INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Caracterización hidrológica de la subcuenca del río Quirimán, en el cantón de Nicoya

Carlos Humberto Martínez Ramírez

Cartago, 2018

Caracterización hidrológica de la subcuenca del río Quirimán, en el cantón de Nicoya

Carlos Humberto Martínez Ramírez

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Isabel Guzmán Arias	Marvin Villalobos Araya
Asesor	Director Escuela Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2018

Dedicatoria

A mi padre Juan Carlos y mi madre Vilma,

Por el apoyo dado durante esta etapa de mi vida

A mi abuela Mamá Sangel y mi abuelo Papá Otoniel,

Por ser incondicionales y enseñarme a ser mejor persona,

quienes me cuidan hoy desde el cielo

Agradecimiento

A mi familia,

por el apoyo dado durante esta etapa de mi vida

A mis compañeros de carrera,

Por todas esas intensas jornadas de estudio para alcanzar el objetivo de graduarnos

A mis profesores de carrera,

Por todas sus enseñanzas que me permitirán desempeñarme de la mejor forma como profesional

A mis compañeros de la Dirección de Aguas,

Por su apoyo en la elaboración de este proyecto

A la señora Xinia Campos,

Por toda la ayuda brindada para el desarrollo de este trabajo

Contenido

Resumen viii
1.Introducción 1
1.1 Objetivo general 3
1.2 Objetivos específicos 3
2. Revisión de Literatura 4
2.1 Cuenca hidrográfica 5
2.2 Caracterización fisiográfica de la cuenca 5
2.2.1 Área de la cuenca 6
2.2.2 Perímetro de la cuenca 6
2.2.3 Curva hipsométrica 6
2.2.4 Perfil longitudinal del curso de agua 7
2.2.5 Red de drenaje 7
2.2.6 Modelo Digital de Elevaciones 10
2.2.7 Uso del suelo 11
2.2.8 Capacidad de uso de suelo 14
2.2.9 Conflicto de uso de suelo 15
2.3 Caracterización hidrológica de la cuenca 15
2.3.1 Precipitación 16
2.3.2 Escurrimiento 20
3. Metodología 24
3.1 Ubicación de la Subcuenca del río Quirimán 25
3.2 Caracterización fisiográfica de la subcuenca del río Quirimán 25
3.2.1 Área y perímetro de la cuenca 26
3.2.2 Curva hipsométrica 26
3.2.3 Pendiente del cauce y de la cuenca 26
3.2.4 Modelo digital de Elevaciones 27
3.2.5 Red de drenaje 27
3.3. Análisis de conflictos de uso de suelos en la cuenca 28
3.4 Determinación del potencial hídrico de la subcuenca del río Quirimán 28

3.4.1 Recolección de datos de caudal del río Quirimán 28
3.4.2 Recolección de los datos de precipitación y temperatura 29
3.4.3 Calculo de caudales de la cuenca.....30
3.4.4 Determinación del potencial hídrico del río Quirimán 31
3.5 Análisis económico.....32
3.6 Análisis social.....32
3.7 Análisis ambiental 32
4. Resultados y análisis de resultados 33
4.1 Caracterización Morfológica.....34
4.2 Análisis de uso de suelo en la cuenca 36
4.3 Correlación de datos de precipitación y temperatura 40
4.4 Caudal disponible en el río Quirimán.....40
4.4.1 Escenarios de estudio 44
4.5 Análisis económico.....49
4.6 Análisis social.....51
4.7 Análisis Ambiental 52
5. Conclusiones y recomendaciones.....54
6. Bibliografía 56
Bibliografía 57
7. Anexos 59
Anexo 1. Correlación de datos de Precipitación y Temperatura.....60
Anexo 2. Registros de caudal medido en el río Quirimán 62

Índice de Figuras

Figura 1. Características de las curvas hipsométricas en ciclo erosivo
Fuente: Cahuana & Yugar (2009) 7
Figura 2. Orden de las corrientes en una cuenca
Fuente: Breña & Jacobo (2006) 9
Figura 3. Ciclo hidrológico detallado
Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (2018) 16
Figura 4. Ejemplo de un pluviograma
Fuente: Villón (2004) 18
Figura 5. Polígono de Thiessen
Fuente: Villón (2004) 19
Figura 6. Mapa de isoyetas
Fuente: Aparicio (1992).....20
Figura 7. Componentes de la escorrentía
Fuente: Cahuana & Yugar (2009) 22
Figura 8. Correntómetro utilizado en los aforos en cauce por la Dirección de Aguas en Costa Rica.....23
Figura 9. Ubicación espacial de la subcuenca del río Quirimán.....25
Figura 10. Mapa de Modelo digital de Elevaciones de la Subcuenca del Río Quirimán 34
Figura 11. Curva hipsométrica de la subcuenca del río Quirimán.....36
Figura 12. Mapa de uso de suelo actual de la subcuenca del río Quirimán.....37
Figura 13. Capacidad de uso del suelo para la subcuenca del río Quirimán. 38
Figura 14. Conflictos de uso de suelo para la subcuenca del río Quirimán 39

