

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIADA EN INGENIERÍA
FORESTAL

**Simulación de embalses para la generación de energía
eléctrica en la sub cuenca del río Telire, Reserva
Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.**

MARÍA JOSÉ SOLANO BONILLA

CARTAGO, COSTA RICA

2015

Simulación de embalses para la generación de energía eléctrica en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Resumen

Se plantea un estudio sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica; en la que se pretende evaluar las variables morfo métricas y el balance hídrico de la sub cuenca, además ubicar diferentes opciones de sitios y alturas de embalse dentro de la Reserva Indígena Cabécar Telire, así como determinar la cobertura impactada y recomendar medidas correctivas para el recurso forestal afectado. Se llevó a cabo por medio de diferentes herramientas del software Arcgis 10.2 (ESRI, 2013), el atlas digital 2008 y 2014 (Ortiz, 2008; Ortiz, 2014), ecuaciones hidrológicas, y datos de precipitación y temperatura brindados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y el Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Los resultados muestran que la sub cuenca del río Telire posee una topografía de moderadamente a fuertemente ondulada y una red hídrica pobre que podría afectar el caudal del cauce principal. Sin embargo, no existe déficit de agua lo cual beneficia el funcionamiento de un eventual embalse. Con respecto a los diferentes escenarios de embalse, la cobertura mayormente afectada será la masa forestal y específicamente el bosque maduro. El sitio B con la altura de embalse de 30 m es el que presenta una mayor capacidad de almacenamiento de agua, mientras que el sitio C es el que muestra el mayor caudal. Se propone diseñar medidas de prevención, mitigación, restauración y compensación bajo el estándar sobre compensaciones por pérdida de biodiversidad, Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP).

Palabras clave: Costa Rica, recurso hídrico, morfo métricas, Reserva Indígena Cabécar Telire, embalse, balance hídrico, sistemas de información geográfica (SIG).

Simulation of flood scenarios for the generation of electricity in the sub basin Telire River of the Cabecar Telire Indian Reservation, Limón, Costa Rica.

Abstract

A study is proposed to evaluate morphological and water balance variables, to locate different heights and options for flood scenarios in the sub basin Telire River and to determine the coverage of the impacted area in order to recommend corrective measures for the affected forest resource in the Cabecar Telire Indian Reservation. Hydrological equations, precipitation and temperature data provided by the Costa Rican Electricity Institute (ICE) and the National Meteorological Institute (IMN) were analyzed using the Arcgis 10.2 (ESRI, 2013) software program and digital atlas of 2008 and 2014 (Ortiz, 2008; Ortiz, 2014).

The results show a moderately undulating topography and a low water supply that could affect the flow of the main channel of the river. However, since there isn't a water balance deficit, this would benefit the operation of a possible flood scenario in the sub basin Telire River. Different scenarios show that the most affected area will be the forest coverage, especially the mature forest. Site B, with 30 m of height, is the one with higher water storage capacity while site C shows the higher water flow. Therefore, the design of prevention, mitigation, restoration and compensation measures under the standard of compensation for loss of biodiversity of the Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP) is proposed.

Keywords: Costa Rica, water resources, morphology, Cabécar Telire Indigenous Reservation, dam, water balance, geographic information systems (GIS).

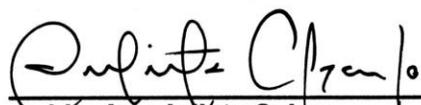
Esta tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

Simulación de embalses para la generación de energía eléctrica en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Miembros del tribunal


Lic. Dorian Carvajal Vanegas
Escuela de Ingeniería Forestal
Director de tesis


Ing. Erick M. Castro Chavarría
Asesor forestal de la Reserva
Indígena Cabécar Telire
Lector


Lic. Ana Julieta Calvo
Escuela de Ingeniería Forestal
Lector

DEDICATORIA

A Dios

Por permitirme iniciar y concluir esta etapa de mi vida.

A mis padres

Quienes con su valentía y esfuerzo me han enseñado que a pesar de las dificultades, siempre hay que seguir adelante, ser perseverante e intentar dar lo mejor de cada uno.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Franklin y Mayra por toda su dedicación, cuidado, preocupación y amor a lo largo de mi vida.

A mi hermana Cristina que es el regalo máspreciado que me ha regalado Dios, por su confianza en mí y por todo su apoyo.

A José por su ayuda, regaños y apoyo.

A mi tutor Dorian Carvajal por sus correcciones y paciencia.

A Claudina y a su familia que me acompañaron, ayudaron y brindaron su amistad en mi estadía en el territorio indígena.

A Erick Castro y a la Asociación de desarrollo integral del territorio indígena Cabécar Telire.

A mis amigos, compañeros y a cada uno de los profesores que de una u otra manera contribuyeron en mi formación personal y profesional.

INDICE GENERAL

Resumen	i
Abstract	ii
Miembros del tribunal	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE GENERAL	vi
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE ANEXOS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1. Aspectos hidrológicos	4
3.1.1. Hidrología	4
3.1.2. Ciclo hidrológico	4
3.1.3. Balance hídrico	5
3.1.4. Evaporación	5
3.1.5. Escorrentía	5
3.1.6. Infiltración	6
3.1.7. Transpiración	6
3.1.8. Evapotranspiración	6
3.1.9. Evapotranspiración potencial	6
3.1.10. Evapotranspiración real	7
3.1.11. Evapotranspiración de referencia	7
3.1.12. Método de Thornthwaite	7
3.2. Aspectos meteorológicos	8
3.2.1. Temperatura	8

3.2.2.	Precipitación _____	8
3.3.	Morfología de cuencas hidrográficas _____	9
3.3.1.	Cuenca hidrográfica _____	9
3.3.2.	Clasificación de cuencas hidrográficas _____	9
3.3.3.	Subcuenca y microcuenca _____	10
3.3.4.	Morfología y morfometría _____	10
3.3.5.	Área de la cuenca _____	10
3.3.6.	Dimensiones de la cuenca _____	11
3.3.7.	Forma de la cuenca _____	11
3.3.8.	Red de drenaje _____	11
3.3.9.	Tipo de corrientes _____	12
3.3.10.	Orden de corrientes. _____	12
3.3.11.	Densidad de drenaje _____	12
3.3.12.	Frecuencia de corrientes _____	12
3.3.13.	Tiempo de concentración _____	13
3.3.14.	Pendiente media de la cuenca _____	13
3.3.15.	Altitud media de la cuenca _____	13
3.3.16.	Pendiente del cauce _____	14
3.3.17.	Perfil longitudinal _____	14
3.4.	Caudales _____	14
3.4.1.	Caudal _____	14
3.4.2.	Caudal máximo _____	15
3.4.3.	Caudal ecológico _____	15
3.5.	Energía _____	15
3.5.1.	Sistema energético _____	15
3.5.2.	Energía hidroeléctrica _____	16
3.5.3.	Centrales hidroeléctricas _____	16
3.5.4.	Centrales de pie de presa _____	17
3.6.	Territorios Indígenas _____	18
3.7.	Medidas correctivas para el recurso forestal _____	19
4.	METODOLOGÍA _____	23
4.1.	Sitio de estudio _____	23
4.2.	Determinación del área de estudio _____	24

4.3.	Determinación de la precipitación y temperatura media mensual	27
4.4.	Determinación de la Precipitación y temperatura media sobre un área	29
4.5.	Balance hídrico	30
4.6.	Determinación de los sectores de embalse	31
4.7.	Determinación de áreas de inundación	31
5.	RESULTADOS	33
5.1.	Parámetros morfológicos	33
5.1.1.	Red de drenaje	36
5.2.	Balance hídrico	37
5.3.	Efectos de la ubicación de los embalses	40
6.	DISCUSIÓN	51
6.1.	Parámetros morfológicos	51
6.1.1.	Red de drenaje	52
6.2.	Balance Hídrico	52
6.3.	Efectos de la ubicación de los embalses	53
6.4.	Recuperación del recurso forestal	56
7.	CONCLUSIONES	59
8.	RECOMENDACIONES	60
9.	BIBLIOGRAFIA	61
10.	ANEXOS	76

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Información de las estaciones meteorológicas utilizadas en la determinación de la precipitación mensual.	28
Cuadro 2. Información de las estaciones meteorológicas utilizadas en la determinación de la temperatura mensual.	29
Cuadro 3. Alturas de inundación (m) para cada sector propuesto para la elaboración de un embalse.	32
Cuadro 4. Parámetros morfométricos de la superficie de la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	33
Cuadro 5. Parámetros morfológicos de la red hídrica de la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	36
Cuadro 6. Evapotranspiración mensual para la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	38
Cuadro 7. Precipitación media, excedente de humedad y escorrentía media mensual para la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	39
Cuadro 8. Datos físicos de cada uno de los escenarios sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	44
Cuadro 9. Características de las áreas de proyecto propuestas sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	45
Cuadro 10. Riesgos y amenazas en el área de proyecto sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	46
Cuadro 11. Características de las áreas de influencia directa en cada uno de los embalses sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	48
Cuadro 12. Riesgos y amenazas en el área de influencia directa del proyecto sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	49
Cuadro 13. Lista de especies forestales comunes en sitios aledaños a la Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Reserva indígena Cabécar Telire en la sub cuenca del río Telire, Limón, Costa Rica.	23
Figura 2. Clasificación por zonas de elevación en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	34
Figura 3. Perfil longitudinal del cauce principal de la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	35
Figura 4. Clasificación de la red hídrica de la sub cuenca del río Telire según Horton-Strahler, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.....	37
Figura 5. Caudal mensual estimado (m ³ /s) para la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica	39
Figura 6. Ubicación de los sitios de embalse en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	40
Figura 7. Escenarios de embalse en el sitio A sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	41
Figura 8. Escenarios de embalse en el sitio B sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	42
Figura 9. Escenarios de embalse en el sitio C sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	43
Figura 10. Zonas de vida según Holdridge e impacto de las áreas de influencia directa (AID) sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.....	47

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Balance hídrico y caudal estimado de la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	76
Anexo 2. Balance hídrico y caudal estimado del escenario A en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	76
Anexo 3. Balance hídrico y caudal estimado del escenario B en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	77
Anexo 4. Balance hídrico y caudal estimado del escenario C en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	77
Anexo 5. Río Telire dentro de la Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	78
Anexo 6. Sección del río Telire cercano al sitio C, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	78
Anexo 7. Pueblo Bajo Bley, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.	79

1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico representa un alto valor social, económico y ambiental, por ello su aprovechamiento debe fundamentarse en el equilibrio permanente de cada uno de ellos, debido a que el agua es uno de los elementos naturales vitales para el desarrollo económico y social de un país (Barrientos, 2011).

América Latina con apenas el 15% de la superficie del planeta cuenta con abundantes recursos hídricos (Guzmán y Calvo, 2013). Según Segura (2014) en Costa Rica existe una alta oferta hídrica y un amplio sistema fluvial. En el balance hídrico nacional anual realizado en el 2008, Costa Rica posee un volumen de agua de 113,1 Km³ por año, por ello y la topografía es que se cuenta con una extensa red de drenaje. Siendo así se requiere de una gestión del agua, con el objetivo de entender la cantidad, calidad y distribución espacial, considerando la relación de los elementos naturales y sociales con los diferentes usos que proporciona el agua (Santacruz, 2007).

Uno de los usos que brinda el agua es la generación de energía eléctrica, determinar el sitio óptimo de ubicación de una planta hidroeléctrica, las características físicas y el potencial eléctrico proporcionado por el sitio, da la posible viabilidad de un proyecto (Roqueñí, Mesa, Martínez y Prendes, 2004).

Benegas, Jiménez, Locatelli, Faustino y Campos (2007), mencionan que los proyectos hidroeléctricos pueden funcionar como estrategias de adaptación a la variación climática. Debido a que según CEPAL (2010), en los embalses hay un almacenamiento de agua para producir energía o para otros usos en época seca.

Según el ICE (2014) en Costa Rica la industria eléctrica está en manos de siete instituciones y 30 generadoras privadas. Sin embargo ICE (2008), menciona que el mayor porcentaje de electricidad fue producida por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). Las fuentes

hidroeléctricas para nuestro país son las que proporcionan el mayor porcentaje de energía total producida con un aproximado de 82,5% (ICE, 2010; ICE, 2014).

Como respuesta de la creciente demanda de energía eléctrica que existe en Costa Rica se propone aprovechar el gran potencial disponible de fuentes propias y renovables (Castro, Porras y Jiménez, 2009). El ICE (2010) e ICE (2011) añade, que el crecimiento en la demanda corresponde a un 5% anual por lo que es necesario investigar y desarrollar nuevos proyectos que satisfagan la demanda con energías renovables.

Si bien es cierto, la construcción de nuevos embalses en un sitio llevaría a cambios en el medio, desde el punto de vista social y ambiental. Se provocarían alteraciones en los ecosistemas, cambios de cobertura vegetal, cambio de uso del suelo, contaminación, sedimentación, erosión entre otros (ICE, 2010). Por este motivo es importante buscar técnicas que faciliten el entendimiento de los sistemas naturales para provocar el menor daño posible.

Contribuyendo a lo anterior Saborio (2010) y Peña (2010) mencionan que una herramienta esencial para el manejo de los recursos naturales, la planificación de los diferentes usos de la tierra y la gestión de las cuencas hidrográficas son los sistemas de información geográfica (SIG), su desarrollo facilita la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelación y presentación de datos georeferenciados.

Para Pacheco (2011) los SIG se pueden utilizar para la toma de decisiones, por esta razón el objetivo de este trabajo es analizar diferentes escenarios de inundación para el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico sobre la sub cuenca del río Telire, por medio de técnicas de sistemas de información geográfica (SIG).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Analizar las características de diferentes escenarios de embalse para el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena, Cabécar, Telire, Limón, Costa Rica.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar las variables morfométricas y el balance hídrico de la sub cuenca del río Telire.
- Ubicar diferentes escenarios de embalse, dentro de la Reserva Indígena Cabécar Telire.
- Proponer medidas correctivas para la recuperación de la cobertura forestal.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Aspectos hidrológicos

3.1.1. Hidrología

El agua es el recurso natural indispensable para cumplir el ciclo de vida de todos los seres vivos, cumpliendo funciones ecológicas y formando parte de la mayoría de las actividades socioeconómicas. Es considerada como un recurso único, escaso, indispensable e insustituible (Balairón, 2002).

Tras varios cambios en los conceptos de hidrología, actualmente se define como “la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas, además su relación con el medio ambiente” (Aparicio, 1989).

Campos (1998) añade que la hidrología es la base de cualquier diseño de control y aprovechamiento de los recursos hidráulicos y la Universidad Tecnológica de Pereira (2010), sostiene que es la ciencia clave en el estudio de los sistemas de generación y permite dar una idea de la capacidad de las plantas instaladas y como se deben operar las mismas según el comportamiento del recurso hídrico que se está utilizando.

3.1.2. Ciclo hidrológico

El sol es el promotor del ciclo hidrológico, este calienta el agua que se encuentra en las superficies terrestres y de agua. Parte de esta agua se evapora asciende a la atmosfera convirtiéndose en nubes y por medio del proceso de condensación el vapor de agua cae de nuevo desde el cielo en forma de precipitación como lluvia, nieve, granizo y neblina (Davis y DeWiest, 1966; Maderey, 2005; Jiménez, 2010).

3.1.3. Balance hídrico

El balance hídrico expresa la igualdad entre las entradas de agua y la cantidad de agua que es evacuada a la unidad hidrográfica. Visto de otra manera es la relación matemática entre la precipitación, la evapotranspiración y el escurrimiento del área en estudio (Fraume, 2007). Por lo tanto existen métodos que funcionan para aproximar o dar una idea del balance hidrológico en las cuencas. Sin embargo; poseen ciertas limitaciones a raíz de incertidumbres en la estimación de algunos parámetros del balance, como por ejemplo la reserva útil y la evapotranspiración real (Samper, García, Pisani, Alvares, Varela y Losada, 2005).

3.1.4. Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua cambia de fase líquida a fase gaseosa y pasa desde la superficie evaporante a la atmósfera. El agua lleva a cabo este proceso gracias al aporte de energía que es proporcionado mayormente por la radiación solar y a menor medida por el aire que corre por la superficie. Puede evaporarse desde distintas superficies como ríos, mares, suelos, lagos y vegetación húmeda (Olalla, 2005).

3.1.5. Escorrentía

La escorrentía es el agua que escurre hasta el final de la cuenca pasando sobre o por debajo de la superficie (Aparicio, 1989). Es decir, es una parte del agua que entra al sistema que no logra evaporarse y que por alguna razón no penetra el suelo, escurriendo en el sentido de la pendiente (Heuveltop, 1986).

3.1.6. Infiltración

La infiltración es el proceso en que el agua se mueve a través de la superficie del suelo, a causa de las fuerzas gravitacionales y capilares (Aparicio, 1989). Según Villón (2004), las aguas subterráneas provienen de la infiltración indirecta de ríos o lagos y directa por las lluvias. Este tipo de agua es la que ocupa los vacíos dentro del estrato geológico, siendo el agua que está por debajo del nivel freático.

3.1.7. Transpiración

La transpiración es un proceso de evaporación fisiológica, siendo muy complejo en las plantas. Ocurre cuando la presión de vapor en las células de las hojas es mayor que la presión de vapor en la atmósfera (Quereda, 2005), pasando el vapor de agua a la atmosfera por medio de los estomas (Olalla, 2005).

3.1.8. Evapotranspiración

Este proceso implica la pérdida de agua por evaporación del suelo, cobertura vegetal y transpiración de las plantas (Aparicio, 1989). Este proceso se favorece con el incremento de las temperaturas, bajas altitudes y el grado de cobertura vegetal (Marín, 1993). La proporción de evaporación y transpiración de una planta se modifica según su etapa de desarrollo y crecimiento (Olalla, 2005).

3.1.9. Evapotranspiración potencial

“Representa la cantidad que resultaría evaporada y transpirada, si las reservas en agua fuesen suficientes para compensar las pérdidas máximas” (Barboza, 1979). Es decir, se encuentra en condiciones favorables cuando el suelo posee buena cantidad de agua y con cubierta vegetal bien densa (Chaverri y Cujó, 1985; Zeledón, 1991).

3.1.10. Evapotranspiración real

La evapotranspiración actual se da bajo las condiciones reales de humedad que posee el suelo, grado de cobertura vegetal, condiciones edáficas, tanto en las dimensiones de espacio como de tiempo, actuando como factores reductores (Chaverri y Cujó, 1985).

