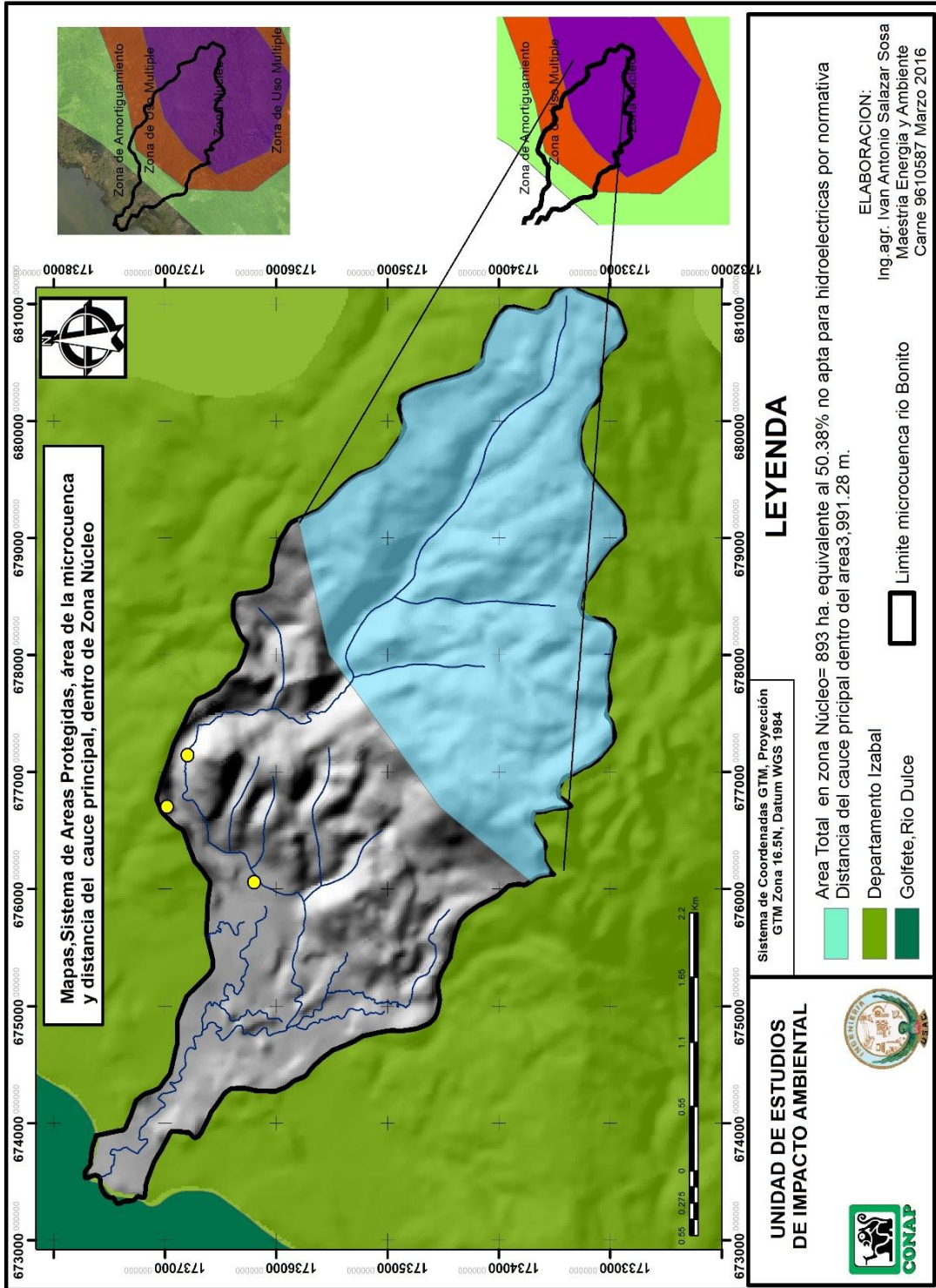
Los límites de la microcuenca río Bonito se encuentran en la zona núcleo en un 50.38 %, lo que hace que en dicha área no se establezcan proyectos hidroeléctricos por las restricciones de dicha zona.

Figura 18. Mapa de geología y textura de suelo



Fuente: elaboración propia, realizando en gabinete.

Figura 19. Mapa sistema de áreas protegidas



Fuente: elaboración propia, realizando en gabinete.

Identificación de impactos ambientales:

Los factores ambientales o elementos del medio que se verán potencialmente alterados durante la construcción y funcionamiento del aprovechamiento de proyectos hidroeléctricos podrán ser:

- **Atmósfera:** Calidad del aire, ruidos y vibraciones.
- **Sustrato:** Geología, geomorfología, edafología, morfología del cauce.
- **Aguas:** Calidad del agua, modificación del flujo, aguas subterráneas y avenidas e inundaciones.
- **Vegetación.**
- **Fauna:** Terrestre, avifauna y acuática.
- **Paisaje.**
- **Patrimonio Histórico-Artístico.**
- **Socio economía:** actividades recreativas, usos del río, ocupación del terreno y generación de empleo.

El planteamiento metodológico se basa en el análisis de los efectos identificados, sobre cada uno de los factores del medio afectados, cuantificando en la medida de lo posible, aquellos parámetros de las acciones un proyecto hidroeléctrico, que sirvan como indicadores del grado de impacto producido en cada caso, en la terminología adoptada se distingue el carácter del impacto beneficioso, adverso o sin efecto, así como la intensidad del mismo: significativo, poco significativo, mitigable o inapreciable. Durante la descripción de los efectos se ha valorado la persistencia del impacto analizando, si éste es temporal (aquel cuya duración en el tiempo tiene una relación directa con la ejecución de las obras o con un plazo de tiempo reducido), o permanente (el impacto persistirá durante el período de funcionamiento del proyecto), por último se valora el carácter acumulativo del impacto, analizando si éste es

simple o acumulativo. Todas estas valoraciones se analizan en las distintas etapas de desarrollo del proyecto y para cada elemento del medio afectado, quedando resumidas en las matrices siguientes:

Tabla VI. **Valoración de impactos de cada factor**

Factor del medio afectado/acción	
Carácter Benéfico/Adverso/Sin efecto	Intensidad Significativo/Mitigable/Inapreciable
Persistencia Permanente/Temporal	Acumulación Simple/Acumulativo

Fuente: elaboración propia.