Índice de cuadros

Cuadro 1. Caracterización fisiográfica de la subcuenca del río Quirimán 35
Cuadro 2. Balance hídrico para el período 2007-2017.....41
Cuadro 3. Caudales para análisis de escenarios, en L/s 44
Cuadro 4. Análisis de escenario para consumo humano, a partir del caudal medido en el río Quirimán 45
Cuadro 5. Análisis de escenario para consumo humano, a partir del caudal calculado en el río Quirimán 46
Cuadro 6. Análisis de cuanta área de cultivo se puede regar con el caudal medido del río Quirimán 47
Cuadro 7. Análisis de cuanta área de cultivo se puede regar con el caudal calculado del río Quirimán 48
Cuadro 8. Disponibilidad para actividades agropecuarias según el caudal medido en el río Quirimán 48
Cuadro 9. Disponibilidad para actividades agropecuarias según el caudal calculado del río Quirimán 49
Cuadro 10. Ingresos máximos generados por la explotación del recurso hídrico del río Quirimán 49

Resumen

El cantón de Nicoya, ubicado en la provincia de Guanacaste, carece de un plan regulador actualizado. Rigiéndose actualmente por un documento del año 1983. Es por esta razón, que se hace necesario el desarrollo de estudios en las cuencas hidrográficas de Nicoya que sirvan como base para la elaboración de un nuevo plan. Ante esta situación, se desarrolló una caracterización hidrológica de la subcuenca del río Quirimán para poder contribuir a solucionar esta problemática.

Primero, se caracterizó morfológicamente subcuenca del río Quirimán utilizando programas de libre uso para analizar la fisiología del área de estudio. Se determinó que la cuenca posee un área de 160 km^2 caracterizada como grande, clasificada como exorreica que drena al río Nosara, cuya capacidad erosiva es alta y que cuenta con un drenaje de moderado a bueno.

Se elaboraron mapas de uso y capacidad del suelo, lo que permitió crear un mapa de conflictos de uso de suelo, identificando un sobreuso del uso en las áreas de recarga acuífera ubicadas en la parte alta de la cuenca y una alta capacidad para el desarrollo de cultivos agrícolas en la parte media y baja de la cuenca.

Después, se determinó el potencial hídrico del río Quirimán a partir de caudales medidos en aforos realizados por la Dirección de Agua y los balances hídricos para un lapso de 10 años. El río Quirimán puede ayudar a garantizar la demanda de consumo humano de agua para el distrito de Nicoya hasta el año 2025, y generar recursos económicos de 17 millones de colones. Convirtiéndose en una fuente generadora de empleo y desarrollo económico y social. Estos recursos económicos se pueden invertir inclusive para el desarrollo de estudios y programas ambientales en la cuenca.

Palabras clave: subcuenca, Quirimán, uso de suelo, capacidad de uso de suelo, conflicto de uso de suelo, caudal, potencial hídrico.

The canton of Nicoya, located in the province of Guanacaste, lacks an updated regulatory plan. Currently, it is subject to a document of the year 1983. It is for this reason that it is necessary to develop studies in the hydrographic basins of Nicoya that serve as the basis for the elaboration of a new plan. Given this situation, a hydrological characterization of the sub-basin of the Quirimán River was developed to help solve this problem.

First, it was characterized morphologically sub-basin of the Quirimán River using free-use programs to analyze the physiology of the study area. It was determined that the basin has an area of 160 km2 characterized as large, classified as exorheic that drains the Nosara River, whose erosive capacity is high and which has a moderate to good drainage.

Land use and capacity maps were prepared, which allowed creating a map of land use conflicts, identifying an overuse of use in the aquifer recharge areas located in the upper part of the basin and a high capacity for the development of land use. agricultural crops in the middle and lower parts of the basin.

Afterwards, the water potential of the Quirimán River was determined from flows measured in gauges made by the Water Directorate and the water balances for a period of 10 years. The Quirimán River can help guarantee the demand for human consumption of water for the district of Nicoya until the year 2025, and generate economic resources of 17 million colones. Becoming a source of employment and economic and social development. These economic resources can be invested including for the development of studies and environmental programs in the basin.

Keywords: sub-basin, Quiriman, regulatory plan, land use, land use capacity, land use conflict, flow, water potential.