3.1.11. Evapotranspiración de referencia

Se relaciona de una forma más directa con los requisitos de agua de los cultivos de un lugar, siendo un cultivo estándar, específico o de referencia. Se tiende a confundir con la evapotranspiración potencial; debido a que la superficie no presenta déficit hídrico y posee óptimas condiciones de crecimiento y depende solamente de las condiciones climáticas. El suelo al presentar un buen suministro de agua no afecta el ritmo de evapotranspiración, así que su resultado muestra la demanda evaporativa de la atmósfera independientemente del tipo de cultivo (Santos, Lorite, Allen, Tasumi, Gavilán y Fereres, 2008).

3.1.12. Método de Thornthwaite

Existen diferentes métodos para calcular la evapotranspiración potencial (ETP), donde la mayor parte implica la solución de fórmulas matemáticas realizadas en distintas regiones, apoyadas en información climática y en ciertos casos complementadas con datos geofísicos. Los métodos más utilizados para la estimación de la ETP en Centro América son Hargreaves, Penman y Thornthwaite (Jiménez, 1994).

La metodología de Thornthwaite fue desarrollada en Estados Unidos (Villón, 2004). Su cálculo permite obtener la evapotranspiración potencial según una fórmula empírica que está en función de la latitud y la temperatura media anual (Rodríguez, 1983). Orson y Vaughn (1985) señalan que Thornthwaite demostró

teóricamente que en una zona de equilibrio la temperatura constituye un buen índice de energía

Según Plana (1979), esta metodología es ampliamente utilizada en diferentes trabajos, posiblemente por ser un método simple con gran aplicación. Villón (2004) indica que se puede aplicar de manera confiada en las zonas húmedas como Costa Rica.

3.2. Aspectos meteorológicos

3.2.1. Temperatura

La temperatura es un elemento climático que expresa el grado de calor que posee la atmósfera. Además, es una magnitud física que refleja la cantidad de energía calorífica existente en un cuerpo (Brenes y Saborío, 1995).

3.2.2. Precipitación

Se llama precipitación al vapor de agua condensado que cae de las nubes a la superficie terrestre, esta puede ser en forma de lluvia, llovizna, granizo o nieve. Se origina cuando las pequeñas gotas que forman las nubes aumentan su tamaño. En este proceso la fuerza de gravedad supera las fuerzas de suspensión, lo cual provoca la caída del agua hacia el suelo. (Editex, 2011; Gliessman, 2002).

3.3. Morfología de cuencas hidrográficas

3.3.1. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es un gran sistema abierto que intercambia constantemente materia y energía con el medio ambiente, produciendo entradas y salidas de agua (Zavoianu, 2011; Silvia, 2005). Las cuencas poseen una divisoria superficial o topográfica que es el área donde se produce un escurrimiento superficial al sistema de drenaje (Calvo, 1999), delimitado por las partes altas de las montañas, laderas y colinas (Sheng, 1992) y la divisoria de aguas subterráneas o friática que está determinada principalmente por la estructura geológica y ciertas veces influenciada por la topografía, estas dos líneas imaginarias no necesariamente coinciden y generalmente esta última posee mayor área que la primera (Campos, 1998).

3.3.2. Clasificación de cuencas hidrográficas

El sistema de drenaje de cada cuenca es un factor determinante para llevar a cabo la clasificación de las mismas, pueden ser arréicas en las cuales sus aguas se pierden por evaporación o infiltración, criptorréicas, sus aguas corren como ríos subterráneos, endorréicas el agua drena a un embalse o lago y finalmente las exorréicas cuando las aguas se mueven hacia un gran río o mar (Faustino y Jiménez, 2000). Los mismos autores agregan que según el grado de concentración de la red de drenaje, se definen unidades menores como subcuenca y microcuenca.

3.3.3. Subcuenca y microcuenca

Las cuencas hidrográficas pueden dividirse en espacios más pequeños por la relación del drenaje. Los ríos que llegan directamente al curso principal y que son llamados también afluentes secundarios son los que componen una subcuenca (García y Campos, 2005). Mientras que las microcuencas están definidas por los cauces o afluentes terciarios siendo las quebradas, riachuelos que alimentan a los ríos secundarios, en otras palabras, mueven su sistema de drenaje sobre el curso principal de una sub cuenca (Faustino y Jiménez, 2000).

3.3.4. Morfología y morfometría

La morfología estudia la forma de un organismo, elemento o sistema. Influye en las características físicas, químicas y biológicas. La morfometría, consiste en la cuantificación de los diferentes elementos morfométricos, asimismo incluye los métodos para medir las dimensiones físicas de un sistema. Los parámetros morfométricos se dividen en dimensiones superficiales, que son los datos obtenidos de campo o por estimaciones y dimensiones subsuperficiales que resultan a partir de los valores superficiales (Roldán y Ramírez, 2008).

3.3.5. Área de la cuenca

Para iniciar con el análisis de las características morfológicas de una cuenca indiscutiblemente el área del sitio debe estar establecida. Dicha área se refiere a la proyección horizontal del área de drenaje dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Dicha proyección puede variar si es definida por la línea divisoria de aguas subterráneas (delimitación real) o superficiales, sin embargo para obtener el balance hídrico se asume que las divisorias coinciden (Villón, 2004).

3.3.6. Dimensiones de la cuenca

Según Ibáñez, Moreno y Gisbert (2011) las dimensiones de una cuenca se definen de la siguiente manera:

Longitud: está dado por la longitud del cauce principal, desde el punto de salida aguas abajo hasta y el punto situado a mayor distancia aguas arriba.

Perímetro: proporciona una idea de la forma de la cuenca, corresponde al borde de la cuenca en un plano horizontal, generalmente presentan formas muy irregulares. Perímetros con mayor valor representan cuencas más alargadas.

Ancho: el ancho corresponde a la relación del área (Km^2) y la longitud (Km) de la cuenca.

3.3.7. Forma de la cuenca

Para establecer la forma de la cuenca se necesita calcular dos parámetros: factor de forma (Ft), cuando este valor sea cercano a uno responderá a una cuenca redonda y cuando el coeficiente de compacidad o de gravelius (Kc) sea similar a uno el riesgo de desbordamiento es máximo. Según la forma que presente la cuenca la distribución de lluvias y la frecuencia de corrientes se podrían ver afectadas (Calvo, 1999).

3.3.8. Red de drenaje

La red de drenaje es un sistema para evacuar de manera eficiente el agua de escorrentía, es decir, depende de la existencia de esta red, así va hacer el tiempo que pueda durar el agua dentro de la cuenca. Muchas de las condiciones del terreno se deben a las características que muestra cada canal en el sistema fluvial de una cuenca (Maderey, 2005). Las características sobresalientes de la red de drenaje son los tipos de corrientes, modelos de drenaje, orden de corrientes, densidad de drenaje y frecuencia de corrientes (Campos, 1998).

3.3.9. Tipo de corrientes

Son aquellas que se clasifican en base a la constancia del flujo de agua, por lo que está directamente relacionado con las características físicas y climáticas de la cuenca. Los tipos son: perennes, intermitentes y efímeras (Campos, 1998).

3.3.10. Orden de corrientes.

Según la clasificación de drenajes establecida por Horton-Strahler el orden de las corrientes debe iniciar desde los arroyos (orden 1) que son aquellos que no reciben agua de otro tributario, por esta razón son los cauces más pequeños y algunos fluyen solo en época lluviosa, a partir de ellos se forma el orden 2 y de forma ascendente llegar hasta el cauce principal de desagüe que será el de mayor orden de la cuenca (Calvo, 1999).

3.3.11. Densidad de drenaje

Indica la posible naturaleza del suelo y el grado de cobertura que existen en la cuenca. Los valores altos muestran poca cobertura y suelos erosionados, mientras que los valores bajos coinciden con coberturas vegetales densas y suelos poco dañados (Villón, 2004). La densidad de drenaje (D_d) está dada por la relación de la longitud (L_c) en kilómetros de todos los ríos de la cuenca y el área (A) en kilómetros cuadrados de la misma (Aparicio, 1989).

3.3.12. Frecuencia de corrientes

La frecuencia de corrientes proporciona la densidad de los cauces, para lograr obtenerla se divide el número de cauces (N_c) entre el área (A) en kilómetros cuadrados de la cuenca (Calvo, 1999).

3.3.13. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración de una cuenca, es el tiempo que se requiere para que una gota de agua caída recorra desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de desagüe (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Denegri, Delgado y Besteiro, 2012; Chow, Maidment y Mays, 1994; Gaspari, Senisterra, Delgado, Rodríguez y Besteiro, 2009). El tiempo de concentración está muy relacionado al coeficiente de compacidad (K_c); ya que la máxima concentración de agua se da en el momento que haya precipitación y dependiendo de la forma de la sub cuenca y del tiempo de concentración cada gota de agua va a llegar en el mismo o diferente momento a un punto en común (Gaspari et al., 2012).

3.3.14. Pendiente media de la cuenca

Esta medida brinda una relación de la escorrentía, con la infiltración, la humedad del suelo y el agua subterránea. Es uno de los factores físicos que controla el tiempo del flujo sobre el terreno y posee influencia en la magnitud de las avenidas o crecidas (Campos, 1998). Además indica su poder de arrastre o poder erosivo (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2011).

3.3.15. Altitud media de la cuenca

Este factor brinda una idea de la climatología de la región; debido a que tiene influencia en la temperatura y la precipitación. La altitud media se puede obtener por medio de fórmulas matemáticas o bien con la construcción de la curva hipsométrica, en ella, la altitud media se encuentra a la mitad del área de la cuenca que está situada sobre esa altitud y el 50% restante está por debajo de ella (Maderrey, 2005).

3.3.16. Pendiente del cauce

La pendiente promedio del cauce principal se calcula por medio de la pendiente de una línea recta que se forma desde el inicio hasta el final de la longitud del cauce o de los diferentes tramos sobre el río (Campos, 1998). Esta variable interviene en el comportamiento de la escorrentía superficial, afectando el tiempo en que dura el agua de lluvia en distribuirse por la red de drenaje (Acpalla, 2006).

3.3.17. Perfil longitudinal

Para Carenas, Giner, González y Pozo (2014), el perfil longitudinal del curso principal representa las pendientes que tiene el cauce desde el nacimiento del río hasta su desembocadura, generalmente muestra una concavidad hacia arriba. Además, Villón (2004) señala que es un factor importante en algunos proyectos, como por ejemplo: control de agua, puntos de captación y ubicación de posible centrales hidroeléctricas.

3.4. Caudales

3.4.1. Caudal

El caudal es el volumen que pasa a través de una sección transversal de un cuerpo de agua en función del tiempo. Es decir cuánta agua pasa en un segundo de tiempo en un determinado punto, se expresa en metros cúbicos por segundo m^3/s (Fraume, 2007). Calvo (2013) menciona, que las salidas por escurrimiento o el caudal en un punto se estiman con estaciones de aforo, donde se miden continuamente los niveles del río en una sección determinada.

3.4.2. Caudal máximo

Se le llama también caudal de crecida, caudal pico o avenida (Pacheco, Zelada y Navarro, 1992), corresponde al caudal máximo registrado o esperado en un aprovechamiento. Este dato posee un interés fundamental en diferentes obras civiles, debido a que estas estructuras deben tener la capacidad de soportar este tipo de caudales (Universidad Tecnológica de Pereira, 2010).

3.4.3. Caudal ecológico

Es el caudal mínimo que garantiza el desarrollo de vida fluvial igual o parecida a la que existía antes de realizar un proyecto en un río. Sin embargo, el caudal ecológico es aún más amplio contempla la cantidad de agua que pasa en el río, así como los elementos necesarios que proporciona el agua para permitir una vida continua de todos los ecosistemas de un río (Balairón, 2002).

3.5. Energía

3.5.1. Sistema energético

A nivel mundial la generación de energía está basada a partir de combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón mineral y el gas. Sin embargo, existen diferentes razones por las cuales el uso de estos materiales está siendo cuestionado. Estos recursos si se usan a gran escala afectan el medio ambiente y la salud humana, se encuentra en lugares específicos del planeta, su fuente es limitada por lo que las reservas naturales se agotan, comprometiendo el futuro de nuevas generaciones (IDAE, 2006). En el caso de Costa Rica para poder suplir el consumo final de energía comercial en el 2009, se utilizó un 64% en combustibles fósiles, un 22% en electricidad y el resto entre biomasa y otras fuentes, (MINAET, 2010).

Con el paso de los años Costa Rica ha mejorado la cobertura eléctrica, en donde las zonas urbanas gozan totalmente de este beneficio; sin embargo aún existen lugares en zonas rurales que no cuentan con servicio eléctrico. Se determinó que un total de 7 155 hogares no tienen acceso a la electricidad. Limón es la provincia con la menor cobertura 97.56%, Talamanca es el cantón con el menor índice de electricidad con un 87.45% y por la baja densidad poblacional, la dificultad de los accesos y topografía, el distrito Telire posee la menor cobertura con 37.4% (ICE, 2014).

3.5.2. Energía hidroeléctrica

Para el sector energético el agua es uno de los elementos esenciales, ya que actualmente es una de las fuentes de energía renovable más utilizada para la obtención de energía eléctrica (Sanz, 2008). Sin embargo, esta producción de energía proviene indirectamente de la energía del sol, debido a que es el promotor del ciclo hidrológico natural y parte de la energía solar permanece almacenada en las superficies de agua (IDAE, 2006). Barrero (2004), explica que la energía potencial encontrada en el agua almacenada en un embalse, es convertida en energía mecánica de rotación en las turbinas hidráulicas que luego es transformada en energía eléctrica por los generadores.

3.5.3. Centrales hidroeléctricas

Sanz (2008) menciona, que la generación de energía por medio de centrales hidroeléctricas no produce contaminación, el agua no sufre ningún deterioro y de las fuentes renovables es la de mayor calidad, por la posibilidad de dosificación, almacenamiento y regulación. Los proyectos hidroeléctricos están muy condicionados por las características del sitio donde se quiera ubicar. La topografía es determinante tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria. Se clasifican en centrales de agua fluyente, centrales de pie de presa y centrales en canal de riego (IDAE, 2006).

Los beneficios que traen consigo los diferentes usos que dan las presas, en especial las centrales hidroeléctricas para disminuir los problemas de pobreza y satisfacer diferentes necesidades hace que se cuente con un fuerte argumento para defender su construcción. No obstante, los embalses implican transformaciones en la forma de vida de los diferentes ecosistemas que se encuentran en el sitio (FAO, 2004).

FAO (2002) y Granado (1996), mencionan los efectos negativos de este tipo de obras sobre animales acuáticos y sus etapas de vida. Las diferentes obras que se realizan a lo largo de los ríos impiden el movimiento de los animales, especialmente de dos maneras: existirán barreras que afectaran la migración aguas arriba y aguas abajo de especies que necesiten desplazarse longitudinalmente en el río para suplir sus necesidades y el otro punto corresponde a los cambios físicos en el sitio, es decir, modificaciones de pendientes, perfil del río, cambios en la superficie y el sustrato del fondo, destrucción de la vegetación de las orillas y modificaciones en el régimen térmico. Por esta razón puede existir una mayor mortalidad y disminución en el flujo de nutrientes, perjudicando la producción pesquera y los ecosistemas.

3.5.4. Centrales de pie de presa

Para este tipo de centrales se da la posibilidad de construir un embalse sobre el cauce del río para tener un almacenamiento de agua y la central está ubicada debajo del embalse para aprovechar el desnivel creado por la presa. Este tipo de construcciones poseen varias ventajas: regulación de los caudales de salida de agua, control en el volumen de producción para las horas de mayor consumo y almacenamiento en época seca (IDAE, 2006).

3.6. Territorios Indígenas

Las reservas indígenas de nuestro país son territorios establecidos por la ley indígena número 6172 en el año 1977. Según Chacón (2002), la ordenación indígena posee varias maneras de organización que se originan de sus tradiciones. Sin embargo; el estado impuso las asociaciones de desarrollo integral (ADI) como la única forma de representación hacia el exterior.

La Reserva Indígena Cabécar Telire posee una extensión de 16.260 has, que corresponde a un 4.86% de todo el territorio indígena, incluye las localidades de Alto Telire, Telire Bley y Telire Tqey, toda la reserva se encuentra en manos de aborígenes. Su lengua es una de las más habladas entre los pueblos indígenas, entre ellos se encuentran: hacia el Atlántico los poblados de Chirripó, Bajo Chirripó, Tayni, Telire, Talamanca Cabécar y Nairi Awari; en el Pacífico el territorio de Ujarrás (PNDI, 2002).

Desde el punto de vista de generación de energía, los territorios indígenas costarricenses poseen un gran potencial y según el ICE (2014) existe un potencial aproximado de 1 700 MW en proyectos hidroeléctricos que se encontrarían parcial o totalmente dentro de territorios indígenas y no existe ningún impedimento legal para llevar a cabo alguno de los proyectos; no obstante, se daría una mayor complejidad en las negociaciones y acuerdos con los pueblos indígenas.

3.7. Medidas correctivas para el recurso forestal

Los bosques desempeñan funciones de gran importancia, son los hábitat naturales que albergan biodiversidad, proveen alimento, son los ecosistemas más eficientes en el balance de energía, son fuente de combustible (leña y carbón vegetal), producen madera, producen materias primas para procesos industriales, domésticos y artesanales (FAO, 1995), además, prestan una serie de servicios ecosistémicos como el mantener las fuentes de agua limpia, protegen contra la erosión, contaminación y sedimentación, regulan los gases de la atmósfera y la temperatura del aire, evitan inundaciones; ya que la cobertura forestal favorece la infiltración y disminuye la escorrentía superficial (FAO, 1993).

En este sentido, la pérdida del bosque por diferentes actividades humanas puede tener efectos nocivos a nivel local y global. Los impactos sobre las áreas al construir un embalse para un proyecto hidroeléctrico dependen del tipo de cobertura a ser inundada y los recursos que albergan, las afectaciones están asociadas a la tala de árboles con la consecuente pérdida de hábitat para especies de fauna; los cortes y terraplenes (Londoño, 2001; FAO, 1997).

Los impactos ambientales son el resultado de la interacción entre la sociedad y los espacios biofísicos, lo que puede producir cambios positivos o negativos en el ambiente (Pardo, 2002). Para controlar los impactos negativos existe la siguiente jerarquía de mitigación que propone el uso de medidas de prevención, mitigación, restauración y compensación dando como resulta un beneficio social, económico y ambiental para el proyecto y su entorno (ICE, 2010).