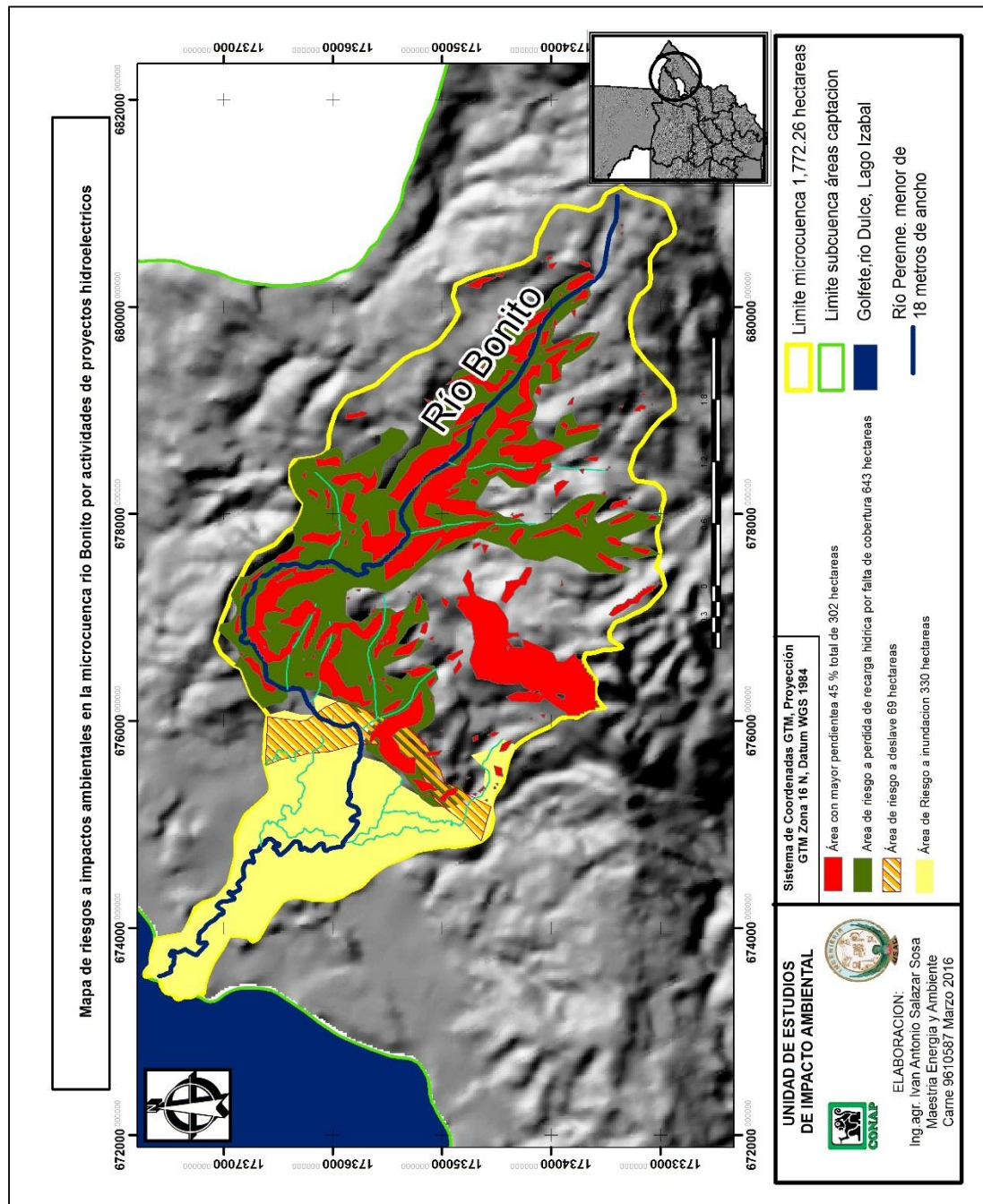
Tabla VII. **Relación de jerarquización de impactos**

Jerarquización de impactos	Fase de construcción	Fase de operación
1	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de empleos directos e indirectos (efecto favorable). 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de energía limpia (efecto favorable).
2	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificación y promoción económica a nivel local (efecto favorable). 	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de empleos directos e indirectos (efecto favorable).
3	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación y degradación de la vegetación y consecuente desaparición y/o modificación de biotopos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en la calidad físico-química de las aguas que se devuelven al río (efecto favorable).
4	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de suelo fértil y aumento de la erosión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efecto barrera para la fauna silvestre.
5	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de las poblaciones faunísticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de nuevos hábitats acuáticos para la fauna silvestre (efecto favorable)
6	<ul style="list-style-type: none"> • Compactación y alteración de la geomorfología. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de hábitats para la fauna silvestre..
7	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupación del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificación y promoción económica (efecto favorable).
8	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de partículas en suspensión y de niveles sonoros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de calidad e intrusión visual.

Fuente: elaboración propia.

Con lo anterior, se realizó un mapa de identificación riesgos de impactos, analizados geoespacial mente en los límites de microcuenca con enfoque de manejo integral.

Figura 20. Mapa identificación de riesgos a impactos



Fuente: elaboración propia, realizando en gabinete.

- **Área con riesgo a deslaves**

Utilizando, las herramientas geoespaciales, con la sobre posición de la capa de cobertura vegetal (orto foto) dinámica de cambio de uso de la tierra del año 2010, generada por el MAGA-INAB-CONAP-UVG donde estimo un área de 330 hectáreas podría estar expuesta a deslaves, debido a las pendientes muy escarpadas, la pérdida de la cobertura vegetal y las actividades antropogénicas.