1.Introducción

El Departamento de Aguas tiene como misión administrar, oportuna y eficientemente, los recursos hídricos en todo el territorio nacional, procurando el desarrollo sostenible mediante el ordenamiento y manejo racional, brindándole al usuario un servicio excelente. (Dirección de Aguas, 2015)

La Unidad Hidrológica Tempisque Pacífico Norte, abarca un área de trabajo de 10.978 km2 que incluye los distritos de Lepanto y Cóbano del cantón central de la provincia de Puntarenas y los 11 cantones de la provincia de Guanacaste. El cantón de Nicoya posee un área de 1333,68 km2, lo que representa la décima parte de la Unidad Hidrológica Tempisque Pacífico Norte.

Desde el 18 de abril del 2016, la Dirección de Agua, en específico la Unidad Hidrológica Tempisque Pacífico Norte, cuenta con una oficina en el cantón de Nicoya ubicada en el distrito central. A partir de esa fecha, dicha institución ha tenido una participación en el Consejo Cantonal de Coordinación Institucional (CCCI) de la Municipalidad de Nicoya, colaborando además con la Comisión de Ambiente de este en proyectos como el monitoreo mensual mediante aforos del río Quirimán, considerado de potencial hídrico por las autoridades municipales.

Según el artículo 15 de la Ley de Planificación Urbana N°4240, conforme al precepto del artículo 169 de la Constitución Política, reconózcase la competencia y autoridad de los gobiernos municipales para planificar y controlar el desarrollo urbano, dentro de los límites de su territorio jurisdiccional. Consecuentemente, cada uno de ellos dispondrá lo que proceda para implantar un plan regulador, y los reglamentos de desarrollo urbano conexos, en las áreas donde deba regir, sin perjuicio de extender todos o algunos de sus efectos a otros sectores, en que priven razones calificadas para establecer un determinando régimen contralor.

El cantón de Nicoya carece de Plan Regulador, sin embargo, desde la implementación del CCCI y su respectiva Comisión de Ambiente, se han hechos esfuerzos para desarrollar proyectos de investigación y tesis que permitan obtener información base para el desarrollo de este por medio de universidades (nacionales y extranjeras), fundaciones privadas e instituciones públicas.

Estos proyectos se han realizado principalmente en la subcuenca del Río Nosara y la subcuenca del Río Potrero-Caimital, sin embargo, en la subcuenca del Río Quirimán no se cuenta con ningún estudio. La intención de la Comisión de Ambiente es desarrollar estudios hidrológicos

que sirvan como base para un estudio hidrogeológico de la subcuenca del río Quirimán necesario para el desarrollo del Plan Regulador. Ante esta necesidad es que se plantea realizar este Trabajo Final de Graduación, caracterizando hidrológicamente la subcuenca del río Quirimán.

1.1 Objetivo general

- Contribuir a la elaboración del plan regulador del cantón de Nicoya, mediante la caracterización hidrológica de la subcuenca del río Quirimán.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar fisiográficamente la subcuenca.
- Caracterizar hidrológicamente la subcuenca para la obtención de caudales.
- Valorar económica, social y ambientalmente el proyecto.

2. Revisión de Literatura

2.1 Cuenca hidrográfica

Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal. (Vásquez, y otros, 2016)

Esta línea imaginaria es conocida como parteaguas, está formada por los puntos topográficamente más altos y separa una cuenca de otra para su estudio.

Es importante diferenciar entre los conceptos de cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica, según World Vision (2014), cuando el relieve y fisiografía, tienen una forma y simetría diferente a la configuración geológica de la cuenca, se puede decir que existe una cuenca subterránea, que cambia la dirección del flujo subsuperficial para alimentar a otra cuenca hidrográfica. A esta configuración se denomina cuenca hidrológica, la cual adquiere importancia cuando se tenga que realizar el balance hidrológico.

Por otro lado, se tienen los conceptos de subcuenca y microcuenca, donde la diferencia entre estos radica en el orden de las corrientes.

Según Vásquez V. y otros (2016), se puede considerar como microcuencas a los cursos de agua de primer, segundo y tercer orden y a subcuencas, los cursos de agua de cuarto y quinto orden.

2.2 Caracterización fisiográfica de la cuenca

Para Breña y Puyol (2006), para estudiar una cuenca hidrográfica se requieren métodos cuantitativos y cualitativos. Dichos autores mencionan que es fundamental definir parámetros que representen algunas características particulares importantes, que pueden ofrecer una información relevante acerca de las variables y los procesos hidrológicos.

Entre las características físicas de la cuenca a analizar están:

2.2.1 Área de la cuenca

Según Gámez (2010), indica la superficie del área drenada que cubre el perímetro de la cuenca y generalmente se indica en km^2 (kilómetros cuadrados) o bien en hectáreas cuando las cuencas son pequeñas. Además, el tamaño de la cuenca es una característica que influye en el escurrimiento superficial, ya que al incrementarse el tamaño se aumenta el volumen escurrido y los escurrimientos máximos.

Las cuencas se pueden clasificar por su área en pequeñas (menos de 50 km^2), medianas (de 50 a 150 km^2) y grandes (mayores a 150 km^2).