1. Medida de prevención: evita el efecto negativo del proyecto sobre el medio ambiente, lo que muchas veces interrumpe la ubicación, tecnología, el diseño, el tamaño entre otras consideraciones establecidas en la planificación del proyecto (Gómez O y Gómez V, 2013).

2. Medida de mitigación: medida que disminuye el impacto negativo causado por una actividad, incluyen equipos de control para la contaminación, prácticas en el manejo de los recursos, sistemas de gestión, conocimiento del ecosistema entre otras (Sbarato, Ortega y Sbarato, 2007).
3. Rehabilitar/restaurar: medidas que se toman para rehabilitar ecosistemas degradados o para restaurar ecosistemas eliminados después de la exposición a los impactos que no pueden ser evitados completamente y/o minimizados (BBOP, 2012).
4. Medida de compensación: son las medidas de conservación in situ, utilizadas para los impactos residuales y/o inevitables, adversos para la biodiversidad que no pudieron ser evitados, corregidos o mitigados a raíz de un proyecto tras el cumplimiento de medidas de prevención y mitigación (ICE, 2012). Las compensaciones pueden ser actividades positivas como la restauración del hábitat degradado, la suspensión de la degradación y la protección de áreas (BBOP, 2012). Además, Peña (2014) añade que la compensación debe ser por otra de igual o mayor área, similar a su condición, representatividad ecológica y servicio eco sistémico. Por otra parte, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2012), indica que al seleccionar el sitio a compensar se elegirán las áreas que posean una mayor oferta de servicios ambientales.

El estándar sobre compensaciones por pérdida de biodiversidad, es un documento realizado por el Programa de Negocios y Compensaciones por Pérdida de Biodiversidad, (Business and Biodiversity Offsets Programme, BBOP), en la cual pretenden apoyar a desarrolladores, grupos, gobiernos, comunidades y/o toda aquella organización que intenten evaluar las compensaciones por pérdida de biodiversidad a raíz de un proyecto con el uso de los principios, criterios e indicadores del BBOP.

“Los “Principios” se interpretan como las declaraciones fundamentales sobre un resultado deseado. Los “Criterios” son las condiciones que se deben lograr para cumplir con un Principio. Los “Indicadores” son los estados medibles que permiten evaluar si se ha cumplido o no con un Criterio en particular”. Además, el BBOP señala una serie de requisitos para llevar a cabo un proyecto según el tipo de hábitat a perturbar, en donde se menciona el hábitat modificado, el hábitat natural y el hábitat crítico (BBOP, 2012):

Hábitat modificado: sitios que contienen gran presencia de flora y fauna no nativa, en donde la actividad humana ha modificado las funciones naturales del área.

Hábitat natural: lugar que conforma especies de plantas y animales especialmente nativas y existe poca presencia de actividad humana.

Hábitat crítico: abarca zonas con alto valor de biodiversidad como: hábitat de importancia significativa para especies en peligro crítico, hábitat con especies endémicas y/o de rango restringido, hábitat con especies migratorias y/o de especies gregarias, ecosistemas amenazados o únicos y superficies asociadas a procesos evolutivos clave.

Además, para analizar los impactos directos o indirectos a causa de un proyecto o actividad, SETENA (1997) menciona una delimitación tridimensional del espacio geográfico en la cual se desea ubicar un proyecto. Así que define tres tipos de áreas: área de proyecto (AP), área de influencia directa (AID) y área de influencia indirecta (AII).

Área del Proyecto (AP): recae en los sitios que son afectados por las obras directamente del proyecto, como construcción de embalse, escombreras, instalaciones, caminos y otros.

Área de Influencia directa (AID): son los espacios geográficos aledaños al área del proyecto que reciben los impactos en forma directa y como límite mínimo se estableció un área que se extiende 500 metros a la redonda del perímetro del AP.

Área de Influencia Indirecta (AII): concierne a las porciones de los espacios que pueden recibir impacto de forma indirecta a raíz de los impactos directos. Esta área será definida en conjunto por los profesionales especialistas en función de su disciplina.

4. METODOLOGÍA

4.1. Sitio de estudio

La Reserva Indígena Cabécar Telire está ubicada en el distrito Telire, cantón de Talamanca, en la provincia de Limón, Costa Rica (09° 34' 41,82" N y 83° 16' 19,15" O). Esta reserva es parte de la sub-cuenca del río Telire, la Reserva Indígena Cabécar Telire tiene una extensión de 16 260 hectáreas (Figura 1). La precipitación promedio anual es de 4333 mm, se caracteriza por presentar elevaciones entre los 300 y 1900 msnm. Predominan coberturas boscosas pertenecientes a tres pisos altitudinales basal, montano bajo y premontano, en los que se encuentran 4 zonas de vida, según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967) (Ortiz, 2008).

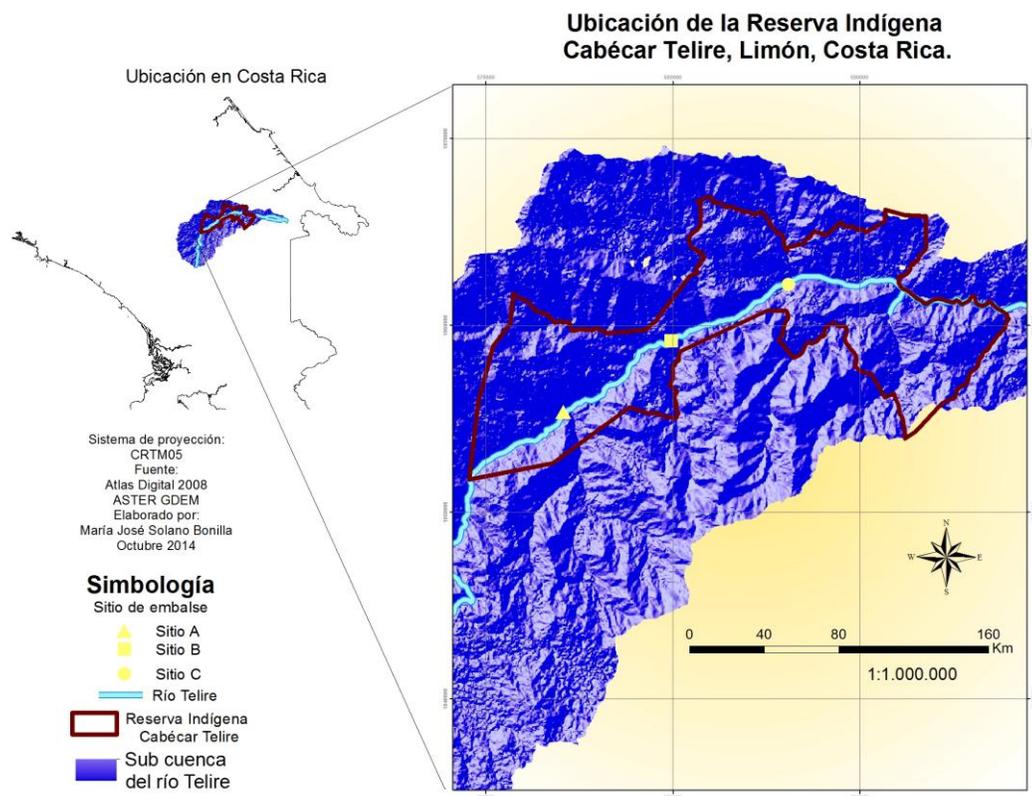


Figura 1. Ubicación de la Reserva indígena Cabécar Telire en la sub cuenca del río Telire, Limón, Costa Rica.

4.2. Determinación del área de estudio

La delimitación del área de estudio se realizó mediante la capa de cuencas y reservas indígenas del atlas digital 2008 (Ortiz, 2008) y el modelo de elevación digital ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM).

Para la selección del modelo de elevación digital (MED) a utilizar se llevó a cabo una comparación entre el MED-NASA y ASTER GDEM. Con 50 puntos de control en cada MED y verificando las alturas con las hojas cartográficas correspondientes se determinó la calidad de los modelos mediante el cálculo del error medio cuadrático (RMSE) de la componente altitudinal, en la cual el menor error lo presentó el ASTER GDEM. Para obtener el resultado se utilizó la siguiente fórmula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_j)^2}{N}}$$

Donde;

y_i : es el valor de la altura del modelo.

y_j : es la altura real.

N : es el número de pares de valores modelados.

Las características morfológicas de la sub cuenca se obtuvieron a partir de las capas de información del atlas digital 2008 (Ortiz 2008) y ecuaciones junto con sistemas de información geográfica (SIG) mediante el software ArcMap 10.2 (ESRI, 2013).

Para el cálculo del área, perímetro, longitud, cota máxima y mínima de la sub cuenca se dio uso de la herramienta Calculate Geometry. Con las siguientes fórmulas matemáticas (Calvo, 1999) y con el uso del Field Calculator se obtuvo el ancho (A_p), el factor de forma (F_t) y el coeficiente de compacidad (K_c) de la sub cuenca.

$$Ft: Ap/L$$

donde,

Ap: ancho promedio (Km).

L: Longitud (Km).

$$Ap: A/L$$

donde,

A: área de la cuenca (Km²).

L: longitud (Km).

$$Kc: P/(2\pi(A/\pi)^{0.5})$$

donde,

P: perímetro de la cuenca (Km).

A: área de la cuenca (Km²).

Para el cálculo de la pendiente promedio de la sub cuenca, se utilizó la herramienta Slope para extraer las pendientes, luego con el Zonal Statistics as table se obtuvieron las áreas entre pendientes.

Con el 50% y el 100% del área acumulada que se encuentra sobre las alturas de la sub cuenca, se obtuvo la altitud media y la altitud más frecuente de la sub cuenca (Villón, 2004).

A la capa del cauce principal de la sub cuenca se le agrego la distribución de las alturas de la superficie con el MED por medio de la herramienta Interpolate Shape, con esta nueva capa interpolada del cauce principal se obtuvo el perfil longitudinal del río Telire.

Haciendo un Zonal Statistisc as table de la capa interpolada del cauce principal, se obtuvo la cota mínima y máxima del cauce principal. Con información de las alturas del cauce y dividiendo en tres partes iguales la longitud del río Telire se

obtuvo la pendiente media del cauce (S) con el método pendiente uniforme (Villón, 2004).

Se utilizó la herramienta Hydrology de Spatial Analyst Tools para obtener el orden de los cauces de la sub cuenca según Horton-Strhaler y con esta capa de información de la red de drenaje se llevó a cabo las ecuaciones de densidad de drenaje (Dd) y frecuencia de cauces (Fc) (Calvo, 1999).

$$Dd: Lc/A$$

donde,

Lc: longitud total de los cauces (Km).

A: área de la cuenca (Km²).

$$Fc: Nc/A$$

donde,

Nc: número total de cauces.

A: área de la cuenca (Km²).

El tiempo de concentración (TC) de la sub cuenca se obtuvo por medio del método de Témez, con la siguiente formula (Vélez y Botero, 2011):

$$Tc = 0.3 * ((L/S^{0.25})^{0.75}$$

donde,

Tc: tiempo de concentración (h).

L: longitud del cauce principal (Km).

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m).

4.3. Determinación de la precipitación y temperatura media mensual

Se recopilieron datos de temperatura y precipitación de un período de 10 años (2004-2013) de las estaciones meteorológicas del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) e Instituto meteorológico Nacional (IMN) cercanas al sitio de estudio. Debido a que dentro de la sub cuenca del río Telire no existen registros de temperatura ni de precipitación, por esta razón con la información recopilada se debe estimar estas dos variables climáticas para el área de interés.

En las bases de datos proporcionadas tanto por el ICE como el IMN se encontró información faltante de temperatura y precipitación, esto por razones de pérdida de días de información en el mes o por ausencia de datos en determinados meses.

Para la estimación de los datos faltantes de precipitación se procedió a utilizar el método de la razón normal, este requiere información de al menos tres estaciones vecinas. Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_x = 1/3 [(N_x/N_a)*P_a + (N_x/N_b)*P_b + (N_x/N_c)*P_c]$$

donde,

P_x : precipitación estimada de la estación.

N_x , N_a , N_b y N_c : precipitación promedio de las estaciones.

P_a , P_b y P_c : precipitación en las estaciones a, b y c correspondientes al periodo faltante de estación x.

Para obtener los datos faltantes de temperatura se llevó a cabo el análisis de regresión lineal en el programa Microsoft Excel 2010, en la cual para obtener el dato faltante de una estación se necesitó comparar tres estaciones con comportamiento similar, donde la serie de datos de referencia debe poseer el registro de datos completos en los espacios de la estación con datos faltantes.

Existe mayor confiabilidad en el resultado del dato faltante si el valor del coeficiente de determinación se acerca a uno.

Los cuadros 1 y 2 muestran las estaciones con información de temperatura (°C) y precipitación (mm) utilizadas para estimar ambas variables en el sitio de interés.

Cuadro 1. Información de las estaciones meteorológicas utilizadas en la determinación de la precipitación mensual.

Estación	N° de estación	Longitud	Latitud	Precipitación mensual (mm)	Elevación (m)	Fuente	% de datos faltantes
Limón	81003	82°57'53 W	10°35'00 N	294,19	5	IMN	0,00
Pindeco	98027	82°26'26 W	09°13'33 N	291,26	397	IMN	1,67
Puerto Vargas, Limón	85006	80°40'00 E	10°12'07 N	265,44	3	IMN	0,00
Volcán	98056	82°15'00 W	09°20'00 N	280,57	381	IMN	4,17
Coopeagre, PZ	98089	81°47'59 E	09°36'20 N	216,10	680	IMN	1,67
Moravia de Chirripo	79005	82°21'27 W	10°23'33 N	253,41	1200	ICE	0,00
Capilla 1	79014	82°21'27 E	10°18'33 N	208,56	580	ICE	10,00
La Hilda	79016	82°11'27 W	10°03'33 N	318,61	1100	ICE	10,00
Amubri	87010	80°25'00 E	09°52'07 N	267,00	70	ICE	0,00
Volcán Buenos Aires	98006	82°15'00 W	09°22'07 N	336,22	418	ICE	1,67
Buena Vista	98031	81°52'53 E	09°50'00 N	251,24	1310	ICE	0,00
Sixaola	87006	80°57'53 W	09°50'00 N	205,66	11	ICE	0,00

Cuadro 2. Información de las estaciones meteorológicas utilizadas en la determinación de la temperatura mensual.

Estación	N°de estación	Longitud	Latitud	Temp mensual (°C)	Elevación (m)	Fuente	% de datos faltantes
Moravia de Chirripo	79005	82°21'27 W	10°23'33 N	19,10	1200	ICE	5,83
Amubri	87010	80°25'00 E	09°52'06 N	24,91	70	ICE	9,17
Volcán Buenos Aires	98006	82°15'00 W	09°22'07 N	23,94	418	ICE	15,83
Limón	81003	82°57'53 W	10°35'00 N	25,85	5	IMN	0,00
Pindeco	98027	82°26'27 W	09°13'33 N	26,38	397	IMN	2,50
Volcán	98056	82°15'00 W	09°20'00 N	25,57	381	IMN	4,17
Cerro la muerte	73080	81°44'59 W	09°57'04 N	7,65	3475	ICE	2,50

4.4. Determinación de la Precipitación y temperatura media sobre un área

Para determinar la precipitación media mensual del sitio se utilizó el método de isoyetas con la interpolación Spline del programa ArcMap 10.2 (ESRI, 2013).

Mientras que para obtener la temperatura media del lugar se realizaron gráficos de dispersión que corresponden a cada uno de los meses, en el eje “x” se colocó la elevación y en el eje “y” la temperatura de cada estación, luego se agregó la ecuación lineal en cada gráfico y se sustituyó la variable “x” por la elevación media de la sub cuenca, de esta forma se modela como cambia una variable dependiente “y” a medida q cambia una variable independiente “x” (Moore, 2005).

4.5. Balance hídrico

El balance hídrico se logró con los datos brindados por el ICE, el IMN y con la evapotranspiración obtenida por el método desarrollado por Thornthwaite en 1944 (Aparicio, 1989), con la siguiente ecuación:

$$U_j = 1.6 K a (10 T_j / I)^a$$

donde:

U_j : evapotranspiración potencial (cm).

T_j : temperatura media en el mes j ($^{\circ}\text{C}$).

a, I : constantes.

$K a$: constante que depende de la latitud y el mes del año.

La constante I :

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

donde:

$$i_j = (T_j / 5)^{1.514}$$

y j = número de mes

La constante a :

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 0.492$$

4.6. Determinación de los sectores de embalse

Se visitó la Reserva Indígena Cabécar Telire en el mes de Octubre del 2014 y con el uso de un GPS Garmin modelo 550 configurado con el sistema de proyección CRTM05, se tomaron puntos de control cerca del río Telire, en casas o en cualquier tipo de infraestructura existente.

Para observar la ubicación de los puntos tomados en campo y determinar la posibilidad de embalsar los sitios visitados o bien encontrar nuevas opciones, se visualizaron las curvas de nivel y el MED de la Reserva Indígena Cabécar Telire en el programa Arcmap 10.2 con el fin de ubicar las mejores características de forma para un embalse.

4.7. Determinación de áreas de inundación

Después de seleccionar los tres sitios para la ubicación del embalse, el cual se eligió uno de los puntos de campo (sitio C) y los otros dos bajo análisis espacial con las curvas de nivel y el MED (sitio A y B), se modelaron los efectos de cada embalse con diferentes herramientas del Arcmap 10.2 (ESRI, 2013).

Se establecieron tres alturas de embalse para cada sitio (cuadro 3), la delimitación de cada escenario se llevó a cabo por medio del proceso de digitalización. Posteriormente se calculó el área de cada polígono con calculate geometry y el volumen con diferentes operaciones utilizando el raster calculator.

Cuadro 3. Alturas de inundación (m) para cada sector propuesto para la elaboración de un embalse.

SECTORES	COTAS DE INUNDACIÓN		
	(m)		
	8	15	30
A	A8	A15	A30
B	B8	B15	B30
C	C8	C15	C30

Para obtener el caudal promedio estimado de cada sitio de embalse, se realizó un balance hídrico desde la parte más alta de la sub cuenca hasta cada punto de embalse, la pendiente media del cauce principal de la sección del río que pasa por cada escenario se obtuvo por el método de pendiente uniforme (Villón, 2004).