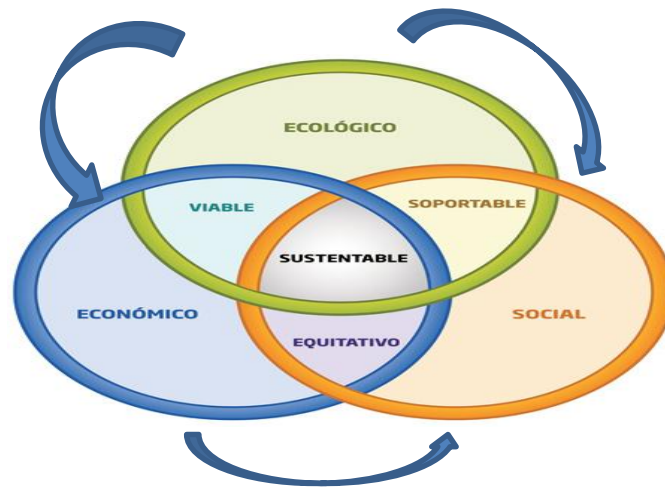
La aplicación de una herramienta como los SIG, no requiere un diseño estadístico y la aplicación de una hipótesis no es necesaria ya que a través de la utilización de los productos derivados de sensores remotos utilizando SIG, se utilizaron las distintas capas o shapes generados por el Instituto Geográfico Nacional, el Ministerio de Agricultura MAGA, el Instituto Nacional de Bosques y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas, con el fin de realizar una metodología científica por medio del análisis de fotointerpretación, geo referenciación y análisis geoespacial en su conjunto, con enfoque de manejo integrado de cuencas a ser utilizada en los procesos de evaluación de instrumentos de evaluación ambiental en la revisión y aprobación de proyectos Hidroeléctricos a realizar, dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas, realizando el análisis de la geomorfología, fisiografía, tipo de suelos, cobertura vegetal, zonas de vida, usos apropiados, uso actual, pendientes, alturas, drenaje superficial ubicación dentro de límites de cuenca, integrando estas capas mediante un programa de SIG dentro de los cuales se mencionan los Software (Arc Gis, Quantum Gis, Kosmo) se utilizó para analizar las características del área de influencia en estudio, con el fin de brindar un enfoque de manejo integrado de cuenca, en la fase de gabinete con su corroboración en campo y generar las medidas de mitigación más adecuadas para implementar proyectos de tipo hidroeléctrico y minimizar los impactos de acuerdo a los aspectos integrados de cuenca.

Un ejemplo de este análisis fue la aplicación del modelo de elevación digital para determinar las alturas y pendientes que a su vez con los datos de la longitud del cauce principal estiman que la pendiente media tiene un 17% según la metodología de estudios por capacidad de uso de la tierra de generada por el Instituto Nacional de Bosques, este indica que tiene las condiciones necesarias para el aprovechamiento de energía potencial por buena diferencia de alturas pero, con rangos de pendientes de terreno mayor a 55% que implican pérdida de suelo y área para filtración y percolación, por la escorrentía superficial, que ponen en riesgo de erosión el terreno por el tipo de materiales y la profundidad de suelo si no existiera cubierta vegetal, al hacer actividades de construcción de infraestructura, derivación y presa; así mismo el concepto de partes de cuenca indica, como un proyecto hidroeléctrico puede influir en la parte baja, media o alta, con acciones como deforestación, remoción y cambio de uso, inundación pérdida de diversidad biológica entre otros.

En el contexto hídrico y aspectos biofísicos, se determinó que el área es en un 95 % de alta recarga hídrica y la captación de flujos hídricos, si se maneja de una manera adecuada e integral. La implementación de prácticas de conservación de suelos, reforestación en partes de cuenca, la utilización de especies endémicas para esas reforestaciones, la construcción de proyectos micro hidroeléctricos fuera de las áreas con mayor pendiente y zona núcleo del áreas protegidas son aspectos que se deberán considerar.

Aplicando los principios de la sostenibilidad en los aspectos antropogénicos

Figura 21. Interrelación Principios de la sostenibilidad



Fuente: elaboración propia.

Será necesario que se realicen procesos de consulta a los comunitarios previo al establecimiento de cualquier proyecto hidroeléctrico, programas de socialización y sensibilización serán fundamentales, principalmente la promoción de proyectos micro hidroeléctricos, así como el acceso a una tarifa social de energía eléctrica adecuada a las condiciones de vida de los comunitarios. De la mano de estos aspectos, la promoción de proyectos ecoturísticos como aliados a proyectos micro hidroeléctricos son esenciales, ya que el río Bonito es visitado con una alta demanda en la época de semana santa. El planteamiento de la creación de centros de capacitación y prioridad de empleo a la población local es muy importante para la aceptación de dichos proyectos.

3.3. Aplicación de técnicas geoespaciales, para determinar medidas de mitigación y la toma de decisiones por su vinculación con la normativa del área protegida

- **Área a mantener con cobertura vegetal**

Será necesario plantear un área de total de 1,055.33 hectáreas para que se mantengan con cubierta vegetal, podrán proponerse planes de forestación, reforestación, siembra de especies arbustivas endémicas, en una distribución espacial mixta para mantener corredores biológicos para el flujo de especies animales y el flujo genético, es muy importante que esta áreas se encuentre con dicha cobertura para mitigar los impactos de la pérdida de suelo por escorrentía superficial o por el viento, así mismo evitar pérdida de suelo por los posibles deslaves que pudieran ocurrir, esto se plante a nivel de toda la microcuenca, los proponentes de proyectos pueden plantear es tipo de medidas para manejo con enfoque integral.

- **Prácticas de conservación de suelos**

Debido a que utilizando las técnicas geoespaciales y la verificación de algunas variables en campo se determina que existe una área estimada de 330 hectáreas que están sujetas a manejo directo por actividades agrícolas, pecuarias, pesca y en la que se encuentra la mayor área de población a nivel de la microcuenca, por lo que se plantea un área de 69 hectáreas para implementar prácticas de conservación de suelos, como los son curvas de nivel, cultivo en fajas en las pendientes mayores, debido a la normativa del área protegida, puede utilizarse construcción de barreras vivas, taludes con vegetación, o bien áreas o pozos de infiltración o absorción, esto con el fin de

disminuir los impactos por dichas prácticas y con el fin de evitar algún tipo de deslave de las partes más altas.

- **Área de amortiguamiento a la orilla de ríos**

Debido a que la microcuenca se encuentra en un área protegida categorizada como Reserva Protectora de Manantiales se deberá plantar área de protección de los cuerpos de Agua, el Manual para la Administración Forestal dentro de Áreas Protegidas recomienda que deberá dejarse aproximadamente 5 metros de cada lado de la corriente principal como área de amortiguamiento, de preferencia no realizar ningún tipo de remoción de cobertura vegetal ni de suelo.