2.2.2 Perímetro de la cuenca

Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal. Es de forma muy irregular; se obtiene después de delimitar la cuenca. (Villón, Hidrología, 2004)

2.2.3 Curva hipsométrica

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca; es decir, la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie de la cuenca en km^2 que existe por encima de una cota determinada, representado en coordenadas rectangulares. (Cahuana & Yugar, 2009)

A partir del análisis de la curva hipsométrica se puede determinar el grado de erosión de la cuenca. En la Figura 1, se observa que la curva A corresponde a una cuenca con gran potencial erosivo, la curva B a una cuenca en equilibrio y la curva C corresponde a una cuenca sedimentaria, es decir con poca capacidad erosiva.

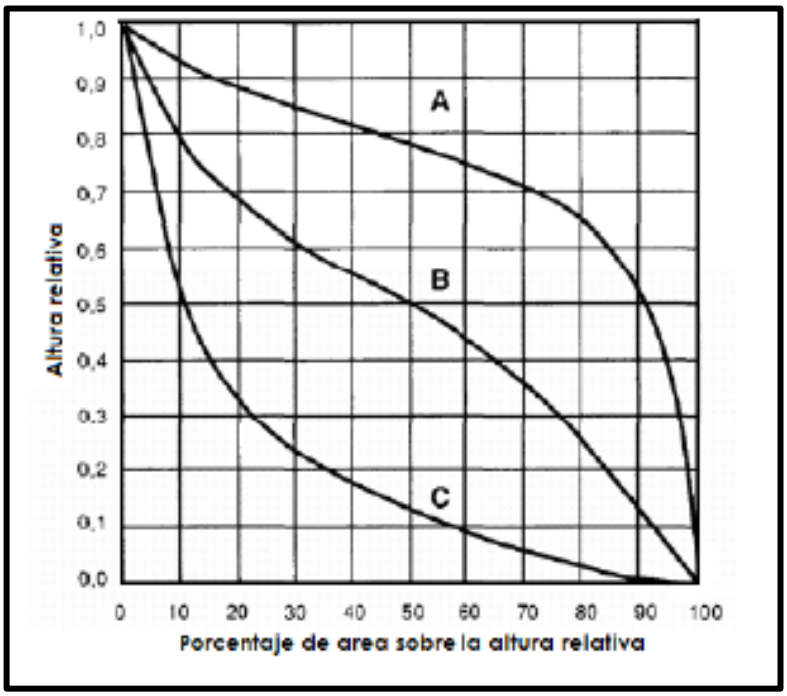

Figura 1. Características de las curvas hipsométricas en ciclo erosivo

Fuente: Cahuana & Yugar (2009)

2.2.4 Perfil longitudinal del curso de agua

Este perfil se obtiene al graficar la longitud del cauce contra la altitud de este. Según Villón (2004), la importancia de conocer el perfil longitudinal del curso principal radica en que nos proporciona una idea de las pendientes que tiene el cauce, en diferentes tramos de su recorrido, y que es un factor de importancia para determinar los puntos de captación. Este aspecto puede ser un agregado importante para determinar el mejor sitio para aprovechar el agua para el consumo humano de la población de una ciudad, distrito o cantón.

2.2.5 Red de drenaje

La red de drenaje de una cuenca es el sistema interconectado de cauces, a través del cual, el agua captada en las partes altas se recolecta y es conducida a las partes bajas. (Breña & Jacobo, 2006)

De acuerdo con Gámez (2010) y Villón (2004), las características de una red de drenaje pueden describirse según:

- Clases de corrientes: Estas se clasifican en tres clases dependiendo del tipo de escurrimiento.
  - Efímeras: Son aquellas que sólo conducen agua cuando llueve e inmediatamente después, es decir sólo capta escurrimiento superficial. En estas el nivel freático esta siempre por debajo del fondo del cauce.
  - Intermitentes: Son aquellas que conducen agua la mayor parte del tiempo, principalmente en la época de lluvias, su aportación cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce. Captan el escurrimiento superficial, precipitaciones y el escurrimiento subsuperficial.
  - Perennes: Llevan agua todo el tiempo, ya que en época de estiaje son alimentadas por aguas subterráneas, esto producto de que el nivel freático se encuentra por encima del fondo del cauce a lo largo del año.
- Orden de las corrientes: es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Se consideran corrientes de orden uno aquellas que no tienen ningún tributario; de orden dos aquellas que tienen tributarios de orden uno; de orden tres las que tienen tributarios de orden tres y así sucesivamente va aumentando el orden según el orden de los tributarios que forman la corriente, tal y como se observa en la Figura 2.