Para obtener las áreas de influencia directa (AID) de cada escenario se realizó un buffer de 500 m en Arcgis 10.2 (ESRI, 2013) y en cada una de estas superficies se extrajo la capa de pendientes para obtener la pendiente media de las AID.

Para la interpretación de los datos se obtuvieron diferentes mapas que mostraban visualmente los efectos de las áreas inundables, además se realizó una matriz de cada sitio tanto para las áreas de proyecto como las áreas de influencia directa tomando en cuenta factores de suelo, uso de suelo, cobertura, tipo de bosque, zona de vida, pendiente media estimada, riesgos y amenazas.

5. RESULTADOS

5.1. Parámetros morfométricos

La sub cuenca del río Telire posee un área de 936,85 Km² y su topografía comprende cotas con una diferencia de 3 708 msnm. Para determinar su forma se calculó el factor de forma y el coeficiente de compacidad que corresponden a valores de 0,16 y 1,69 respectivamente, además se obtuvo la pendiente promedio con un dato de 14,49% (cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros morfométricos de la superficie de la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Parámetro	Unidad	Valor
Área	(Km ²)	936,85
Área	(ha)	93 685,6
Cota mínima	(msnm)	57,00
Cota máxima	(msnm)	3 765
Perímetro	(Km)	183,83
Ancho promedio	(Km)	12,20
Longitud axial	(Km)	76,78
Factor de forma		0,16
Coeficiente de compacidad		1,69
Pendiente promedio de la sub cuenca	(%)	14,49
Altitud media de la sub cuenca	(msnm)	1 541
Altitud más frecuente de la sub cuenca	(msnm)	150,00

La figura 2 muestra la clasificación de la sub cuenca en parte baja, media y alta según la elevación. La parte baja corresponde al rango de elevaciones de 57 a 1 293 msnm, la zona media se encuentra entre los 1 293 y los 2 529 msnm, por último la parte alta se ubica entre los 2 529 y los 3 765 msnm. Además se observa en esta figura que la mayor parte de la Reserva Indígena Cabécar Telire está ubicada en la parte baja, así como los posibles escenarios de embalse.

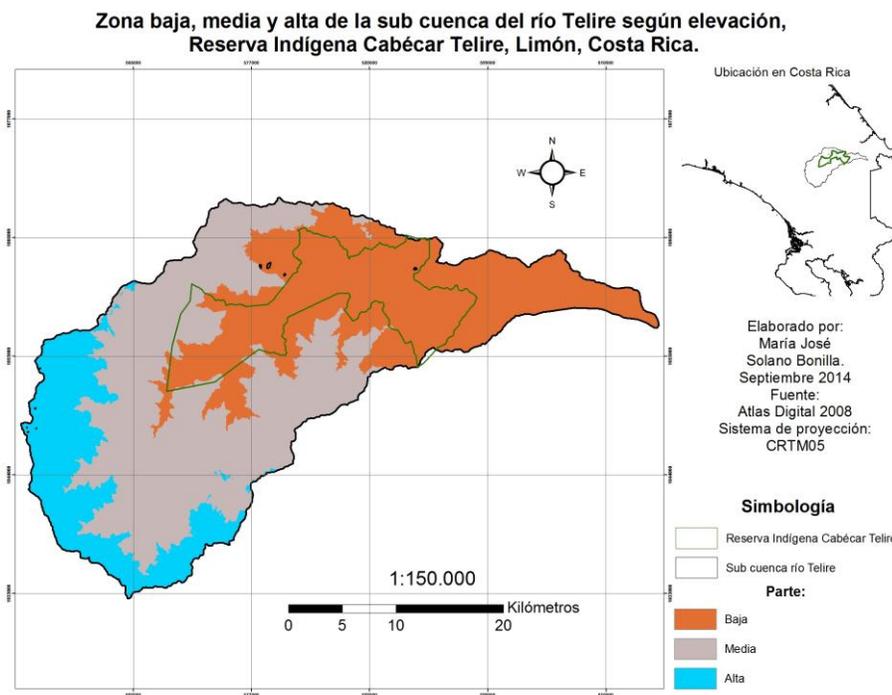


Figura 2. Clasificación por zonas de elevación en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

La figura 3 presenta el perfil longitudinal del río Telire; este nace a una elevación de 2 837 msnm, a los 7 Km de recorrido desciende a una altitud de 2 133 msnm presentando pendientes pronunciadas, luego entre los 7 y 15 Km de distancia la elevación permanece estable y aproximadamente entre los 15 y 20 Km la elevación empieza a disminuir considerablemente, causando un cambio abrupto en el relieve.

La distancia total del Río Telire dentro de la sub cuenca se dividió en tres tramos de igual longitud, para poder reconocer en que tramo es que se registra la pendiente de menor porcentaje. Desde el origen del río Telire hasta los 26 Km se obtuvo la mayor pendiente con un valor de 7,6% y una diferencia en altitud de 1981 msnm, el segundo tramo que corresponde hasta los 52 Km la diferencia altitudinal es de 540 msnm con una pendiente de 2,1% y para la última sección se obtuvo una pendiente de 1% con una diferencia entre cotas de 249 msnm. De acuerdo a dichos porcentajes los embalses se localizaran en el segundo tramo, donde la pendiente media es menor que la pendiente promedio de todo el cauce principal.

La Reserva Indígena Cabécar Telire se ubica entre los kilómetros 23 y 57 de la distancia total del río, distancia que conforma la mayor parte del segundo tramo. El perfil del río que se encuentra dentro del territorio indígena presentan altitudes desde los 1 005 hasta los 225 msnm.

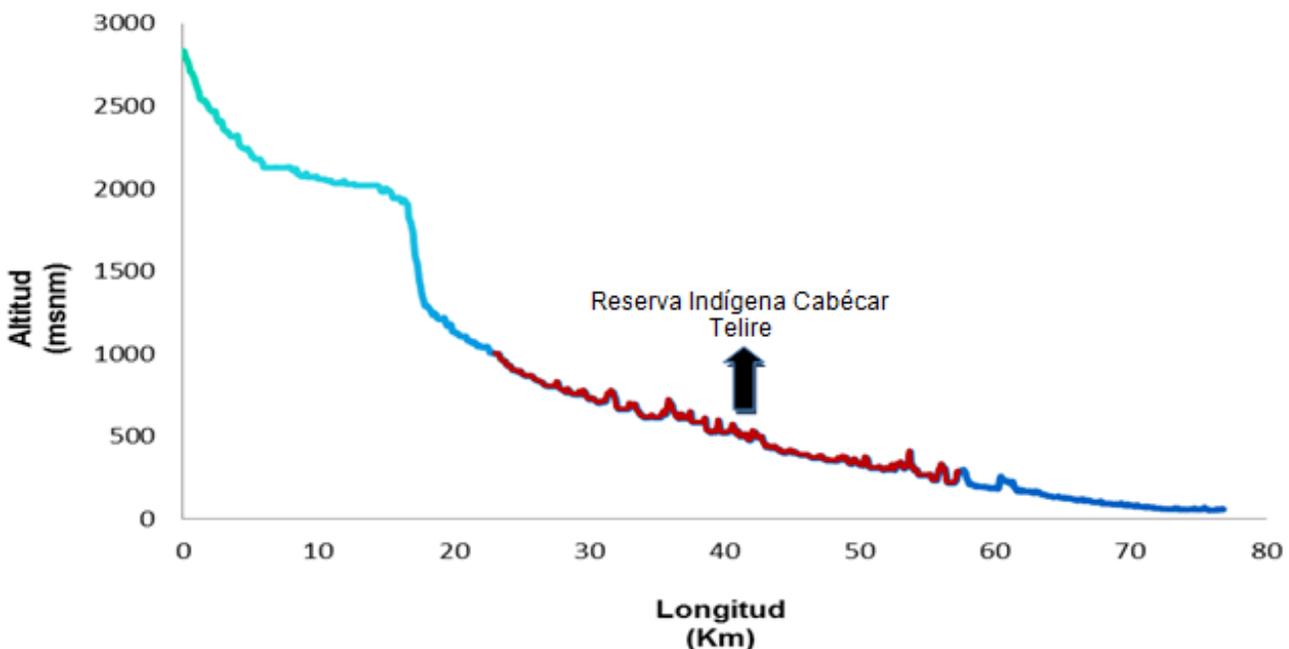


Figura 3. Perfil longitudinal del cauce principal de la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

5.1.1. Red de drenaje

A continuación se muestran los parámetros morfométricos de la red hídrica de la sub cuenca del río Telire, dichos parámetros son esenciales para determinar los tipos de flujo y la eficiencia que existe dentro del sistema.

Para ello se calculó la densidad de cauces y densidad de drenaje donde se obtuvieron valores de 0,23 y 0,48 respectivamente, además de la pendiente media del cauce principal que es de 3,55%.

Cuadro 5. Parámetros morfológicos de la red hídrica de la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad de cauces		0,23
Densidad de drenaje		0,48
Orden del cauce principal		5
Pendiente media del cauce principal	(%)	3,55
Cota máxima del cauce principal	(msnm)	2837
Cota mínima del cauce principal	(msnm)	60
Tiempo de concentración	(h)	15

La red hídrica de la sub cuenca del río Telire cuenta con 218 cauces y tiene una extensión de 450,58 Km donde posee un orden jerárquico de 5 según Horton-Strahler. El primer orden posee un porcentaje de 49% del total de la longitud, a partir de ellos se forma el orden dos que representa el 29%, los órdenes 3 y 4 poseen un 11% de longitud cada uno y finalmente con apenas 0,18% el orden cinco (figura 4).

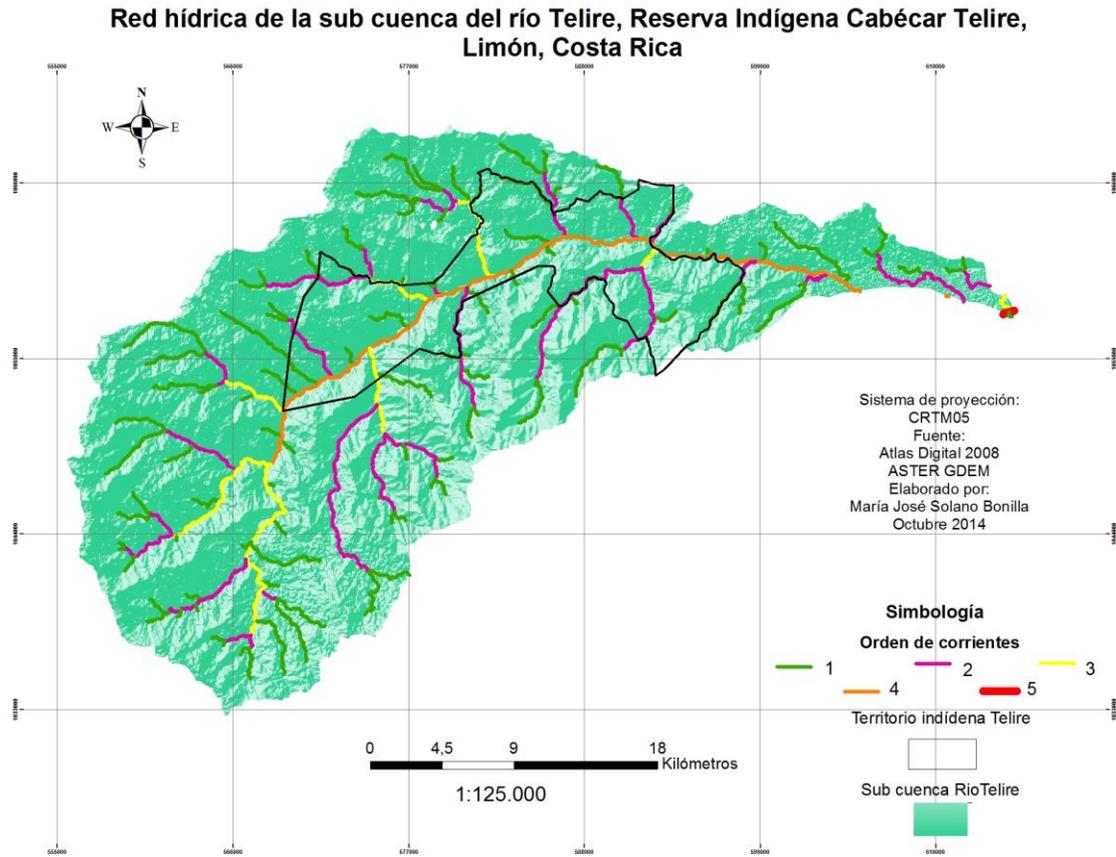


Figura 4. Clasificación de la red hídrica de la sub cuenca del río Telire según Horton-Strahler, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

5.2. Balance hídrico

El cuadro 6 muestra la temperatura media y la evapotranspiración mensual para la sub cuenca del río Telire, se determinó que la temperatura media anual del sitio es de 18,2°C, donde los meses más cálidos son Abril, Mayo y Junio, mientras que las temperaturas más bajas son para los meses de Diciembre y Enero. La mayor pérdida de agua por evapotranspiración se da en los meses donde la temperatura es mayor y los meses con menor evapotranspiración coinciden con los meses de temperaturas más bajas. El balance hídrico completo se muestra en el anexo 1.

Cuadro 6. Evapotranspiración mensual para la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Mes	Temp media (°C)	Evapotranspiración real (EA)
May	18,7	73,9
Jun	18,6	73,6
Jul	18,3	70,3
Ago	18,3	70,2
Sep	18,3	68,9
Oct	18,2	65,7
Nov	17,8	61,7
Dic	17,4	58,9
Ene	17,5	59,7
Feb	17,8	62,8
Mar	18,3	67,2
Abr	18,7	71,9
Anual	18,2	804,8

Por su parte, el cuadro 7 presenta la precipitación media, el excedente de humedad y la escorrentía media mensual para la sub cuenca del río Telire. En todos los meses la precipitación excede la evapotranspiración, por ende se presenta un excedente de humedad contribuyendo a un mayor proceso de escorrentía.

Cuadro 7. Precipitación media, excedente de humedad y escorrentía media mensual para la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Mes	Precipitación media (mm)	Excedente de humedad (mm)	Escorrentía media (mm)
May	504,95	431,10	290,82
Jun	341,18	267,58	279,20
Jul	417,43	347,13	313,17
Ago	433,28	363,08	338,12
Sep	470,2	401,28	369,70
Oct	533,45	467,77	418,74
Nov	486,28	424,54	421,64
Dic	253,29	194,41	308,02
Ene	203,36	143,61	225,82
Feb	117,79	55,02	140,42
Mar	186,26	119,10	129,76
Abr	243,36	171,42	150,59
Anual	4190,83		3386,00

Para la sub cuenca, el caudal anual estimado es de 100,322 m³/s y de acuerdo al caudal mensual estimado (m³/s) se obtiene que el mes de Noviembre representa el mayor caudal con un valor de 152.40 m³/s, seguido de Octubre con un caudal de 146,47 m³/s. Mientras que los meses que presentan menor caudal es Febrero, Marzo y Abril con valores de 54,38, 45,39 y 54,4 (m³/s) respectivamente (figura 5).

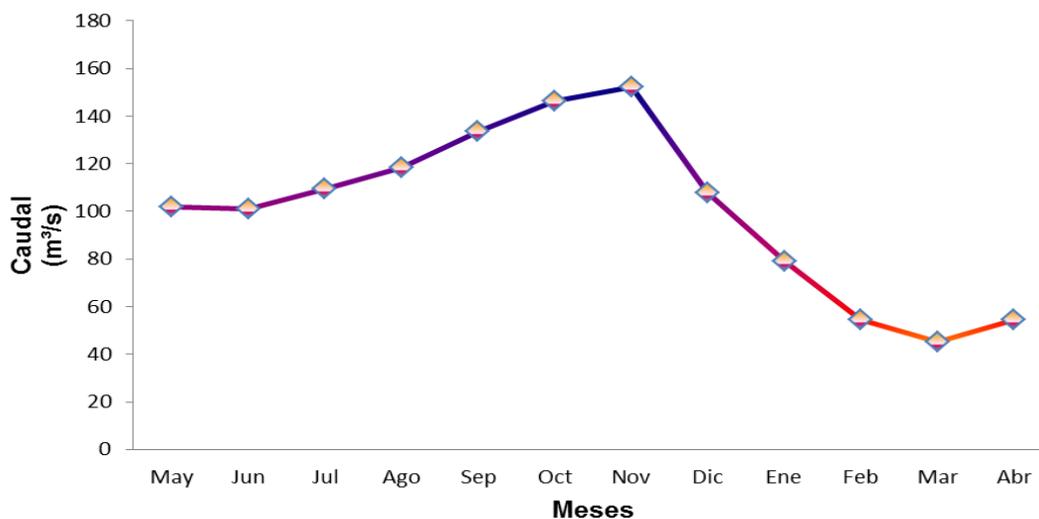


Figura 5. Caudal mensual estimado (m³/s) para la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica

5.3. Efectos de la ubicación de los embalses

En la Reserva Indígena Cabécar Telire la cobertura forestal domina el paisaje y los suelos que posee son de tipo Ultisoles con suborden Humults (Ortiz, 2014). Según el mapa obtenido de las diferentes ubicaciones de los embalses (figura 6), las principales diferencias entre ellos, se dan en las formas que adaptan cada una de las áreas según la cota de inundación.

Los escenarios de embalse en el sitio A presentan un rango de altitudes que va desde los 743 hasta los 784 msnm, en el sitio B la máxima altitud se ubica a los 687 msnm y la mínima a los 613 msnm, mientras que para el sitio C los embalses se encuentran entre las cotas 406 hasta los 444 msnm.

Con respecto a las distancias que existen entre los sectores, el sitio B se ubica a unos 6,92 Km del sitio A y el sitio C se encuentra a una distancia de 6,97 Km del sitio B.