- **Manejo dentro de la zona núcleo**

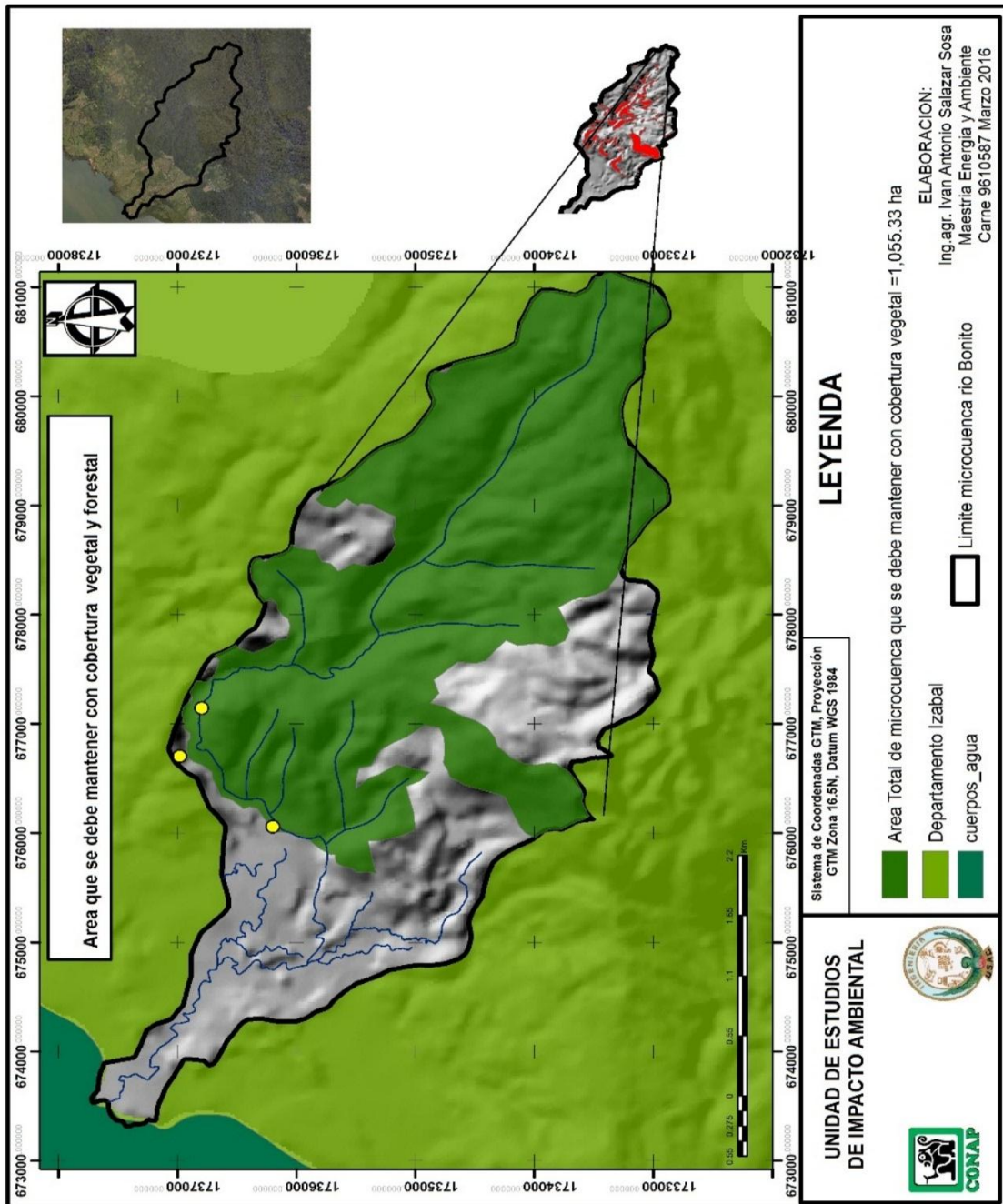
El área de la microcuenca del río Bonito se encuentra dentro de límites del área protegida, según su zonificación interna se estima que 893 hectáreas se encuentran dentro de la zona Núcleo, de estas 3,991 metros del cauce principal se encuentra dentro de esta zona, por lo que se deberá tomar en consideración la no utilización para construcción de infraestructura, presa de derivación, canal de desvío o toda acción que interfiera con el cauce principal en esta área.

Uso general recomendado en el área de la microcuenca

Relacionando los aspectos de los usos de la tierra, usos recomendados y alternativos se plantea con el mapa de usos apropiados para la microcuenca serían, forestal para madera y leña y la conservación y protección de flora y fauna. Por lo que todos los proyectos de generación hidroeléctrica deberán