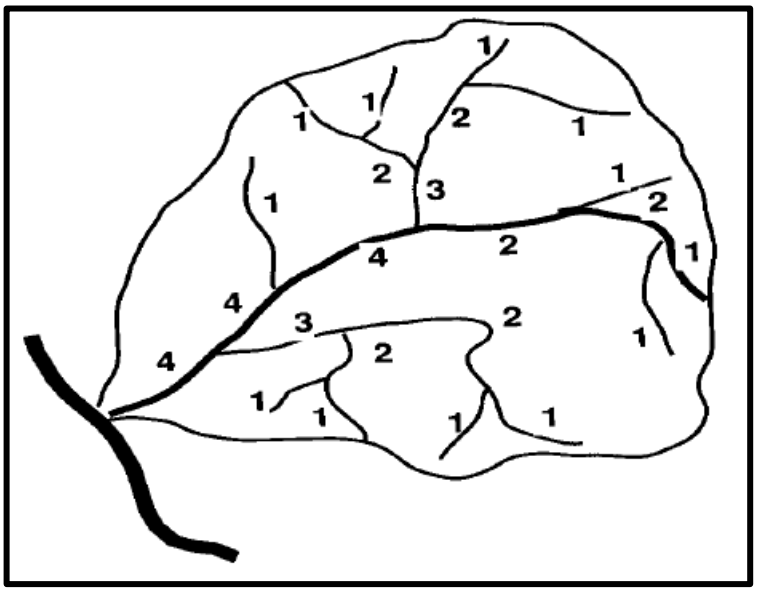

Figura 2. Orden de las corrientes en una cuenca
Fuente: Breña & Jacobo (2006)

- Longitud de los tributarios: La topografía de una cuenca define en sí la longitud de los tributarios, ya que éstos son indicadores de la pendiente. Generalmente las áreas escarpadas y con buen drenaje, tienen numerosas corrientes pequeñas y efímeras, contrariamente las áreas planas con suelos profundos y permeables tiene largas, generalmente se mantienen como corrientes perennes.
- Densidad de las corrientes: es una relación entre el número de corrientes y el área drenada (en km^2). Es un criterio que permite conocer la eficacia del drenaje de la cuenca, sin embargo, puede ocurrir que dos cuencas diferentes con la misma densidad de corrientes drenen de forma distinta, debido a la longitud y disposición de las corrientes.
- Densidad de drenaje: Relaciona la longitud de las corrientes por unidad de área, proporciona una información más real que la densidad de corriente. Es las mayor o menor facilidad que presenta una cuenca hidrográfica para evacuar las aguas provenientes de las precipitaciones que quedan sobre la superficie de la tierra, debido al grado de saturación de las capas del subsuelo. Los valores altos representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables y los valores

bajos indican suelos duros, poco erosionables o muy permeables y coberturas vegetales densas.

Las cuencas hidrográficas se clasifican según su sistema de drenaje, World Vision (2014) las clasifica de la siguiente manera:

- Arréicas: Cuando no logran drenar a un río, mar o lago, sus aguas se pierden por evaporación o infiltración sin llegar a formar escurrimiento subterráneo.
- Criptorréicas: Cuando sus redes de drenaje superficial no tienen un sistema organizado o aparente y corren como ríos subterráneos (casos de zonas cársticas).
- Endorreicas: Cuando sus aguas drenan a un embalse o lago sin llegar al mar.
- Exorréicas: Cuando las vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un gran río o mar.

Una herramienta importante para la caracterización fisiográfica de la cuenca en estudio, detallada hasta ahora, es el Modelo de Elevación Digital. A continuación, se presenta el concepto, usos y productos que se pueden obtener de este modelado para su aplicación en el proyecto.

2.2.6 Modelo Digital de Elevaciones

Un modelo digital de terreno es una representación estadística de una superficie continua del terreno mediante un conjunto infinito de puntos cuyos valores en x, y, y z son conocidos y están definidos en un sistema de coordenadas arbitrario. (Fallas, 2017)

Según Felicísimo (1994), en la cartografía convencional la descripción hipsométrica constituye la infraestructura básica del resto de los mapas. El papel equivalente en los modelos digitales de terreno lo desempeña el modelo digital de elevaciones, que describe la altimetría de una zona mediante un conjunto de datos acotados.

En el modelo digital de elevación, la palabra elevación enfatiza el concepto de medición de altura con respecto a un datum y la generación por parte del modelo de valores absolutos de altura. Este término se utiliza con frecuencia en los Estados Unidos para describir un arreglo

rectangular o hexagonal de puntos con valores de elevación obtenidos por métodos fotogramétricos o cartográficos. (Fallas, 2017)

Entre los principales usos de los modelos digitales de elevación tenemos:

- ✓ Estimación de volúmenes de corte y relleno.
- ✓ Cartografía topográfica.
- ✓ Estudios hidrológicos.
- ✓ Mapeo geológico y geofísico.
- ✓ Calculo de áreas de inundación.
- ✓ Análisis estadístico del terreno.
- ✓ Determinación de pendientes, aspecto y sombreado de terreno.