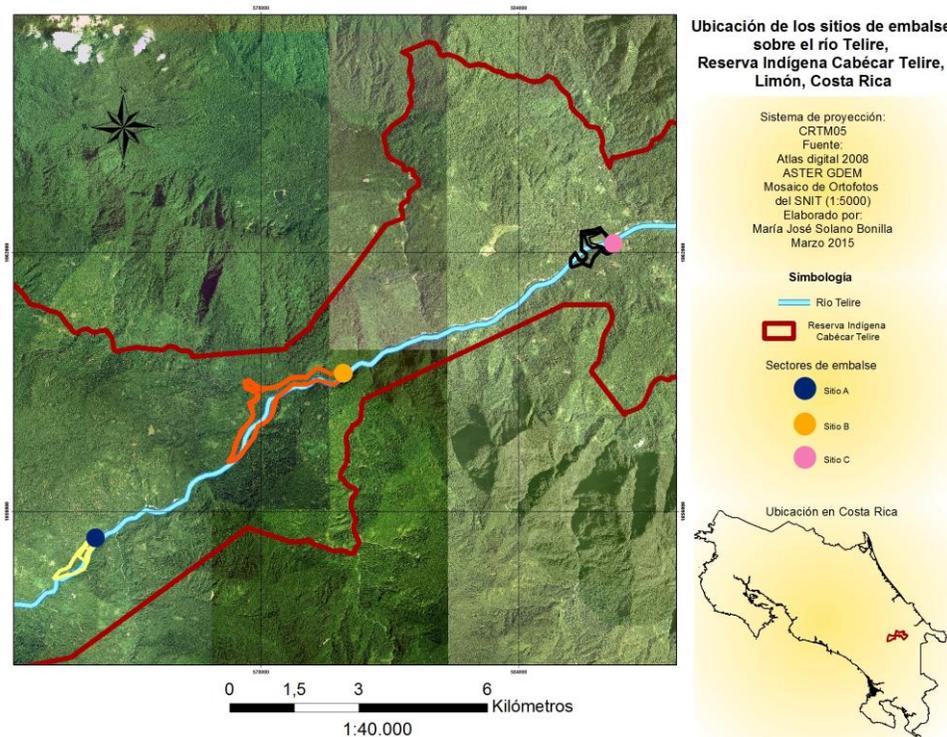


Figura 6. Ubicación de los sitios de embalse en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

La figura 7 muestra los embalses en el sitio A que se ubicarán sobre la cota 743 msnm y cuando el nivel de espejo de agua se encuentre en la cota 751 msnm el área del lago será de 2,49 ha, a los 15 m de altura de embalse el área aumentará a 7,08 ha y para los 30 m de altura el área se extenderá hasta 28,40 ha.

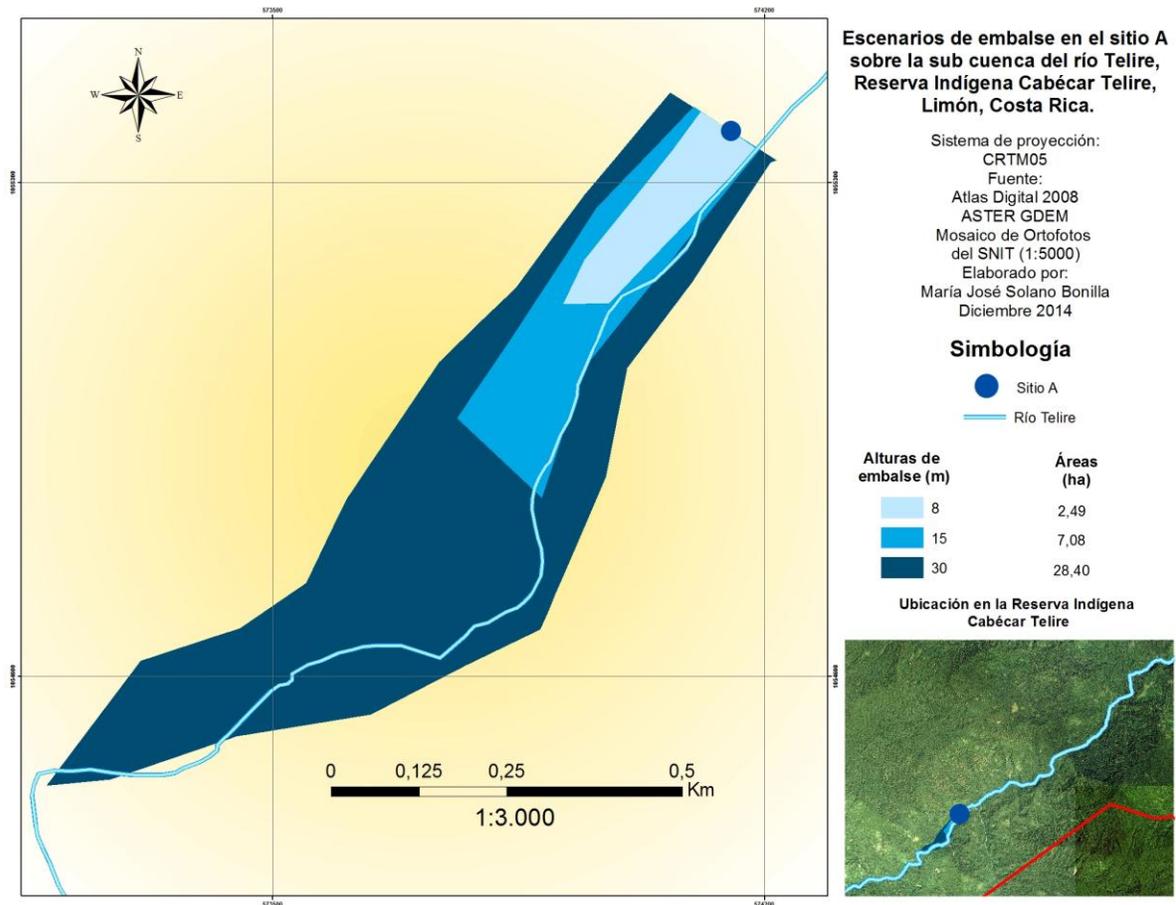


Figura 7. Escenarios de embalse en el sitio A sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

La presa en el sitio B se localiza a una cota de 635 msnm, en este sector las tres diferentes alturas de inundación provocan una similitud en la forma del área. Además, los lagos que se formarían en este sector son los que abarcan la mayor cantidad de área, obteniendo 70,94 ha para el embalse más pequeño, el segundo lago a una altura de 15 m alcanzará un valor de 84,18 ha y por último la mayor área embalsada será de 111,62 ha (figura 8).

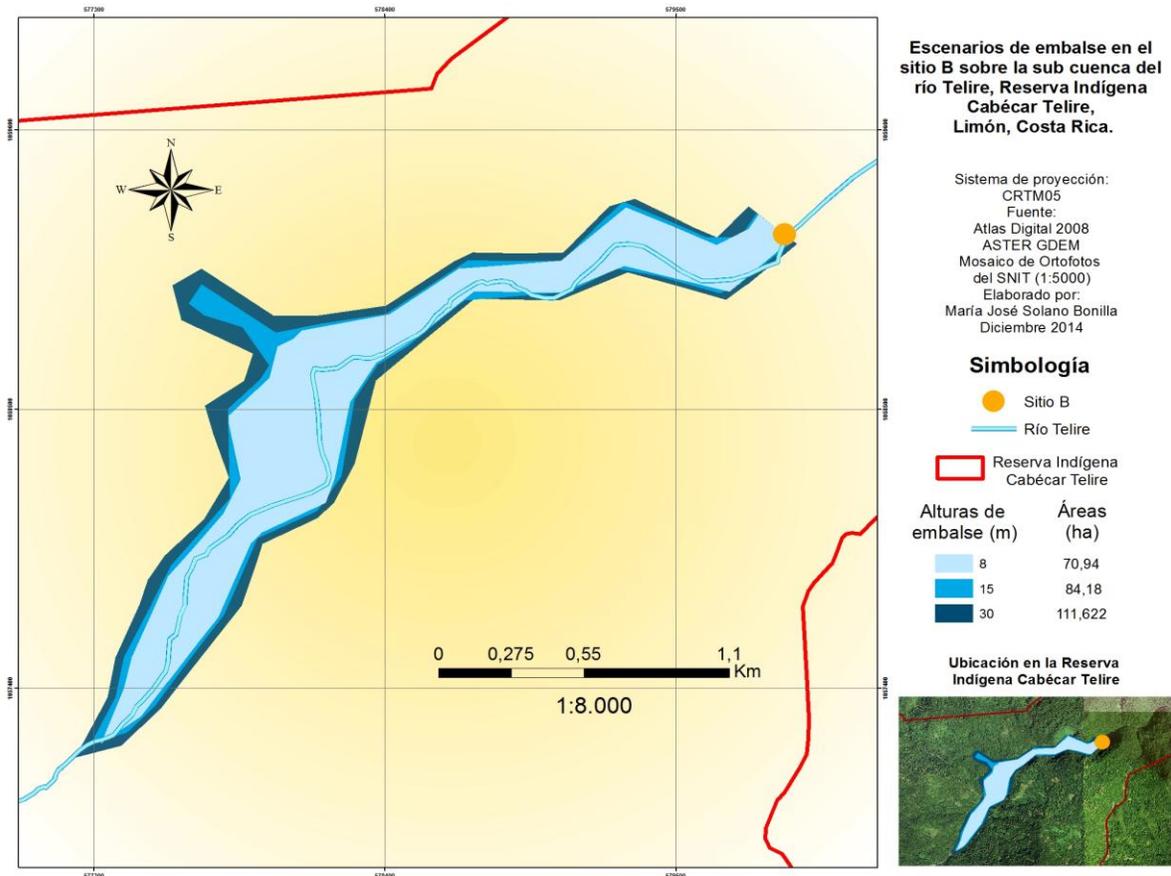


Figura 8. Escenarios de embalse en el sitio B sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Al comparar los sitios anteriores con el sitio C se da un cambio drástico con relación a la presencia de casas e infraestructura muy cercana al área del proyecto; ya que este sitio se ubica entre los pueblos de Bajo Bley Norte y Bajo Bley Sur (figura 9).

Por otra parte, los escenarios que corresponden a este sector se ubican a una altitud de 409 msnm, en donde el área más pequeña corresponde al embalse de 8 m de altura con un área de 12,64 ha, mientras que el segundo lago abarca aproximadamente un espacio de 19,82 ha y con un área de 46,15 ha el embalse que pertenece a la altura de 30 m (figura 9).

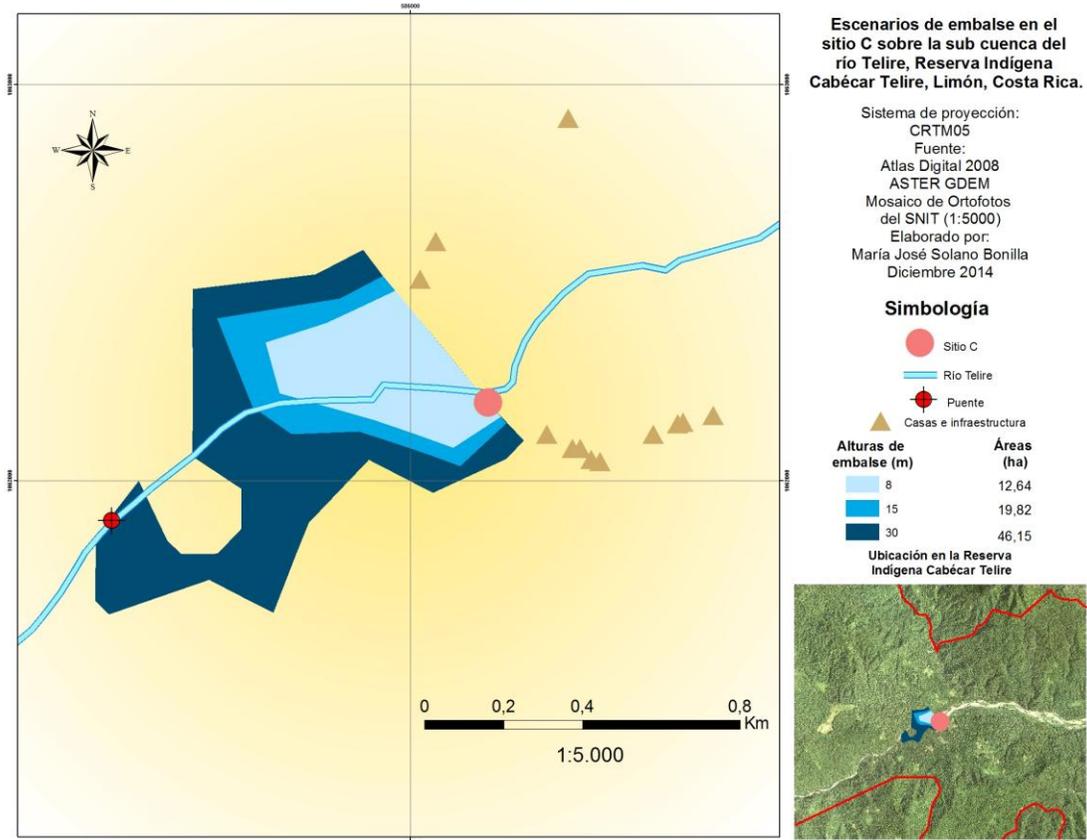


Figura 9. Escenarios de embalse en el sitio C sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Las dimensiones de cada escenario se muestran en el cuadro 8 el cual contiene datos de área, volumen, pendiente del cauce y caudal estimado. Se estimó el valor de la pendiente del río Telire que pasa por cada uno de los escenarios, en la cual la menor pendiente es de 2,20% para el sitio A8 y la mayor pendiente obtenida fue en el sector C30 con un 4,86%.

Con respecto a la capacidad de almacenamiento de agua, las alturas de 15 y 30 m en el sitio B son las que alcanzan los mayores volúmenes, seguido del sitio C 30 y A 30. Se estimó un caudal promedio anual para cada sitio, donde se obtuvo el mayor valor en el sitio C.

Cuadro 8. Datos físicos de cada uno de los escenarios sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Sectores	Área (ha)	Área (Km ²)	Pendiente del cauce (%)	Volumen (m ³)	Caudal promedio (m ³ /s/año)
A8	2,49	0,0249	2,20	16 875	59,62
A15	7,08	0,0708	2,26	97 650	
A30	28,40	0,2840	2,46	759 600	
B8	70,94	0,7094	2,90	82 575	72,99
B15	84,18	0,8418	2,90	513 000	
B30	111,622	1,1162	3,42	2 503 575	
C8	12,64	0,1264	2,35	86 850	84,59
C15	19,82	0,1982	3,33	317 700	
C30	46,15	0,4615	4,86	1 164 600	

Las características de cada una de las áreas del proyecto se muestran de manera general en el siguiente cuadro. El uso del suelo para los tres sitios es de carácter protegido; ya que el embalse se propone dentro de la Reserva Indígena Cabécar Telire. La cobertura boscosa existente en la zona, pertenece a tres pisos altitudinales basal, montano bajo y premontano, en los que se encuentran 4 zonas de vida, bosque pluvial premontano (bp-P), bosque muy húmedo premontano (bmh-P), bosque pluvial montano bajo (bp-MB) y bosque muy húmedo tropical (bmh-T) según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967) (Ortiz, 2008). Sin embargo, las áreas propuestas se ubican en las zonas de vida bosque pluvial premontano (bp-P) y bosque muy húmedo premontano (bmh-P).

La mayor afectación en el área de cada proyecto se realizará sobre la cobertura forestal. El sitio B será el más alterado, ya que se utilizará gran cantidad de hectáreas cubiertas por bosque maduro, sin embargo, cabe resaltar que en su

totalidad este sector presenta una mayor clasificación de no forestal con 8,45 ha, mientras que el sitio C es el que presenta más cantidad de pastos y el sitio A no presenta ningún parche de pastos y apenas 0,66 ha de no forestal (cuadro 9).

Cuadro 9. Características de las áreas de proyecto propuestas sobre la subcuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Sectores	Tipo de bosque	Área del tipo de bosque (ha)	Zona de vida	Cobertura
A8	Bosque maduro	2,49	bp-P	Forestal
A15	Bosque maduro.	7,08	bp-P	Forestal
A30	Bosque maduro. No forestal.	27,77 0,66	bp-P	Forestal
B8	Pasto	3,05	bp-P bmh-P	Forestal
	No forestal	5,05		
	Bosque maduro	62,85		
B15	Pasto	3,35	bp-P bmh-P	Forestal
	No forestal	6,03		
	Bosque maduro	74,87		
B30	Pasto	3,70	bp-P bmh-P	Forestal
	No forestal	8,45		
	Bosque maduro	99,55		
C8	Pasto	4,55	bmh-P	Forestal
	No forestal	2,13		
	Bosque maduro	5,97		
C15	Pasto	6,98	bmh-P	Forestal
	No forestal	3,29		
	Bosque maduro	9,57		
C30	Pasto	10,08	bmh-P	Forestal
	No forestal	5,81		
	Bosque maduro	30,29		

Fuente: atlas digital 2014.

El riesgo de inundación que se establece para las diferentes áreas de proyecto es de baja probabilidad y la amenaza sísmica para A, B y C es la misma, donde la aceleración máxima del suelo a 100 años (PGA, siglas en inglés) es de 300 a 350. El PGA se relaciona con la fuerza de un sismo en un sitio específico, es decir, estima el movimiento generado por las ondas sísmicas según la distancia del foco sísmico (García, 2001), entre mayor sea el valor mayores serán los daños. El lago que se forma a causa de la presa está libre de la existencia de fallas, exceptuando el sitio C3 que esta sobre una falla (cuadro 10).

Cuadro 10. Riesgos y amenazas en el área de proyecto sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Sectores	Riesgo de inundación	Amenaza sísmica	Fallas
A8	Baja probabilidad	PGA: 300-350. ET ID: 3	0
A15			0
A30			0
B8	Baja probabilidad	PGA: 300-350. ET ID: 3	0
B15			0
B30			0
C8	Baja probabilidad	PGA: 300-350. ET ID: 3	0
C15			0
C30			1

Fuente: atlas digital 2014.

En la figura 10 se representan las áreas de influencia directa (AID) a causa de los embalses, se observa que el sitio B es el que abarca más cantidad de área, provocando una mayor afectación a los bosques que corresponden a las zonas de vida bmh-P y bp-P. En el sitio A se causaran daños sobre la zona de vida bp-P, mientras que en el sitio C los impactos serán para el bmh-P, añadiendo que el AID para este sitio incluiría casas o algún tipo de infraestructura habitadas por la población indígena.