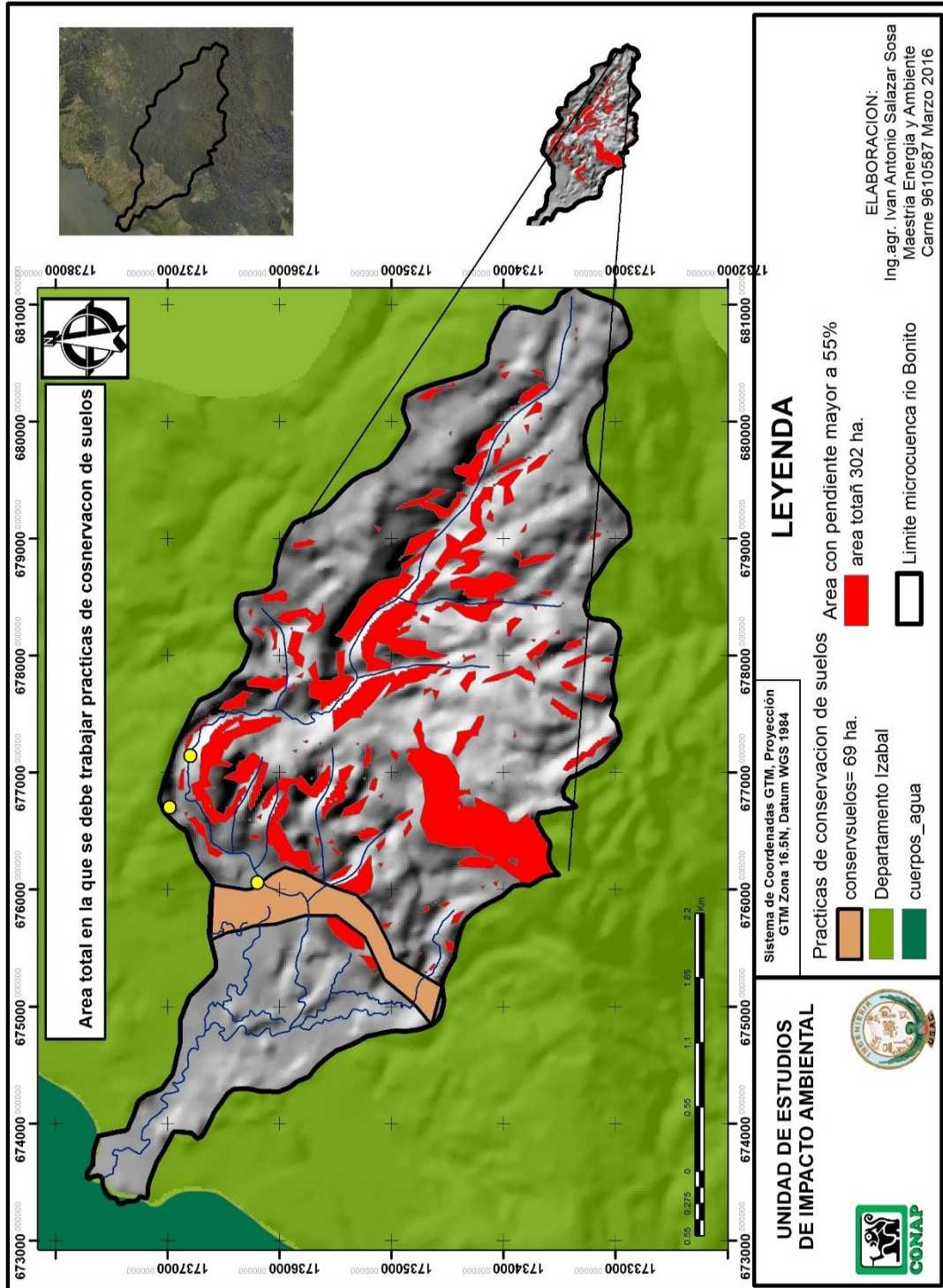
tomarlo en consideración para el manejo del área especialmente en la que se encuentra en la zona núcleo.

Figura 22. Mapa cobertura vegetal a mantener



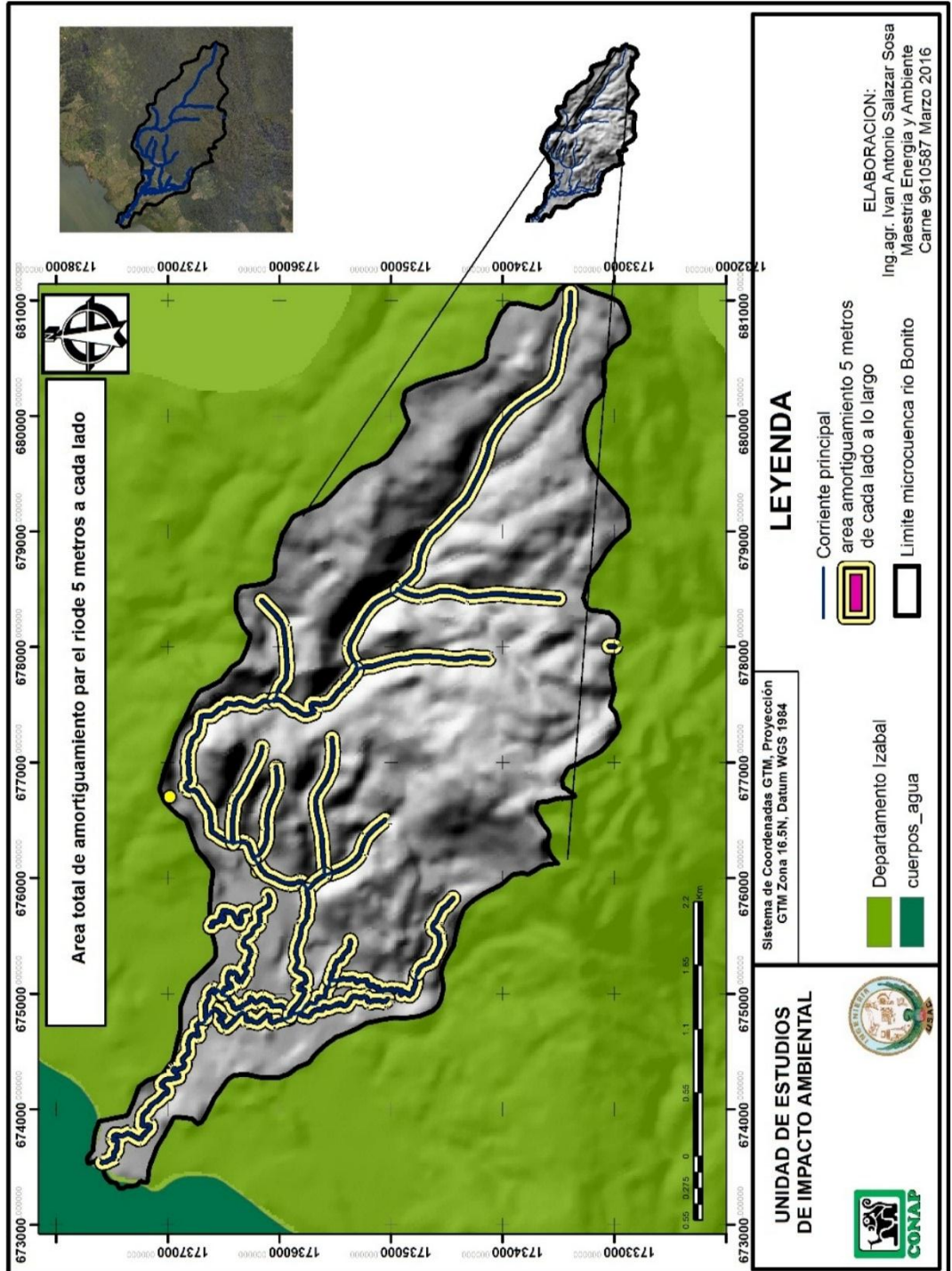
Fuente: elaboración propia, realizando gabinete 2015 y 2016.