2.2.7 Uso del suelo

Según la Guía para la descripción de suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2009), el uso de la tierra implica el uso actual de la tierra, ya sea agrícola o no, en donde el suelo es localizado. El uso de la tierra tiene gran influencia en la dirección y en la tasa de formación del suelo; su registro realza considerablemente el valor interpretativo de los datos del suelo.

A nivel nacional, Chavarría & Canales (2010), definen las siguientes categorías de uso del suelo:

- Áreas Quemadas: Áreas que, durante la época seca, los agricultores queman periódicamente, para realizar sus actividades agrícolas o ganaderas; y en algunos casos, afectan las áreas boscosas.
- Bosque Intervenido: Son las áreas que presentan las mismas características del bosque natural, pero con pequeños espacios abiertos, donde se realizan actividades humanas (ganadería, agricultura, de subsistencia, agroforestería, entre otras); siendo éstas las primeras manifestaciones de intervención y deterioro del bosque natural.
- Bosque Natural: Cobertura vegetal conformada por especies con tallo y tronco leñoso; que se encuentran tanto en el bosque tropical lluvioso como el tropical seco.

- Bosque Secundario: Una cobertura vegetal que se ha desarrollado mediante un proceso de regeneración natural, después de haberse eliminado la masa adulta original o gran parte de ella por actividades antrópicas o catástrofes naturales (erupciones volcánicas, deslizamientos, etc.).
- Charral/Tacotal: Es el primer estadio de crecimiento de las especies en un proceso de regeneración natural, de aquellas áreas que han sido abandonadas por las actividades agropecuarias; la edad de crecimiento de las especies consta de 0 a 2 años. Está constituido por especies herbáceas y leñosas que no sobrepasan los cinco metros.
- Cultivos Anuales: Aquellos cultivos que presentan un ciclo vegetativo (germinación, inflorescencia, fructificación y senectud) que dura un año o menos y sólo producen una cosecha durante ese período; entre estos citan: el algodón, la papa, las hortalizas y los granos.
- Cultivos Permanentes: Cultivos cuyo ciclo vegetativo dura más de dos años, y ofrecen durante este período más de dos cosechas; entre éstos: la caña de azúcar (que se corta o se quema, pero el rizoma permanece en el suelo volviendo a regenerar), el café, el banano, la palma africana y los cítricos.
- Humedal/Pantano: Ecosistemas con dependencia a regímenes acuáticos, naturales o artificiales; permanentes o temporales; lénticos o láticos; dulces, salobres o salados, incluyen las extensiones marinas hasta el límite superior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral o en su ausencia hasta 6 metros de profundidad en marea baja. En Costa Rica se encuentran en: Caño Negro, Tortuguero, Palo Verde y la Zona Norte.
- Laguna/Embalse: Los embalses son cuerpos de agua; artificiales y estáticos, destinados principalmente a la producción de energía; tales como el embalse Arenal en Guanacaste y Cachí en Cartago, son áreas fácilmente cartografiables. Las lagunas son depósitos de agua naturales; algunas de estas son dinámicas porque están conectadas con un río, como, por ejemplo: la laguna de Corcovado y la laguna de Caño Negro. Otras como las lagunas cratéricas son relativamente estáticas.
- Manglar: Los manglares son agrupaciones de árboles, arbustos y matorrales que pertenecen a varias familias no relacionadas. Su tamaño varía desde estructuras de

grandes árboles a matorrales. Se caracterizan por ser plantas halófilas (tolerantes a la sal) y su habilidad para crecer y prosperar a lo largo de los litorales.

- ND: No Determinado.
- Páramo: es una comunidad vegetativa compuesta por líquenes y usgos acompañados de helechos arborescentes, así como de algunas especies arbustivas con hojas muy coriáceas; presenta un rango de precipitación anual de 2.300 a 3.500 mm y una temperatura que puede bajar hasta los -2°C (regiones más frías de Costa Rica). Estas comunidades vegetales, se ubican específicamente en las zonas altas y áreas abiertas de la Cordillera de Talamanca.
- Pasto: Formaciones vegetales compuestas por gramíneas que se consideran dominantes de hierbas y en ocasiones acompañadas con árboles y arbustos esparcidos; frecuentemente son dedicadas a la ganadería extensiva, pero en algunos casos no presentan ningún uso.
- Pasto y Agricultura: Son pequeñas áreas de pasto y agricultura, ya sea estacional o permanente; que se encuentran intercaladas en porcentajes similares.
- Suelo Descubierto: En este caso, se denominó terreno descubierto al área afectada por el terremoto de abril de 1991; que provocó el deslizamiento de grandes bloques de tierras en la provincia de Limón. O cualquier otro tipo de deslizamiento que deje al descubierto el suelo.
- Terreno Rocoso: Son áreas expuestas que no presentan condiciones aptas para ser cultivadas o pastoreadas, debido a que el suelo está cubierto por grandes coladas de lava, caracterizadas por ignimbritas, tobas y basaltos; o rocas expuestas, con un tipo de vegetación herbácea y arbustiva pobremente desarrollada. Estas unidades se ubican principalmente en la zona norte de Liberia, Bagaces y Tilarán; así como en los principales focos volcánicos del país. Existen otros elementos que pueden ser contemplados en esta categoría, pero por el tamaño de la escala, no fueron considerados.
- Uso Urbano: Es el fraccionamiento y habilitación de un terreno para fines urbanos, mediante la apertura de calles y provisión de servicios, trazados de vías públicas y áreas a reservar para usos u servicios comunales. Presentan un arreglo geométrico.