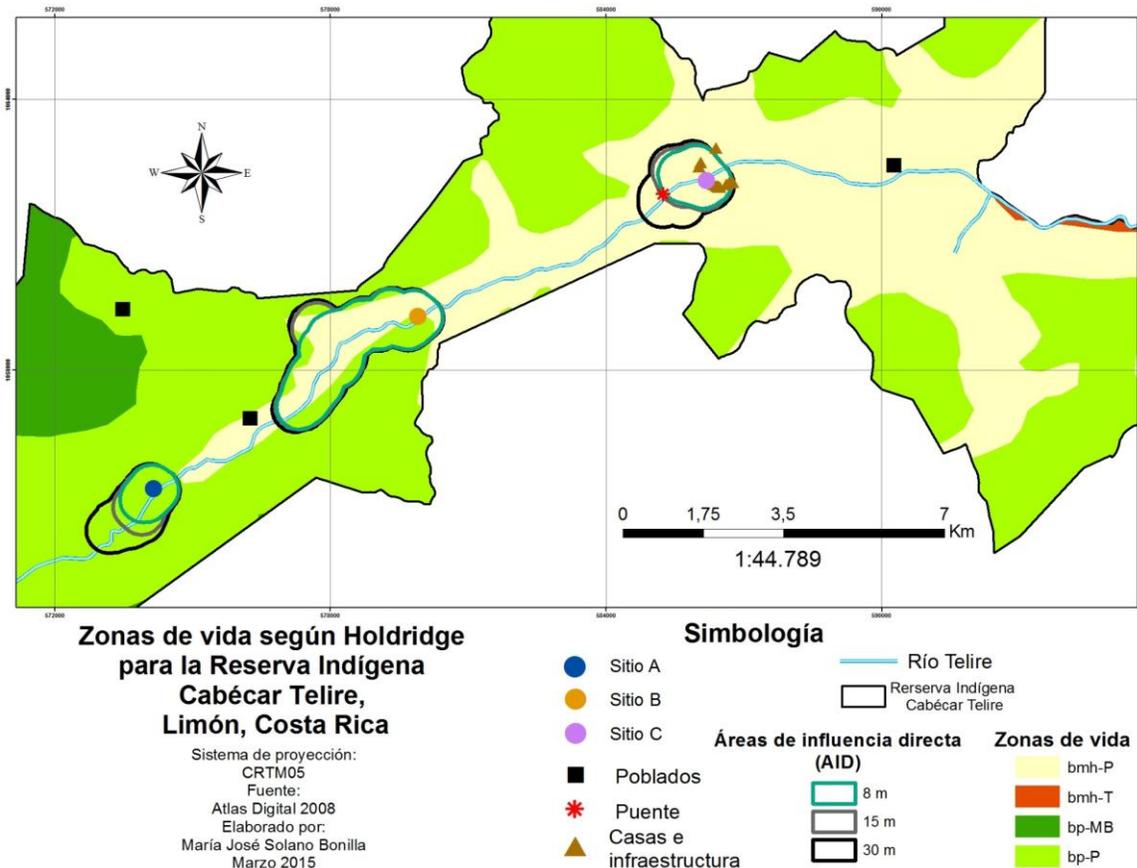


Figura 10. Zonas de vida según Holdridge e impacto de las áreas de influencia directa (AID) sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

A continuación se muestran las características generales de las áreas de influencia directa a causa de las áreas de proyecto para cada uno de los sitios. En la cual el sitio B mantiene la mayor afectación sobre 584,10 ha de bosque maduro, seguido del sitio A con un total de 247,96 ha y con un valor de 235,57 ha el sitio C. Con respecto a la presencia de pastos en cada sector el sitio C es el que posee mayor cantidad de hectáreas con un valor de 44,58.

La clasificación de pendientes para cada área de influencia directa permite observar que el sector A8 y C8 presentan terrenos con una topografía fuertemente ondulada y con relieve de plano a ondulado los demás sitios (cuadro 11).

Cuadro 11. Características de las áreas de influencia directa en cada uno de los embalses sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Sectores	Pendiente promedio (%)	Tipo de bosque	Área del tipo de bosque (ha)	Zona de vida	Cobertura
A8	30,26	Pasto No forestal Bosque maduro	2,27 3,34 115,60	bp-P	Forestal
A15	29,34	Pasto No forestal Bosque maduro	2,96 4,19 149,85	bp-P	Forestal
A30	27,72	Pasto No forestal Bosque maduro	3,66 7,11 247,96	bp-P	Forestal
B8	23,87	Pasto No forestal Bosque maduro	18,36 13,77 498,60	bp-P bmh-P	Deforestación Forestal
B15	23,40	Pasto No forestal Bosque maduro	18,92 14,51 544,70	bp-P bmh-P	Deforestación Forestal
B30	23,27	Pasto No forestal Bosque maduro	20,29 14,78 584,10	bp-P bmh-P	Deforestación Forestal
C8	31,92	Pasto No forestal Bosque maduro	36,67 11,77 118,27	bmh-P	No Forestal Forestal
C15	29,87	Pasto No forestal Bosque maduro	39,61 12,07 141,13	bmh-P	No Forestal Forestal
C30	16,97	Pasto No forestal Bosque maduro	44,58 14,40 235,57	bmh-P	No Forestal Forestal

Fuente: atlas digital 2014.

*Pendiente promedio calculada con el MED.

El cuadro 12 presenta riesgos y amenazas en la zona de influencia directa de cada uno de los escenarios, donde se mantiene la baja probabilidad de inundación y la amenaza sísmica. Sin embargo; el área de influencia directa se encuentra sobre más fallas, solamente en el sector A8 no existe presencia de las mismas.

Cuadro 12. Riesgos y amenazas en el área de influencia directa del proyecto sobre la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Sectores	Riesgo de inundación	Amenaza sísmica	Fallas
A8	Baja probabilidad	PGA: 300-350. ET ID: 3	0
A15			1
A30			1
B8	Baja probabilidad	PGA: 300-350. ET ID: 3	1
B15			1
B30			1
C8	Baja probabilidad	PGA: 300-350. ET ID: 3	2
C15			2
C30			2

Fuente: atlas digital 2014.

La Reserva Indígena Cabécar Telire colinda al norte, al oeste y al sur con el Parque Internacional La Amistad (PILA) y parte del noreste limita con la reserva biológica Hitoy Cerere. En estos sitios se reportan algunas especies características de la zona y según INBio (2012) los árboles más comunes que se encuentran en el PILA son el roble blanco (*Quercus oocarpa*), cedro dulce (*Cedrela tonduzzi*), turrá (*Ulmus mexicana*) y el ciprés lorito (*Podocarpus guatemalensis*) y en la reserva biológica Hitoy Cerere el árbol de Ceiba (*Ceiba pentandra*), estas son las especies que coinciden con las zonas de vida en las que se encuentran las AP y AID.

En el cuadro 13 se muestra una lista de especies más comunes en zonas similares y aledañas a la Reserva Indígena Cabécar Telire, para la recuperación de la cobertura forestal.

Cuadro 13. Lista de especies forestales comunes en sitios aledaños a la Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Sitio	Zona de vida	Nombre común	Nombre científico
PILA	bh-P, bmh-P , bp-P bh-MB, bp-MB bhm-M, bp-M	Roble blanco	<i>Quercus oocarpa</i>
PILA	bh-P, bmh-P bh-MB, bhm-MB	Cedro dulce	<i>Cedrela tonduzii</i>
PILA	Bh	Amarillón	<i>Nectandra lineatifolia</i>
PILA	bh-P, bmh-P bh-MB, bhm-MB bh-M, bhm-M	Tirrá	<i>Ulmus mexicana</i>
PILA	Bh Bs	Candelillo	<i>Tecoma stans</i>
PILA	bh-P bmh-P	Ciprés lorito	<i>Podocarpus guatemalensis</i>
Alto Telire	bmh-P , bh-P	Ojoche	<i>Brosimum alicastrum</i>
Alto Telire	bh-T bmh-P	Laurel	<i>Cordia alliodora</i>
Hitoy Cerere	bs-T, bhm-T bh-P	Espavel	<i>Anacardium excelsum</i>
Hitoy Cerere	Bh-T	Javillo	<i>Hura crepitans</i>
Hitoy Cerere	bh-T, bhm-T	Guayabón	<i>Terminalia oblonga</i>
Hitoy Cerere	bh-P	Cedro macho	<i>Brunellia costarricensis</i>
Hitoy Cerere	bh, bhm Siempre verde	Gavilán	<i>Oreomunnea pterocarpa</i> Oerst
Hitoy Cerere	bh-T	El María	<i>Calophyllum brasiliense</i>
Hitoy Cerere	Bs-T, bh-T, bhm-T Bh-P, bmh-P	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>
Hitoy Cerere	bms-T, bs-T	Indio desnudo	<i>Bursera simaruba</i>

	bs-P, bh-P		
--	------------	--	--

Fuente: Ecosistemas de Costa Rica. (2012). Información de Costa Rica. (2012). Reserva Biológica Hitoy Cerere. (2009).

6. DISCUSIÓN

6.1. Parámetros morfométricos

Los parámetros morfológicos conforman la información mínima que se debe conocer para empezar a plasmar las primeras ideas del comportamiento de una cuenca. Por esta razón la delimitación de la sub cuenca es primordial para el análisis morfo métrico e hídrico (Calvo, 1999), la sub cuenca del río Telire se considera mediana; según los criterios establecidos por la Directiva Marco del Agua, debido a que se encuentra entre el rango de 100-1000 Km² (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, 2009).

Según los criterios de parámetros de forma mencionados por Calvo (1999) e Ibañez, Moreno y Gisbert (2001), la sub cuenca del río Telire posee una forma alargada y con menor riesgo de desbordamiento. Esta información concuerda con lo citado por UCI (2009), al obtener parámetros de forma similares en la cuenca del río Sixaola, quien encontró un factor de forma de 0,51 y un índice de compacidad de 1,73.

Borge y Castillo (1997) reportan para la sub cuenca del río Telire una pendiente promedio de 20,30%, resultado mayor a la pendiente estimada en este estudio, su diferencia radica al método utilizado o bien a cambios topográficos. El terreno de la sub cuenca es moderadamente a fuertemente ondulado y según un estudio de micro cuencas realizado por Mármol, Díaz, Larreal y Jiménez (2007) en estos tipos de topografía predominan los paisajes colinares, lomas y valles. Las pendientes predicen la velocidad de escorrentía superficial, la fuerza erosiva y la sedimentación del lugar (Morgan, 2005; Brooks, Folliott, Gregersen y Deban,

2003; García-Chevesich, 2008). No obstante; la sub cuenca posee una cobertura forestal densa que favorece la infiltración por medio de la transpiración e intercepción vegetal (Borge y Castillo, 1997).

La sub cuenca del río Telire cuenta con un amplio rango en la elevación sobre el nivel del mar, esta amplitud origina más pisos altitudinales produciendo mayores microclimas y ecosistemas (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2011). Por otro lado, el IMN (2009) menciona que en esta región no existe una época seca bien definida lo que favorece a la precipitación, escorrentía o caudal la cual aumenta conforme crece la elevación media de la cuenca (Londoño, 2001).

6.1.1. Red de drenaje

La sub cuenca del río Telire presenta una densidad de drenaje deficiente, según Londoño (2001) este parámetro comúnmente toma valores entre 0,5 Km/Km² para cuencas con drenaje pobre, hasta 3,5 Km/Km² para cuencas bien drenadas.

El caudal del cauce principal se podría ver afectado y por consiguiente la eficiencia del embalse; ya que al presentar una densidad de drenaje baja el agua que entra por precipitación tardara más tiempo en llegar al cauce principal (Gómez, 2003), disminuyendo la velocidad del flujo en el río Telire. Por otra parte el resultado se tiende a asociar con suelos duros, poco erosionables o muy permeables y con coberturas vegetales bien densas favoreciendo la infiltración (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Denegri, Delgado y Besteiro, 2012).

6.2. Balance Hídrico

Según UNESCO (2007), en la vertiente del Caribe la evapotranspiración de referencia en zonas altas y a bajas temperaturas se encuentra en los 950 mm hasta los 1300 mm a mayor temperatura. Mientras que en la sub cuenca del río Telire las perdidas por evapotranspiración se encuentran por debajo del límite

inferior y la evapotranspiración real y potencial del sitio resultaron iguales, esto sucede cuando la humedad del suelo es óptima y existe un buen desarrollo vegetal (Sánchez, 2001).

Al existir exceso de agua por precipitación la escorrentía se ve beneficiada; ya que en todos los meses existe un mayor aporte del excedente de agua al mes próximo. Girón, Gómez y Recalde (2004) reportan para la cuenca del río Sixaola una precipitación media anual de 4 790 mm y una escorrentía promedio anual de 3 905 mm, datos que son similares a los estimados para la sub cuenca del río Telire, tomando en consideración que una limitante para este estudio fue la ausencia de datos y estaciones dentro de la sub cuenca. Según el balance hídrico la ubicación de embalses para producción de energía podría resultar una de las actividades provechosas del lugar.

La determinación del caudal es importante para conocer el recurso hídrico disponible en la sub cuenca, así se establece que en los meses más secos se deberá tener una mayor regulación en los embalses para poder producir la energía fijada (MVOTMA, 2011). El caudal medio anual estimado para la sub cuenca del río Telire disminuyó al compararlo con el caudal promedio anual del periodo 1972-1992 registrado en la estación Bratsi que fue de 173 m³/s, manteniendo los caudales más bajos en los meses de Marzo y Abril (Borge y Castillo, 1997). Comparando otros casos, entre los años 1977-1993 en la estación Angostura en el río Reventazón los caudales anuales promedio variaban entre los 77 y 110 m³/s y entre Diciembre y Abril el caudal diario se reducía por debajo de los 30 m³/s (Vargas, 1998).

6.3. Efectos de la ubicación de los embalses

En este estudio se analizaron tres sectores para la ubicación de un embalse y para su selección se debe de considerar la forma de la estanqueidad del embalse que está definida por la topografía (Bustamante, 2008). Según Cascón y Bueno

(2001) y MVOTMA (2011), el punto de presa debe colocarse en una sección estrecha de un valle con pendientes laterales fuertes y al comparar los sitios, A y B presentan una boquilla más angosta que el sector C.

MVOTMA (2011) y Villón (2004) mencionan que a menores cambios de pendiente mayor posibilidad de ubicación de un embalse. La pendiente media del cauce principal y las pendientes del río Telire en cada escenario muestran una topografía de suave a lomada, similar a los resultados de PREVDA (2008) para la cuenca del río Reventazón de 2,1% y 2,95% para el río Telire (Borge y Castillo, 1997).

Las condiciones naturales del sitio B permiten un mayor área embalsada de manera longitudinal al río y las tres cotas de inundación provocan una similitud en su forma, considerando que se deben evitar sitios que generen grandes áreas de embalse de poca profundidad porque se produce una excesiva evaporación (Cascón y Bueno, 2001; MVOTMA, 2011), para IDAE (2006) según la capacidad de agua que tenga la zona útil del embalse así va hacer la producción de energía eléctrica.

El escenario A15 presenta un área similar al centro de producción río Macho que cubre 6 ha a una profundidad de 10m, en la cual almacena 380 000 m³ brindando una potencia inicial de 30 000 kW (ICE, 2013), el resultado del volumen es menor que el volumen expuesto por río Macho; debido a que las superficies están sujetas a las propias formas del canal natural (ESHA, 2006). Angostura embalsa 256 ha y almacena 11 000 000 de m³, Cachi cubre 323,6 ha con una capacidad de 54 000 000 de m³ y su potencia actual es de 108 800 kW (ICE, 2013).

El comportamiento de los caudales está determinado por factores como la precipitación, red hídrica, topografía, época del año, suelos entre otros. Los caudales anuales estimados para cada sitio de embalse fueron altos; sin embargo Borge y Castillo (1997) encontraron en la estación Bratsi caudales medios

mensuales en Octubre y Diciembre de hasta 228 y 223 m³/s respectivamente. Por otra parte PREVDA (2008), menciona que sobre el río Reventazón se desarrollan varios proyectos hidroeléctricos en donde el caudal medio de Angostura es de 102 m³/s, río Macho 24,8 m³/s, Cachi 51 m³/s, Guayabo 114 m³/s entre otros.

Con el desarrollo de un embalse se produce una serie de efectos en el ámbito social, económico y ambiental (ICE, 2010); sin embargo el enfoque en este caso será en el tipo de cobertura afectada para las AP y AID, las All se omitieron porque están determinadas por la ubicación de las demás obras del proyecto.

En el sitio a embalsar, la remoción de la cobertura vegetal es inevitable y el sector más dañado será el sitio B porque abarca la mayor cantidad de área y los bosques predominan la zona, las especies que se afectarían son pertenecientes a las zonas de vida bp-P y bmh-P. La cantidad de hectáreas de bosque eliminado es mucho menor a la cantidad de hectáreas de bosque eliminado en la zona del proyecto del Reventazón que presenta 265,91 ha (ICE, 2008).

En cuanto a las AID, el sector B se mantiene como el sitio que tendrá más cantidad de hectáreas perturbadas por las diferentes actividades alrededor del sitio del proyecto. Sin embargo, en el AID del sector B se registran algunos parches deforestados y en todos los escenarios existe una pequeña porción de pastos.

El AID del sector C afectaría al pueblo de Bajo Bley, así que el embalse provocaría un desplazamiento de la comunidad indígena o bien una mayor inversión por requerimientos técnicos para un diseño más controlado y cuidadoso (MVOTMA, 2011), mientras que en el sector A y B no se da tal agrupación.

6.4. Recuperación del recurso forestal

Los embalses provocan daños inevitables sobre el área a inundar y para contabilizar las pérdidas de biodiversidad es preciso realizar un levantamiento de información de la estructura, composición, función de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y valores culturales de la biodiversidad en los sitios de impacto (Servicio de Evaluación Ambiental, 2014). Por la ausencia de información en el sitio de estudio, se recopiló un listado breve de las especies más comunes en zonas colindantes al territorio indígena (cuadro 13). Así que por ahora los sitios de embalse se consideraran como un hábitat natural con poca influencia humana (BBOP, 2012); debido a que no existen estudios concretos en la zona.

En el desarrollo de mejores prácticas para una adecuada compensación se propone dar uso de los principios, criterios e indicadores (PCI) que brinda el estándar sobre compensaciones por pérdida de biodiversidad Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP) para definir medidas de mitigación o de compensación, también utilizado para compensar los impactos residuales en el proyecto Reventazón (ICE, 2012). Este estándar pretende dar una guía flexible para el diseño e implementación de actividades compensatorias anticipadas o retrospectivas.