Figura 23. Mapa de área para manejo de prácticas de conservación de suelos



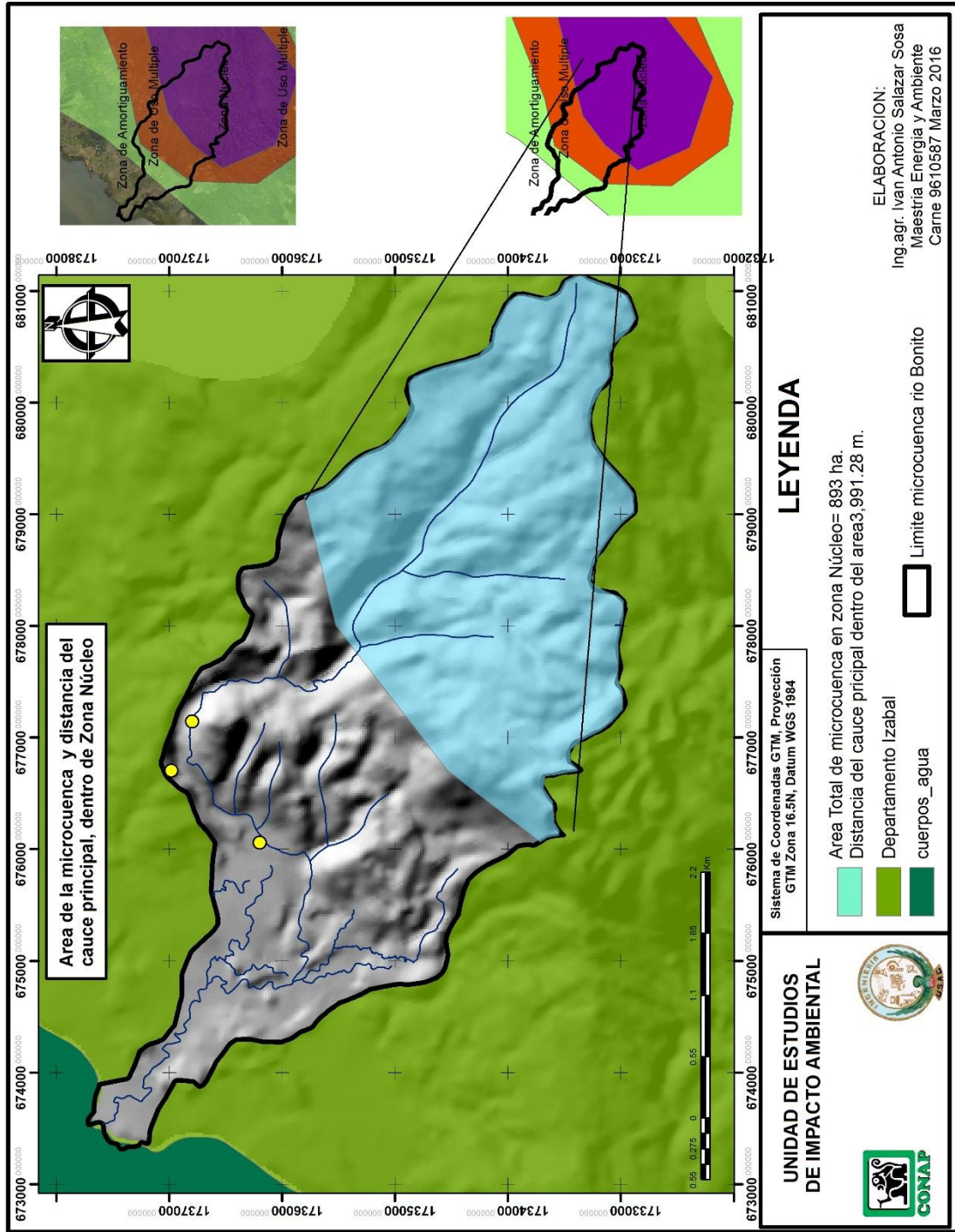
Fuente: elaboración propia, realizando gabinete 2015 y 2016.