2.2.8 Capacidad de uso de suelo

Se refiere a la capacidad que tienen los suelos para soportar diferentes usos y se clasifica en 8 clases. Para esta clasificación se toman en cuenta las características del suelo, clima, drenaje y relieve.

De acuerdo con Cubero (2001), las clases de capacidad de uso de suelo para Costa Rica son:

* Clase I: Dentro de esta clase se incluyen tierras con pocas limitantes o sin ellas para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias o forestales, adaptadas ecológicamente a la zona.
* Clase II: Las tierras de esta clase presentan leves limitaciones que, solas o combinadas, reducen la posibilidad de elección de actividades o se incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo y conservación de suelos.
* Clase III: Las tierras de esta clase presentan limitaciones moderadas, solas o combinadas, que restringen la elección de los cultivos. Para desarrollar los cultivos anuales se requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y agua.
* Clase IV: Las tierras de esta clase presentan fuertes limitaciones, solas o combinadas, que restringen su uso a vegetación semipermanente y permanente. Los cultivos anuales se pueden desarrollar únicamente en forma ocasional y con prácticas muy intensivas de manejo y conservación de suelos y agua.
* Clase V: Las tierras de esta clase presentan severas limitaciones para el desarrollo de cultivos anuales, semipermanentes, permanentes o bosque, por lo cual su uso se restringe al pastoreo o manejo de bosque natural.
* Clase VI: Las tierras ubicadas dentro de esta clase son utilizadas para la producción forestal, así como cultivos permanentes tales como frutales y café, aunque estos últimos requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas.
* Clase VII: Las tierras de esta clase tiene severas limitaciones por lo cual sólo se permite el manejo forestal en caso de cobertura boscosa. En aquellos casos en que el uso actual sea diferente al bosque, se procurará la restauración forestal por medio de la regeneración forestal natural.

* Clase VIII: Estas tierras no reúnen las condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria o forestal alguna. Las tierras de esta clase tienen utilidad sólo como zonas de preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica.

2.2.9 Conflicto de uso de suelo

La elaboración de mapas de uso de suelo en la cuenca permite conocer si se está dando una sobreutilización o subutilización recurso en el área de estudio. Dicho análisis se realiza mediante la construcción de los mapas de conflicto de uso de suelo.

Además, dichos mapas facilitan la identificación de las zonas de protección y verificación del respeto de estas.

2.3 Caracterización hidrológica de la cuenca

En este apartado, se detallas las principales fases del ciclo hidrológico de donde se obtienen los datos necesarios para determinar el potencial hídrico de la cuenca en estudio.

Es importante definir el ciclo hidrológico antes de proceder a detallar sus componentes, para Ordoñez (2011) es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación. El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento). En la Figura 3 se detalla el ciclo del agua.

Figura 3. Ciclo hidrológico detallado
Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (2018)

2.3.1 Precipitación

Se produce cuando las gotas minúsculas de agua que forman las nubes se enfrían y se produce la condensación, generándose la unión de las minúsculas gotas de agua para formar gotas de mayor tamaño y de mayor peso y que finalmente debido a ello terminan precipitándose a la superficie terrestre. Los componentes de la precipitación son lluvia, granizo, nieve, neblina (niebla), rocío y granizo con agua. Estas formas de precipitación son las principales fuentes de agua en el mundo. (Vásquez, y otros, 2016)

La precipitación se clasifica en tres tipos, descritos a continuación.