Se recomienda una serie de prácticas en beneficio a la cobertura forestal eliminada y como retribución al impacto provocado, la entidad encargada del proyecto, asume la compra de nuevos terrenos como medida compensatoria (ICE, 2012). Si es un área boscosa, se propone implementar la conservación del sitio; mientras que al adquirir potreros, se recomienda la ejecución de plantaciones forestales mixtas para favorecer la actividad biológica con especies nativas o exóticas que sean capaces de captar carbono rápidamente; ya que el establecimiento y manejo forestal contribuyen al secuestro global de carbono, tras el aumento de dióxido de carbono (CO₂) a causa de actividades humanas y la deforestación (INECC, 1995).

Por otra parte, promover adecuados sistemas agroforestales (SAF) en potreros dentro del territorio indígena, resulta una actividad provechosa desde el punto de vista socio-económico y ambiental; debido a que los SAF poseen altos potenciales en el mantenimiento de la biodiversidad, proveen una variedad de hábitat y funcionan como corredores para el paso de la fauna (Köpsell, Jiménez y Muschler, 2001). Además, proporcionan mayor diversidad de alimentos, resulta una actividad económica para el propietario, reduce la necesidad de extraer madera de los bosques naturales, entre otros (CATIE, 2001).

Uno de los mayores problemas que presenta una cuenca es la erosión del suelo y por ende, la llegada de sedimentos al embalse, amenazando el rendimiento, la producción y la eficiencia del embalse a causa de la disminución del volumen útil del vaso (Laiz y Flores, 2010). Existen varias maneras de enfrentar este problema, Ongley (1997) sugiere una ordenación ecológica de los cultivos, la conservación de las masas forestales, cultivar en curvas de nivel, plantar zonas expuestas, construcción de terrazas, pozos o desviaciones.

En este sentido, los SAF son un beneficio para el mantenimiento de los embalses, siendo una herramienta para contribuir al manejo de cuencas hidrográficas. Ya que regulan los flujos de agua, mantiene las aguas subterráneas, incrementa la calidad de las aguas, mejora la estabilidad de la cuenca y mantiene su potencial productivo, le da estabilidad y forma a los suelos, controla la erosión, deslizamientos y arrastre en masa (Mendieta y Rocha, 2007).

Al mismo tiempo se recomienda que en los lugares de la reserva indígena que actualmente no tengan cubierta forestal como pastizales o charrales sin ninguna actividad productiva, se sugieren programas de regeneración natural o reforestación con especies nativas; ya que estas brindan mayor riqueza en biodiversidad, equilibrio ecológico, protección de los suelos y belleza natural de la zona (Tribunal Ambiental Administrativo, 2010), de esta forma asegurar una mejor conectividad dentro del sitio.

Según Cabrera (2003), el enriquecimiento como tratamiento silvicultural, funciona para recuperar el valor comercial de un bosque que fue sometido a algún nivel de impacto. Por esta razón, se propone enriquecer el perímetro del embalse, claros y brechas que se pueden producir a raíz de las diferentes actividades del proyecto. Para obtener el material genético se recomienda ubicar plantas madre y árboles semilleros propios de la zona.

Al llevar a cabo prácticas que conduzcan a la protección, reforestación y manejo de sitios con o sin cobertura forestal dentro del territorio indígena, se beneficiara tanto al medio ambiente como la garantía y la prolongación de la vida útil del embalse. Los bosques son los reguladores naturales por excelencia de los recursos hídricos, por esta razón se torna necesaria una restauración hidrológica forestal, como herramienta de disminución de la producción de sedimentos (García, 2010).

7. CONCLUSIONES

- Según los criterios de forma, la sub cuenca del río Telire posee forma alargada y bajo riesgo de desbordamiento.
- El relieve de la sub cuenca es de moderadamente ondulada a una topografía fuertemente ondulada.
- La red de drenaje que presenta la sub cuenca es deficiente y se asocia con suelos duros, poco erosionables o muy permeables y con coberturas vegetales bien densas.
- El balance hídrico mostro que la zona posee un exceso de agua por precipitación y bajas perdidas por evapotranspiración.
- El caudal anual estimado para la sub cuenca fue de 100,322 m³/s y para los sitios a embalsar A, B y C fueron de 59.62 m³/s, 72.99 m³/s y 84.59 m³/s respectivamente.
- El cauce principal posee un relieve de suave a lomado, lo que beneficia la ubicación de un eventual embalse.
- Según la forma que tomó cada embalse, el sitio B es el que presenta mejores características con las tres cotas de inundación.
- Para los tres sitios propuestos, el bosque maduro es la cobertura más afectada y el sitio B fue el que abarcó mayor área de embalse y áreas de influencia.
- El sitio B con la cota de 30 m alcanzo la mayor capacidad de almacenamiento de agua con un valor de 2 503 575 m³.

8. RECOMENDACIONES

- Colocar estaciones meteorológicas dentro de la sub cuenca del río Telire y/o del territorio indígena.
- Realizar aforos en los sitios propuestos a embalsar para obtener los caudales mínimos, máximos y tiempos de llenado del embalse.
- Se debe escoger el sitio que posea pendientes laterales fuertes, una mayor profundidad y menor longitud en el punto de ubicación de la cortina.
- Evaluar otros sitios dentro del territorio indígena, ya que existen otras zonas con condiciones naturales adecuadas para la ubicación de un embalse.
- Tener claro las necesidades que respondería un proyecto hidroeléctrico en esta zona; en función de la demanda eléctrica fijar la producción requerida.
- Mejorar la comunicación entre las partes interesadas, para aprovechar de una manera eficiente las giras de campo y el avance del proyecto.
- Valorar el uso de un modelo de elevación digital con una resolución espacial menor a 15 metros, para evitar pérdidas de información.
- Realizar inventarios forestales en las AP, AID y AII para conocer las especies presentes y poseer la cantidad de especies vedadas, raras o en peligro de extinción que resultarían perjudicadas.
- Implementar medidas de mitigación y prevención; antes, durante y después de la ejecución de uno de los embalses y diseñar medidas de compensación para cada elemento afectado.

- En la planificación de un embalse para un proyecto hidroeléctrico, es necesario un grupo de profesionales en diferentes ramas.
- Integrar a la comunidad indígena en el desarrollo de un eventual proyecto, para que entiendan y comprendan los impactos positivos y negativos que arrastra la ejecución y funcionamiento de un proyecto.

9. BIBLIOGRAFIA

Acpalla Salvarte, R. 2006. Diplomado en Manejo de Integral de Cuencas en la Región Andina. Curso: Manejo Integral de Cuencas. Universidad Agraria de La Molina, Perú.

Aparicio, F. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. D. F., México: UMUSA.

ASTER Global Digital Elevation Model [ASTER GDEM]. (2014). Consultado en <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp>

Balairón, L. (2002). *Gestión de recursos hídricos*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.

Barboza, M. (1979). Informe hidrológico preliminar. Proyecto hidroeléctrico Pirris. San José, Costa Rica: ICE.

Barrero, F. (2004). *Sistemas de energía eléctrica*. Madrid, España: editorial Thomson Editores Spain.

Barrientos, J. (2011). *Modelo de gestión integrada de recursos hídricos de las cuencas de los ríos Moquegua y Tambo*. (Tesis Maestría). Universidad de Piura. Piura, Perú.

Benegas, L.; Jiménez, F.; Locatelli, B.; Faustino, J., y Campos, M. (2007). Evaluación de la adaptación de los productores a la variabilidad climática,

- principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central. *Revista recursos naturales y ambiente*. (51-52)
- Borge, C., y Castillo, R. (1997). *Cultura y conservación en la Talamanca Indígena*. San José, Costa Rica: UNED.
- Brenes, A., y Saborío, V. (1995). *Elementos de climatología: su aplicación didáctica a Costa Rica*. San José, Costa Rica: UNED.
- Brooks, K.; Folliott, P.; Gregersen, H., y DeBano, L. 2003. *Hydrology and the management of watersheds*.
- Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP). (2012). Estándar sobre compensaciones por pérdida de biodiversidad. Washington, D.C. Estados Unidos.
- Bustamante, C. (2008). *Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse*. Sincelejo, Colombia: Universidad de Sucre. Consultado en <https://chiltepines.files.wordpress.com/2012/09/efectos-ambientales-generados-por-la-construccion-y-operacion-de-un-embalse.pdf>.
- Cabrera, C. (2003). Plantaciones forestales: oportunidades para el desarrollo sostenible. Consultado en <http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/SERIETECNINCA/6.pdf>
- Calvo, J. (1999). Principios de Hidrología Forestal-Morfología. Capítulo VIII: morfología de cuencas hidrográficas.
- Calvo, J. (2013). Valoración y Planificación del Recurso Hídrico en la cuenca alta y canal principal del río Tempisque. TEC
- Campos, D. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí, México: UASLP.

Carenas, M.; Giner, J.; González, J., y Pozo, M. (2014). *Geología*. Madrid, España: Paraninfo, S.A.

Cascón, J., y Bueno, F. (2001). *Ingeniería de presas: presas de fábrica*. Cantabria, España: Universidad de Cantabria.

Castro, R.; Porras, J., y Jiménez, G. (2009). Alternativas para el mejor aprovechamiento de electricidad en Costa Rica. *Revista ambientales*. (37).

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA [CATIE]. (2001). Módulos de enseñanza agroforestal. Cartago, Costa Rica.

Chacón, R. [comp]. (2002). Disposiciones Jurídicas Relacionadas con los Derechos de los Pueblos Indígenas en Costa Rica. San José, Costa Rica.

Chaverri, Y., y Cujó, P. (Eds). (1985). *Compendio de Agronomía Tropical*. San José, Costa Rica: IICA.

Chow, V.; Maidment, D., y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: McGraw-Hill.

Comisión Económica para América Latina [CEPAL]. (2010). La economía del cambio climático en Centroamérica.

Davis, S., y DeWiest, R. (1966). *Hydrogeology*.

Ecosistemas de Costa Rica. (2012). Consultado en <http://ecosistemasdecostarica.blogspot.com/2012/01/reserva-biologica-hitoy-cerere.html>

Editex (Ed). (2011). *Geografía e Historia 1º E.S.O*. Madrid, España: Editex S.A.

Environmental Systems Research Institute [ESRI]. *ArcMap*. [licencia comercial].
Versión 10.2. 2013. Programa computacional.

European Small Hydropower Association [ESHA]. (2006). Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica. Consultado en http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE_SHP/GUIDE_SHP_ES_01.pdf

Faustino, J., y Jiménez, F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Cartago, Costa Rica: CATIE.

Fraume, N. (2007). Diccionario ambiental. Editor ECOE EDICIONES.

García, A., y Campos, J. (2005). *Enfoques de manejo de recursos naturales a escala de paisaje: convergencia hacia un enfoque eco sistémico*. Cartago, Costa Rica: CATIE.

García, J. (2001). *Atenuación Sísmica. Aplicación a Terremotos Intraplaca en México Central*. (Trabajo de Investigación Doctorado). Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

García, J. (2010). La restauración hidrológica forestal, como herramienta de disminución de la producción de sedimentos. (Brea, J., y Balocchi, F.). *Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas*. (113). Madrid, España: UNESCO. Consultado en: http://eias.usalca.cl/isi/publicaciones/erosion_y_sedimentacion_vol1.pdf

García, P. (2008). *Procesos y control de la erosión*. Outskirts Press. Denver, CO.

- Gaspari, F.; Rodríguez, A.; Senisterra, G.; Denegri, G.; Delgado, M., y Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*. 4. Consultado en <http://revistas.unlp.edu.ar/domus/issue/view/99/showToc>
- Gaspari, F.; Senisterra, G.; Delgado, M.; Rodríguez, A., y Besteiro, S. (2009). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. La Plata, Argentina: Editorial Autores.
- Girón, J.; Gómez, C., y Recalde, A. (2004). Manual de manejo de cuencas. (ed. 2^{da}). San Salvador, Salvador: visión mundial El Salvador.
- Gliessman, S. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Cartago, Costa Rica: CATIE.
- Gómez, E. J. (2003). Restauración Hidrológico – Forestal de la Cuenca del Embalse de Cuevas de Almanzora. Anejo II. Descripción física de la cuenca.
- Gómez O, D. y Gómez V, M. (2013). *Evaluación de Impacto Ambiental*. (ed. 3^{ra}). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Granado, C. (1996). Ecología de peces. España: Universidad de Sevilla.
- Guzmán, I., y Calvo, J. (2013). Planificación de recurso hídrico en América Latina y el Caribe. *Revista Tecnología en marcha*. 26 (1).
- Heuveldop, J. (1986). *Agrometeorología Tropical*. San José, Costa Rica: EUNED.
- Holdridge, R.L. (1967). *Life zone ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center.

Ibáñez, S.; Moreno, H., y Gisbert, J. (2011). Morfología de las cuencas hidrográficas. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Información de Costa Rica. (2012). Consultado en <http://www.infoweb.co.cr/turismo/parques/parquesnac.html#24>

Instituto Costarricense de Electricidad [ICE]. (2008). Datos relevantes del sector electricidad 2007. Consultado en http://www.grupoice.com/esp/ele/planinf/docum/datosgenerales_ele04.pdf

Instituto Costarricense de Electricidad [ICE]. (2008). Estudio de impacto ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. Consultado en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36178215>

Instituto Costarricense de Electricidad [ICE]. (2010). Evaluación Ambiental Estratégica (EAE). Línea condicional de crédito (CCLIP) para un programa de desarrollo eléctrico. Consultado en <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/8807d8804a5e05189574bd2b66beb155/CCLIP-+EAE.PDF?MOD=AJPERES>

Instituto Costarricense de Electricidad [ICE]. (2011). Costa Rica: Proyecciones de la demanda eléctrica 2011-2033. Consultado en <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/8fa1730048111ec496e39f6795e469ed/DemandaProyecciones2011Jun.pdf?MOD=AJPERES>

Instituto Costarricense de Electricidad [ICE]. (2012). Proyecto hidroeléctrico Reventazón: estudios ambientales adicionales parte f: propuesta de proyecto de compensación y mitigación de biodiversidad. Consultado en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36689445>

Instituto Costarricense de Electricidad [ICE]. (2013). Centros de producción RIOCAT. Consultado en <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/a9efb88047cdee009349fbf079241ace/riocat.pdf?MOD=AJPERES>

Instituto Costarricense de Electricidad [ICE]. (2014). Índice de cobertura eléctrica 2014. San José, Costa Rica. Consultado en <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/c794648040e4bccb830bb729c2f41d22/Cobertura+2013.pdf?MOD=AJPERES>

Instituto Costarricense de Electricidad [ICE]. (2014). Plan de expansión de la generación eléctrica periodo 2014-2035. Consultado en http://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/3bd3a78047cdebee904df9f079241ace/plan_expansion_generacion.pdf?MOD=AJPERES

Instituto costarricense de electricidad [ICE]. (2014). Datos de estaciones meteorológicas.

Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (2009). Clima de Costa Rica y variabilidad climática. Consultado en <http://www.imn.ac.cr/educacion/clima%20de%20costa%20rica.html>

Instituto meteorológico nacional [IMN]. (2014). Datos de estaciones meteorológicas.

Instituto Nacional de Biodiversidad [INBio]. (2012). Parque Internacional dela Amistad (PILA). Consultado en <http://www.inbio.ac.cr/pila/parque.htm>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (1995). Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas. Consultado en www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/46.pdf

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [IDAE]. (2006).
Minicentrales hidroeléctricas. Madrid, España.
- Jiménez, C. (2010). *Intercepción de lluvia en tres estadios sucesionales del Bosque seco Tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica*. (Tesis Licenciatura). TEC. Cartago, Costa Rica.
- Jiménez, F. (1994). *Planificación y manejo de los recursos hidrológicos en la agricultura mediante el balance hídrico*. Cartago, Costa Rica: IICA/CATIE.
- Köpsell, E.; Jiménez, F., y Muschler, R. (eds). (2001). *Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales*. Cartago, Costa Rica: CATIE.
- Laiz, O., y Flores, E. (2010). Pérdida de capacidad de almacenaje en embalses Cubanos. Un efecto de la sedimentación. *Aqua-LAC*. 2(2). Consultado en: http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/phi/aqualac/Laiz_y_Flores.pdf
- Londoño, C. (2001). Cuencas hidrográficas: bases conceptuales – caracterización planificación-administración. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima.
- Maderey, L. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio Del Ciclo Hidrológico*. D.F., México: UNAM.
- Marín, J. (1993). Balance hídrico e hidrológico de la cuenca media del río Gallego. *GEOGRAPHICALIA*. 30. Consultado en dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/59813.pdf
- Mármol, L.; Díaz, J.; Larreal, M., y Jiménez, L. (2007). Evaluación de la erosión hídrica en la microcuenca de las quebradas Roja y Colorada en el municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia. *Revista de la facultad de agronomía*. 24(2). Consultado en

http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S037878182007000200001&script=sci_arttext

Mendieta, M., y Rocha, L. (2007). *Sistemas agroforestales*. Consultado en http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/1_RENF08M538.pdf. Managua, Nicaragua: UNA.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible República de Colombia. (2012). MANUAL PARA LA ASIGNACIÓN DE COMPENSACIONES POR PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD. Consultado en http://www.tremarctoscolombia.org/pdf/MANUAL_compensaciones%20Final.pdf

Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones [MINAET]. (2010). Hacia un nuevo modelo energético para nuestro país. San José, Costa Rica.

Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. (2009). Pliego de bases de servicios para la realización de un estudio básico para la planificación de la mejora de las condiciones hidromorfológicas de los ríos en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir.

Ministerio de vivienda, ordenamiento territorial y medio ambiente [MVOTMA]. (2011). Manual de diseño y construcción de pequeñas presas. Montevideo, Uruguay.

Moore, D. (2005). *Estadística aplicada básica*. (2ª ed). Barcelona, España.

Morgan, R. (2005). *Soil erosion and conservation*. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK.

Olalla, F. (2005). *Agua y Agronomía*. Madrid, España: Mundi-Prensa Libros, S.A.

Ongley, E. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. Burlington, Canadá: FAO.

Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación [FAO]. (1993). *Enseñanza Forestal: nuevas tendencias y perspectivas*. Consultado en <https://books.google.es/books?id=FZGylQrPyqYC&pg=PA187&dq=beneficios+de+los+bosques.+FAO&hl=es&sa=X&ei=RE7VVOHmCIGHNo6SgPgF&ved=0CEYQ6AEwBw#v=onepage&q=beneficios%20de%20los%20bosques.%20FAO&f=false>. Bangkok, Tailandia.

Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación [FAO]. (1995). *Agricultura mundial hacia el año 2010: estudio de la FAO*. Consultado en https://books.google.es/books?id=_5SKA4P1u38C&pg=PA250&dq=beneficios+de+los+bosques.+FAO&hl=es&sa=X&ei=RE7VVOHmCIGHNo6SgPgF&ved=0CEsQ6AEwCA#v=onepage&q=beneficios%20de%20los%20bosques.%20FAO&f=false. Madrid, España.

Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación [FAO]. (1997). *Manejo integrado de cuencas. Documento de referencia para los países de América Latina*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2002). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma, Italia.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2004). *La ética de la intensificación sostenible de la agricultura*. Roma, Italia.

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2007). Balance hídrico superficial de Costa Rica período 1970-2002.
- Orson, W., y Vaughn, E. (1985). *Irrigation principles and practices*. New York, Estados Unidos.
- Ortiz, E. (2008). Atlas digital de Costa Rica 2008. Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.
- Ortiz, E. (2014). Atlas digital de Costa Rica 2014. Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.
- Pacheco, R. (2011). *Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba*. (Tesis de maestría). Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Cuba.
- Pacheco, V.; Zelada, A., y Navarro, C. (1992). Recuperación de tierras en el proyecto Norte Chuquisaca. Sucre, Bolivia: IICA.
- Pardo, M. (2002). *La evaluación del impacto ambiental y social para el siglo XXI. Teorías, procesos, metodologías*. Madrid, España: Fundamentos.
- Peña, J. (2010). Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio: Entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales: Teoría general y práctica para ESRI ArcGIS 9. España: ECU.
- Peña, M. (2014). IRREDUCTIBILIDAD, DESAFECTACIÓN, COMPENSACIÓN Y NO REGRESIÓN DE ÁREAS SILVESTRES PROTEGIDAS.
- Plan Nacional de Desarrollo de los Pueblos Indígenas de Costa Rica [PNDI]. (2002). "Por el respeto y la participación de los pueblos indígenas".

Plana, J. (1979). Balance hídrico de la cuenca del Noguera Ribagorzana. *Geographicalia*. (3). Consultado en <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=59690>

Programa de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental [PREVDA]. (2008). Plan de cuenca del río Reventazón-Parismina 20008-2010. San José, Costa Rica.

Quereda, J. (2005). *Curso de climatología general*. (ed. 2^{da}). Castellón, España: Universitat Jaume I.

Reserva Biológica Hitoy Cerere. (2009). Consultado en <http://hitoy-cereresrva.blogspot.com/>

Rodríguez, L. (1983). *Estudio hidrológico, cuenca río Parrita*. (Tesis). TEC. Cartago, Costa Rica.

Roldán, G., y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. (ed. 2^{da}). Bogotá, Colombia: Universidad de Antioquia.

Roqueñí, N.; Mesa, J.; Martínez, G., y Prendes, B. (2004). Prototipo de sistema de soporte a la decisión para evaluación de proyectos hidroeléctricos basado en un gis. Consultado en http://aeipro.com/files/congresos/2004bilbao/ciip04_1015_1022.1303.pdf

Saborío, J. (2010). Metodología para la gestión de cuencas hidrográficas siguiendo el enfoque del riesgo integral. *Revista geográfica de América Central*. 2 (43).

Samper, J.; García, V.; Pisani, B.; Alvares, D.; Varela, A., y Losada, J. (2005). Modelos hidrológicos y sistemas de información geográfica para la estimación de los recursos hídricos: aplicación de gis-balan a varias cuencas españolas. Coruña, España: Universidade da Coruña.

Sánchez, F. (2001). Evapotranspiración. Departamento Geología Universidad de Salamanca.

Santacruz, G. (2007). *Hacia una gestión integral de los recursos hídricos en la cuenca del río Valles, Huatesca, México.* (Tesis Doctorado). Universidad autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.

Santos, C.; Lorite, I.; Allen, R.; Tasumi, M.; Gavilán, P., y Fereres, E. (2008). Mejora de la gestión de los recursos hídricos por medio de la integración de técnicas de teledetección y modelos de simulación. Capítulo I. La evapotranspiración: conceptos y métodos para su determinación. Consultado en <http://www.economiaandaluza.es/sites/default/files/cap496.pdf>

Sanz, J. (2008). *Energía hidroeléctrica.* España: Editorial Prensas universitarias de Zaragoza.

Sbarato, D.; Ortega, J., y Sbarato, V. (2007). *Planificación y gestión de los estudios de impacto ambiental.* Córdoba, Argentina: Brujas.

Secretaría Técnica Nacional Ambiental [SETENA]. (1997). Manual de instrumentos técnicos del proceso de evaluación de impacto ambiental. San José, Costa Rica.

- Segura, L. (2014). Conocimiento de la dinámica fluvial como herramienta para la planificación territorial. Caso río Volcán, Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica. *Revista Tecnología en marcha*. 27(especial 2014).
- Servicio de Evaluación Ambiental (ed.). (2014). Guía para la compensación de biodiversidad en el Seia. Consultado en http://www.mch.cl/wp-content/uploads/sites/4/2014/11/Guia_compensacion_biodiversidad.pdf
- Sheng, T. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: estudio y planificación de cuencas hidrográficas*. Roma, Italia: FAO.
- Silva, G. (2005). La cuenca del río Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico. *Revista Geográfica Venezolana*. 46 (1).
- Sistema Nacional de Información Territorial [SNIT]. (2014). Mosaico de ortofotos en escala 1:5000. Consultado en <http://www.snitcr.go.cr/>
- Tribunal Ambiental Administrativo. (2010). Manual de buenas prácticas ambientales en Costa Rica. Consultado en http://www.amcham.co.cr/archivos/committee/378_manual_buenas_practic_ambientales.pdf. San José, Costa Rica.
- Universidad para la Cooperación Internacional [UCI]. (2009). Plan de desarrollo integral de la cuenca del río Sixaola sección Costa Rica. Consultado en: uci.ac.cr/Biblioteca/Tesis/PFGMAP102.pdf
- Universidad Tecnológica de Pereira. (2010). *Hidrología Básica*. Pereira, Colombia.
- Vargas, A. (1998). Balance hídrico en la cuenca alta del río Reventazón, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*. 21(37-46).

Vélez, J., y Botero, A. (2011). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*. (165).

Villón, M. (2004). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: editorial Tecnológica de Costa Rica.

Zavoiano, I. (2011). *Morphometry of Drainage Basins*. New York, USA: Elsevier.

Zeledón, J. (1991). *Evaluación y planificación del recurso hídrico de la cuenca alta del río Colorado*. (Tesis Licenciatura). TEC. Cartago, Costa Rica.

10. ANEXOS

Anexo 1. Balance hídrico y caudal estimado de la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Mes	Temp (°C)	Indice de calor mensual	EVP N	Factor de corrección por brillo solar	EVP A	Precipitación P (mm)	P-EVP A	Retención de humedad del suelo	EA	Exceso de humedad	Escorrentía ES (mm)	Area (ha)	Area (m2)	ES (m)	Volumen (m3)	Días	Segundos	Caudal (m3/s)
May	8,7	7,4	70,3	1,1	73,9	505,0	431,1	200,0	73,9	431,1	290,8	93685,6	936856000,0	0,3	272460942,8	310	2678400,0	10,7
Jun	8,6	7,3	69,4	1,1	73,6	341,2	267,6	200,0	73,6	267,6	279,2	93685,6	936856000,0	0,3	264573985,5	30,0	2592000,0	10,9
Jul	8,3	7,1	67,0	1,1	70,3	417,4	347,1	200,0	70,3	347,1	313,2	93685,6	936856000,0	0,3	293391848,9	310	2678400,0	10,9
Ago	8,3	7,1	67,5	1,0	70,2	433,3	363,1	200,0	70,2	363,1	338,1	93685,6	936856000,0	0,3	316772552,8	310	2678400,0	18,3
Sep	8,3	7,2	67,6	1,0	68,9	470,2	401,3	200,0	68,9	401,3	369,7	93685,6	936856000,0	0,4	346356914,6	30,0	2592000,0	13,6
Oct	8,2	7,0	66,3	1,0	65,7	533,5	467,8	200,0	65,7	467,8	418,7	93685,6	936856000,0	0,4	392296298,1	310	2678400,0	14,5
Nov	7,8	6,8	63,6	1,0	61,7	486,3	424,5	200,0	61,7	424,5	421,6	93685,6	936856000,0	0,4	395014986,9	30,0	2592000,0	15,4
Dic	7,4	6,6	61,3	1,0	58,9	253,3	194,4	200,0	58,9	194,4	308,0	93685,6	936856000,0	0,3	288573682,3	310	2678400,0	10,7
Ene	7,5	6,6	61,6	1,0	59,7	203,4	143,6	200,0	59,7	143,6	225,8	93685,6	936856000,0	0,2	21557895,6	310	2678400,0	7,9
Feb	7,8	6,8	64,0	1,0	62,8	117,8	55,0	200,0	62,8	55,0	140,4	93685,6	936856000,0	0,1	13552737,7	28,0	249200,0	5,4
Mar	8,3	7,1	67,2	1,0	67,2	186,3	119,1	200,0	67,2	119,1	129,8	93685,6	936856000,0	0,1	12566909,8	310	2678400,0	4,5
Abr	8,7	7,3	69,8	1,0	71,9	243,4	171,4	200,0	71,9	171,4	150,6	93685,6	936856000,0	0,2	141079880,9	30,0	2592000,0	5,4
Anual	8,2	84,5			804,8	4190,8			804,8		3386,0							100,3

Anexo 2. Balance hídrico y caudal estimado del escenario A en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Mes	Temp (°C)	Indice de calor mensual	EVP N	Factor de corrección por brillo solar	EVP A	Precipitación P (mm)	P-EVP A	Retención de humedad del suelo	EA	Exceso de humedad	Escorrentía ES (mm)	Area (ha)	Area (m2)	ES (m)	Volumen (m3)	Días	Segundos	Caudal (m3/s)
May	7,9	6,9	67,3	1,1	70,7	588,4	517,7	200,0	70,7	517,7	352,1	46666,0	466660000,0	0,4	164314271,9	310	2678400,0	6,1
Jun	8,2	7,1	69,0	1,1	73,2	405,4	332,2	200,0	73,2	332,2	342,2	46666,0	466660000,0	0,3	159674397,8	30,0	2592000,0	6,1
Jul	8,4	7,2	70,4	1,1	74,0	453,0	379,0	200,0	74,0	379,0	360,6	46666,0	466660000,0	0,4	168274802,2	310	2678400,0	6,2
Ago	8,0	6,9	67,8	1,0	70,5	529,4	458,9	200,0	70,5	458,9	409,7	46666,0	466660000,0	0,4	19121809,6	310	2678400,0	7,1
Sep	7,4	6,6	64,2	1,0	65,5	607,7	542,2	200,0	65,5	542,2	476,0	46666,0	466660000,0	0,5	222107304,1	30,0	2592000,0	8,5
Oct	7,0	6,4	61,7	1,0	61,0	682,0	620,9	200,0	61,0	620,9	548,4	46666,0	466660000,0	0,5	255938391,7	310	2678400,0	9,5
Nov	7,1	6,4	62,0	1,0	60,1	527,1	467,0	200,0	60,1	467,0	507,7	46666,0	466660000,0	0,5	236933848,0	30,0	2592000,0	9,1
Dic	6,5	6,1	58,1	1,0	55,8	246,2	190,5	200,0	55,8	190,5	349,1	46666,0	466660000,0	0,3	162908864,1	310	2678400,0	6,8
Ene	6,0	5,8	55,1	1,0	53,4	171,1	117,6	200,0	53,4	117,6	233,4	46666,0	466660000,0	0,2	108903166,2	310	2678400,0	4,0
Feb	7,0	6,4	61,5	1,0	60,3	97,8	37,5	200,0	60,3	37,5	135,4	46666,0	466660000,0	0,1	63200211,7	28,0	249200,0	2,6
Mar	7,0	6,4	61,5	1,0	61,5	206,1	144,6	200,0	61,5	144,6	140,0	46666,0	466660000,0	0,1	65341360,7	310	2678400,0	2,4
Abr	7,9	6,9	66,9	1,0	68,9	302,0	233,0	200,0	68,9	233,0	186,5	46666,0	466660000,0	0,2	87045340,1	30,0	2592000,0	3,6
Anual	7,4	79,1			774,9	4816,1			774,9		4041,2							59,6

Anexo 3. Balance hídrico y caudal estimado del escenario B en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Mes	Temp (°C)	Indice de calor mensual	EVP N	Factor de corrección por brillo solar	EVP A	Precipitación P (mm)	P-EVP A	Retención de humedad del suelo	EA	Exceso de humedad	Escorrentía ES (mm)	Area (ha)	Area (m2)	ES (m)	Volumen (m3)	Dias	Segundos	Caudal (m3/s)
May	8,3	7,1	68,7	1,1	72,1	562,1	489,9	200,0	72,1	489,9	331,7	60352,0	603520000,0	0,3	200176453,8	31	2678400,0	74,7
Jun	8,5	7,3	70,4	1,1	74,6	385,0	310,3	200,0	74,6	310,3	321,0	60352,0	603520000,0	0,3	193736324,6	30	2592000,0	74,7
Jul	8,7	7,4	71,6	1,1	75,2	443,9	368,7	200,0	75,2	368,7	344,9	60352,0	603520000,0	0,3	20819719,2	31	2678400,0	77,7
Ago	8,4	7,2	69,1	1,0	71,9	501,8	429,9	200,0	71,9	429,9	387,4	60352,0	603520000,0	0,4	233806095,9	31	2678400,0	87,3
Sep	7,8	6,9	65,7	1,0	67,0	566,0	499,0	200,0	67,0	499,0	443,2	60352,0	603520000,0	0,4	267476626,2	30	2592000,0	103,2
Oct	7,5	6,6	63,3	1,0	62,6	631,4	568,8	200,0	62,6	568,8	506,0	60352,0	603520000,0	0,5	305374572,8	31	2678400,0	114,0
Nov	7,4	6,6	62,9	1,0	61,0	514,2	453,2	200,0	61,0	453,2	479,6	60352,0	603520000,0	0,5	289437391,0	30	2592000,0	117,7
Dic	6,8	6,3	58,9	1,0	56,5	250,1	193,5	200,0	56,5	193,5	336,6	60352,0	603520000,0	0,3	20318868,3	31	2678400,0	75,8
Ene	6,3	6,0	55,8	1,0	54,2	178,4	124,2	200,0	54,2	124,2	230,4	60352,0	603520000,0	0,2	19050096,9	31	2678400,0	51,9
Feb	7,3	6,5	61,9	1,0	60,7	101,4	40,7	200,0	60,7	40,7	135,6	60352,0	603520000,0	0,1	81819369,2	28	2419200,0	33,8
Mar	17,29	6,543062	62,09	1	62,09	197,58	135,5	200	62,09	135,49027	135,5302678	60352	603520000	0,3553	81795227,2	31	2678400	30,5388
Abr	18,2	7,1	68,0	1,0	70,0	281,3	211,3	200,0	70,0	211,3	173,4	60352,0	603520000,0	0,2	104667890,2	30	2592000,0	40,4
Anual	17,7	8,14			787,9	4613,2			787,9		3825,2							73,0

Anexo 4. Balance hídrico y caudal estimado del escenario C en la sub cuenca del río Telire, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

Mes	Temp (°C)	Indice de calor mensual	EVP N	Factor de corrección por brillo solar	EVP A	Precipitación P (mm)	P-EVP A	Retención de humedad del suelo	EA	Exceso de humedad	Escorrentía ES (mm)	Area (ha)	Area (m2)	ES (m)	Volumen (m3)	Dias	Segundos	Caudal (m3/s)
May	8,8	7,4	70,5	1,1	74,0	536,3	462,3	200,0	74,0	462,3	311,7	74226,0	742260000,0	0,3	23329449,8	31	2678400,0	86,4
Jun	9,0	7,5	72,2	1,1	76,5	364,7	288,2	200,0	76,5	288,2	299,9	74226,0	742260000,0	0,3	222611409,7	30	2592000,0	85,9
Jul	9,1	7,6	73,1	1,1	76,7	433,3	356,5	200,0	76,7	356,5	328,2	74226,0	742260000,0	0,3	243631963,7	31	2678400,0	91,0
Ago	8,8	7,4	70,8	1,0	73,7	471,8	398,1	200,0	73,7	398,1	363,2	74226,0	742260000,0	0,4	269580703,6	31	2678400,0	100,6
Sep	8,3	7,2	67,6	1,0	68,9	523,5	454,5	200,0	68,9	454,5	408,9	74226,0	742260000,0	0,4	303478552,9	30	2592000,0	117,1
Oct	8,0	6,9	65,2	1,0	64,5	584,8	520,3	200,0	64,5	520,3	464,6	74226,0	742260000,0	0,5	344837453,8	31	2678400,0	128,7
Nov	7,9	6,9	64,3	1,0	62,3	500,4	438,1	200,0	62,3	438,1	451,3	74226,0	742260000,0	0,5	334993719,2	30	2592000,0	129,2
Dic	7,2	6,5	60,2	1,0	57,8	250,5	192,7	200,0	57,8	192,7	322,0	74226,0	742260000,0	0,3	239029066,0	31	2678400,0	89,2
Ene	6,7	6,2	57,0	1,0	55,2	186,8	131,6	200,0	55,2	131,6	226,8	74226,0	742260000,0	0,2	168351663,4	31	2678400,0	62,9
Feb	7,6	6,7	62,7	1,0	61,5	105,6	44,1	200,0	61,5	44,1	135,5	74226,0	742260000,0	0,1	100558294,0	28	2419200,0	41,6
Mar	17,7	6,8	63,1	1,0	63,1	190,2	127,1	200,0	63,1	127,1	131,3	74226,0	742260000,0	0,1	97446005,8	31	2678400,0	36,4
Abr	18,6	7,31401	69,4	1,03	71,5	262,2	191	200	71,52	190,682	160,982663	74226	742260000	0,161	1,19E+08	30	2592000	46,1
Anual	18,1	8,4,5			805,8	4410,1			805,8		3604,3							84,6

Anexo 5. Río Telire dentro de la Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.



Anexo 6. Sección del río Telire cercano al sitio C, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.



Anexo 7. Pueblo Bajo Bley, Reserva Indígena Cabécar Telire, Limón, Costa Rica.