Figura 24. Mapa de establecimiento de amortiguamiento en corriente hídrica



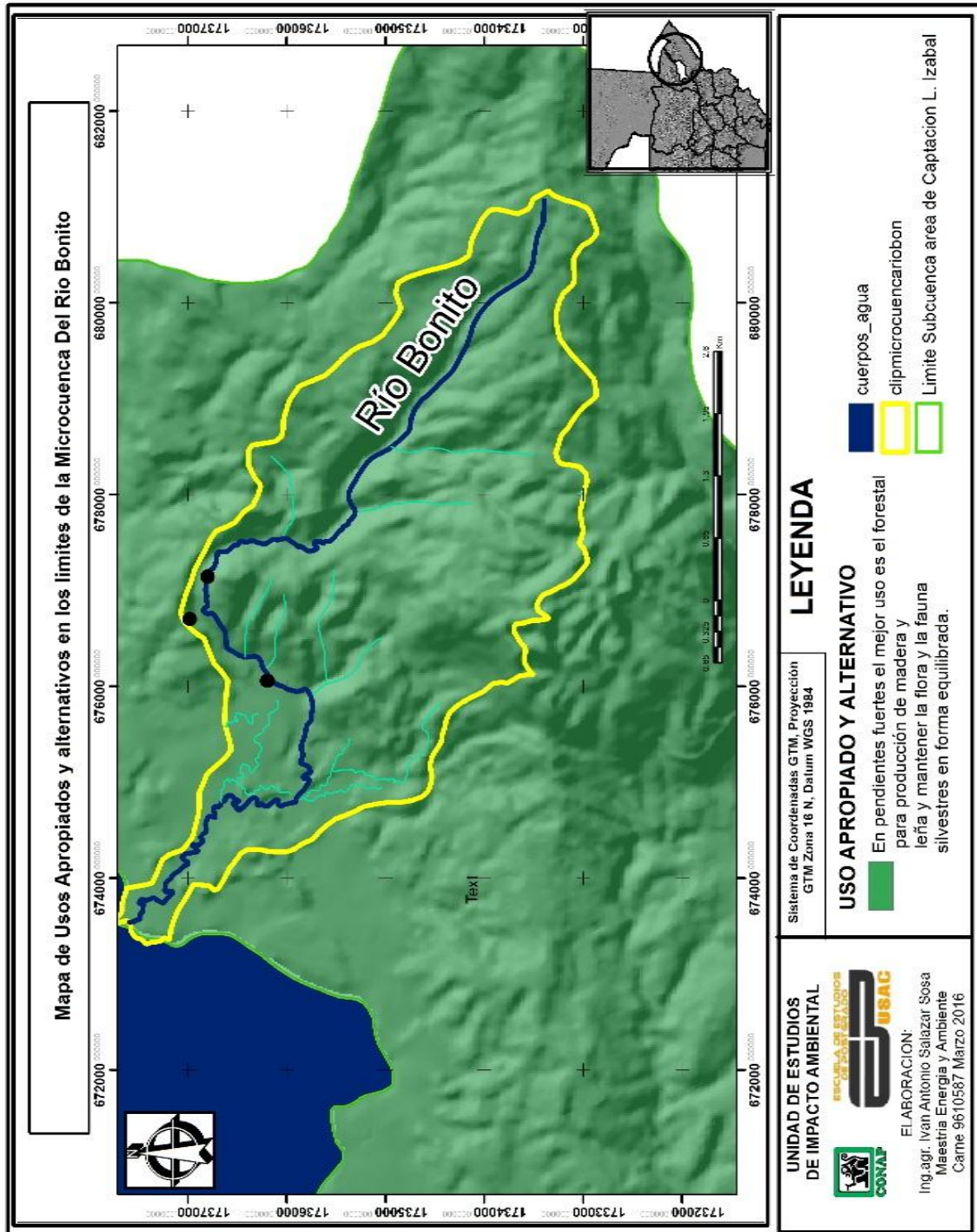
Fuente: elaboración propia, realizando gabinete 2015 y 2016.

Figura 25. Mapa para recomendación de manejo en zona núcleo del área protegida



Fuente: elaboración propia, realizando gabinete 2015 y 2016.

Figura 26 Mapa de usos más apropiados forestal, conservación de flora y fauna



Fuente: elaboración propia, realizando gabinete 2015 y 2016.

Tabla VIII. **Matriz de identificación de impactos y propuesta medidas de mitigación**

aspecto o variable	impacto	medida de mitigación
pendiente	pérdida de suelo por erosión hídrica o eólica	área con cobertura vegetal a mantener
cobertura vegetal	pérdida de área de filtración o recarga hídrica	área de cobertura vegetal
pendiente muy pronunciada	deslaves, derrumbes	prácticas de conservación de suelos
corriente hídrica, cauce principal	remoción, pérdida de suelo, asolvamiento, inundación	establecimiento de área de amortiguamiento a los lados de la corriente hídrica de 5 metros a cada lado en los 17 km
área dentro de zona núcleo	perturbación, degradación de zona núcleo, flora y fauna, recurso hídrico	no construir ningún tipo de infraestructura en 893 ha. que se encuentran en la zona núcleo, así mismo a lo largo de 3,991 metros lineales alrededor de las corrientes
cobertura vegetal	remoción	forestación, reforestación
drenaje	desviación de cauce	estimar caudal ecológico y derivar solo lo necesario
hídrico	inundación	estimar una altura máxima de inundación y traslado de especies
suelo	pérdida por erosión eólica	establecimiento de cobertura vegetal (gramíneas, arbustos, forestal)
suelo	pérdida por escorrentía superficial	nivelación y construcción de taludes
hídrico	sedimentación	construcción de desarenadores y rejillas
pendientes	erosión	prácticas de conservación de suelos
relieve ondulado a accidentado	erosión	construcción de taludes y revestimiento con cobertura vegetal
tierra	cambio de uso	forestación con especies vegetales
tierra	apertura de brecha y degradación	transporte de equipo pesado vía aérea
diversidad biológica	pérdida, perturbación, migración	elaboración de inventarios y recuperación de especies
fauna	perturbación migración, pérdida e hábitat	creación de centros de rescate y establecimiento de corredores biológicos
flora	pérdida por remoción	establecimiento de viveros con especies nativas por siembra
hídrico y edáfico	pérdida por escorrentía pérdida de cobertura	forestación y manejo de parte alta de cuenca

Fuente: elaboración propia, con base al análisis utilizando técnicas geoespaciales

CONCLUSIONES

1. Mediante la utilización de una metodología de aplicación de herramientas geo espaciales, en la fase de gabinete se facilita el análisis de la funcionalidad de la cuenca hidrográficas y su vinculación a los instrumentos de evaluación ambiental de proyectos hidroeléctricos utilizan las principales variables: biofísicas, geomorfológicas y antropogénicas que brindan un enfoque de manejo integrado de cuencas. Para el caso de la microcuenca del río Bonito, esta metodología de análisis es muy importante para la toma de decisiones y la planificación de territorio con los distintos aspectos descritos.
2. Se caracterizaron las principales variables biofísicas, geomorfológicas y antropogénicas de la microcuenca del río Bonito, que permitió identificar los principales impactos que podrían darse en la construcción y ejecución de proyectos hidroeléctrico, entre los cuales están: debido al porcentaje alto de los distintos rangos de la pendiente, pérdida de suelo por erosión, hídrica y eólica, baja infiltración y percolación, pérdida de suelo por escorrentía superficial; debido a la falta de profundidad efectiva que podría generarse con alteración de la dicho proceso de percolación de agua a los mantos acuíferos afectando el ciclo hidrológico, pérdida de cobertura vegetal por la remoción de la misma y de suelo, pérdida de fauna por migración o muerte, y alteración de hábitat acuático por inundación de otras áreas por el embalse.

3. Con la aplicación de herramienta geoespaciales, se fortaleció la identificación y determinación de las medidas de mitigación más adecuadas vinculadas a la normativa del área protegida. El fin principal de la aplicación de las herramientas geoespaciales, en una cuenca hidrográfica es sistematizar la caracterización, priorización y formulación del plan de manejo de la cuenca, sub cuenca y microcuenca, a partir de los componentes estructurales y procesos funcionales, que permitan garantizar el uso sustentable del recurso hídrico. Dentro de los objetivos específicos de la aplicación de estas herramientas, se persigue determinar el uso potencial de unidades territoriales, partiendo de la información estructural (suelos, geología, hidrología, condiciones climáticas, entre otros), relacionándolos entre sí. A si mismo, se busca determinar el uso actual de la cuenca, estableciendo cuales son los conflictos de uso en áreas críticas con procesos de degradación. Con el fin orientativo de una formulación del plan de trabajo, desde los actores de la comunidad que habitan (sus actividades, acciones e influencia) en el área de estudio.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar la presente metodología para el análisis de propuestas de proyectos hidroeléctricos, interrelacionando los distintos aspectos para la toma de decisiones.
2. Al realizar propuestas de proyectos hidroeléctricos para el área de la microcuenca del río Bonito será necesario considerar las adecuadas tecnologías para minimizar los impactos en cuando a la remoción de tierra, cobertura vegetal, construcción de infraestructura gris (construcción de la presa y toma, cuarto de máquinas).
3. Es necesario considerar la ubicación de la microcuenca en el área protegida y la normativa aplicable para los usos adecuados y actividades permisibles.
4. Las áreas muy escarpadas son un factor limitante para la etapa de construcción de cualquier infraestructura en la microcuenca del río Bonito.
5. Medidas de mitigación como la no utilización de maquinaria pesada, transporte aéreo de materiales, planes de reforestación y manejo de la parte alta de la cuenca, a fin de mantener la recarga hídrica son esenciales para el mejor desarrollo de proyectos hidroeléctricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. Breña P. y Jacobo V. (2006) *Principios y fundamentos de hidrología de Superficie* Universidad Autónoma Metropolitana Ciudad de México.
2. Calderón, Álvarez y Axpucac, (2011). *Utilización de los sistemas de información geográficos para la propuesta del manejo de los recursos naturales renovables de la parcialidad Chipuac del municipio de Totonicapan* (Trabajo de Graduación Postgrado Ingeniería) Universidad de San Carlos de Guatemala.
3. CATIE. (1994). *Modelo simplificado de planes de manejo para bosque naturales latifoliadas en la región centroamericana*. CATIE/USAID. 129 p.
4. CATIE. (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) CR. 1995 VII *Curso intensivo de silvicultura y manejo de bosques Naturales tropicales* Turrialba CR. CATIE/USAID
5. CIACEF. (Centro de Información de Experiencias de Adaptación y Crecimiento de Especies Forestales en Chile, CL). *Glosario de Términos*. Disponible en internet <http://www.infor.cl/ciacef/> Chile. Sp.

6. CONAP (2007). *Ley de Áreas Protegidas y Su Reglamento Guatemala* 96 p. Guatemala C.A.
7. CONAP (2008). *Manual de Inducción* 67 p. Guatemala C.A. documento técnico de gobierno.
8. CONAP (2007) *Manual de Organización, funciones y perfiles de puesto*, documento administrativo Guatemala C.A.
9. CONAP, FUNDAECO, TNC (2,006) *Plan maestro de la reserva protectora de manantiales Cerro San Gil, Livingston Izabal*, documento técnico, Guatemala.
10. CONAP (1999) *Manual para la Administración Forestal en Áreas Protegidas* documento técnico, Guatemala.
11. Cotler H. (2004) *El manejo integral de cuencas en México* Instituto Nacional de Ecología Editorial SEMARNAT Periférico sur 5000, colonia Insurgentes Cuicuilco, C.P. 04530. México.
12. García A., Guzmán R. (1997). *Manual Técnico para el Manejo Integral de cuencas hidrográficas* Ministerio de Ambiente, editorial de las Publicaciones SENA Dirección general Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.
13. Herrera I. (1997). *Manual técnico de Hidrología. Facultad de Agronomía* documento técnico de la Universidad de San Carlos de Guatemala Guatemala.

14. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). (1979). *Atlas nacional de Guatemala*. documento técnico Editorial del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas Guatemala.
15. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). (2000). *Manual para la Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso*. INAB. Guatemala.
16. Ministerio de Hacienda y Crédito Público; documento técnico, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (1997). *Bases conceptuales y guía metodológica para la formulación del plan de ordenamiento territorial departamental* Santa Fe de Bogotá, Colombia.
17. Puerta R., Rengifo J., Bravo N. (2011). *Manual Técnico Básico Arc Gis 10* Editorial de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.
18. Richters, J. (1995). *Manejo del uso de la tierra en América Central, hacia El aprovechamiento sostenible del recurso tierra*. San José, Costa Rica.
19. UICN (2,009). *Documento técnico Guía para la elaboración de planes de manejo de microcuencas Basada en la sistematización de la experiencia del Proyecto Tacaná* Unión Internacional para la conservación de la naturaleza, Oficina Regional para Mesoamérica Apartado 146-2150 Moravia, Costa Rica.
20. Zavala y Trías S. (2,015) *Guía a la redacción en Estilo APA 6ª edición* Universidad de Alcalá, España.

APÉNDICE

Medición de pendientes y alturas



Fuente: Propia, realizando verificación en campo año 2015 y 2016.

Cobertura Vegetal y reconocimiento del terreno



Fuente: Propia, realizando verificación en campo año 2015 y 2016.

Cauce con altura diferencial adecuada para aprovechamiento potencial



Fuente: Propia, realizando verificación en campo año 2015 y 2016

Presencia de xate, algunos helechos como parte de la cobertura vegetal



Fuente: Propia, realizando verificación en campo año 2015 y 2016.

Presencia de, Laurel, Subin, como parte de la cobertura vegetal



Fuente: Propia, realizando verificación en campo año 2015 y 2016.

Presencia de *Pinus carabea* como parte de la cobertura vegetal



Fuente: Propia, realizando verificación en campo año 2015 y 2016.