- Ciclónica: Resulta del ascenso de la masa de aire cálido como consecuencia de la colisión de aire cálido y liviano con aire frío y más pesado. Este proceso está asociado a zonas de baja presión atmosférica, las cuales se convierten en centros de atracción de

vientos. La precipitación ciclónica puede ser no frontal y frontal. (Fattorelli & Fernández, 2011)

- Convectiva: Son precipitaciones características de las zonas ecuatoriales donde, por debilidad de los vientos el movimiento del aire es esencialmente vertical. El proceso inicia con atmósfera en calma, es calentado por la radiación solar reflejada y emitida por la superficie terrestre. Ese aire, menos denso que el aire circundante, se eleva y forma de células de convección, enfriándose adiabáticamente hasta alcanzar el nivel de condensación, generando nubes del tipo cumulonimbos que originan lluvias muy intensas, de duración cortas y abarcando áreas reducidas. (Vásquez, y otros, 2016)
- Orográfica: Se produce cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujado por el viento hacia las montañas; las nubes siguen por las laderas de las montañas, y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación. (Villón, Hidrología, 2004)

2.3.1.1 Medición de la precipitación

La medición de la precipitación se realiza con los instrumentos conocidos pluviómetros y pluviógrafos.

El pluviómetro es un recipiente colector de lluvia que almacena el agua en un depósito interno, captada a través de una boca horizontal de área estandarizada de 200 cm^2 o 400 cm^2 por la Organización Meteorológica Mundial (OMN), organismo de las Naciones Unidas que trata de la estandarización mundial de las mediciones y observaciones meteorológicas, entre otras cosas. La altura de lluvia se determinará vertiendo el agua almacenada en el pluviómetro, en una probeta graduada en milímetros y décimos de milímetro, colocada sobre una superficie horizontal. (Vásquez, y otros, 2016)

Los pluviógrafos, son definidos por Villón (2004), como un instrumento que registra la altura de la lluvia en función del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de la precipitación. Siendo los más comunes los de forma cilíndrica; están formados por un embudo receptor ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador, montado en un sistema de reloj. Como el papel registrador tiene un cierto rango en cuanto a la

altura de registro, una vez que la aguja llega al borde superior regresa automáticamente al borde inferior y sigue registrando. El gráfico resultante recibe el nombre de pluviograma. Tal y como se observa en la Figura 4.

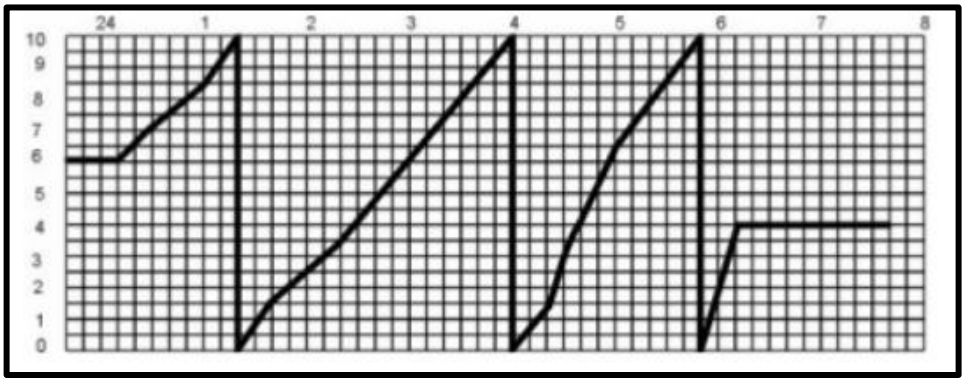

Figura 4. Ejemplo de un pluviograma
Fuente: Villón (2004)

Actualmente, en Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional, utiliza pluviómetros electrónicos, los cuales utilizan un sistema de cazoletas, que generan pulsos eléctricos cada vez que se llenan y caen por peso. (Alvarado)

Breña & Jacobo (2006) señalan que la información de precipitación pluvial se genera en forma discreta, utilizando el pluviómetro y realizando las lecturas totales acumuladas en intervalos de 6, 12 o 24 horas. Si se utiliza el pluviógrafo se obtiene un registro continuo de la precipitación, siendo posible analizar la variación temporal de la lluvia en intervalos de minutos. La medición más común en las estaciones climatológicas son los valores discretos de los pluviómetros.

De acuerdo con Vásquez & otros (2016), es muy importante conocer la precipitación que cae sobre una cuenca. Si se determina la lámina o altura de lluvia, se puede conocer el volumen de agua precipitada, multiplicando dicha lámina por el área de la cuenca.

Los métodos más utilizados son:

- Promedio aritmético: tal y como lo indica su nombre, se obtiene al promediar aritméticamente los registros de las lluvias de las estaciones ubicadas en la cuenca. A mayor número de estaciones de medición, mayor será la precisión.

- Polígono de Thiessen: este método considera que en cualquier punto de la cuenca la lluvia es igual a la que se registra en el registra en el pluviómetro más cercano, por lo tanto, la lámina registrada en el pluviómetro se aplica hasta la mitad de la distancia a la siguiente estación pluviométrica. El método consiste en trazar una serie de polígonos, que resulta de levantar las mediatrices de los triángulos provenientes de la unión de los puntos (que representan a las estaciones) existentes en la cuenca (Vásquez, y otros, 2016). En la Figura 5, se detalla el polígono de Thiessen.

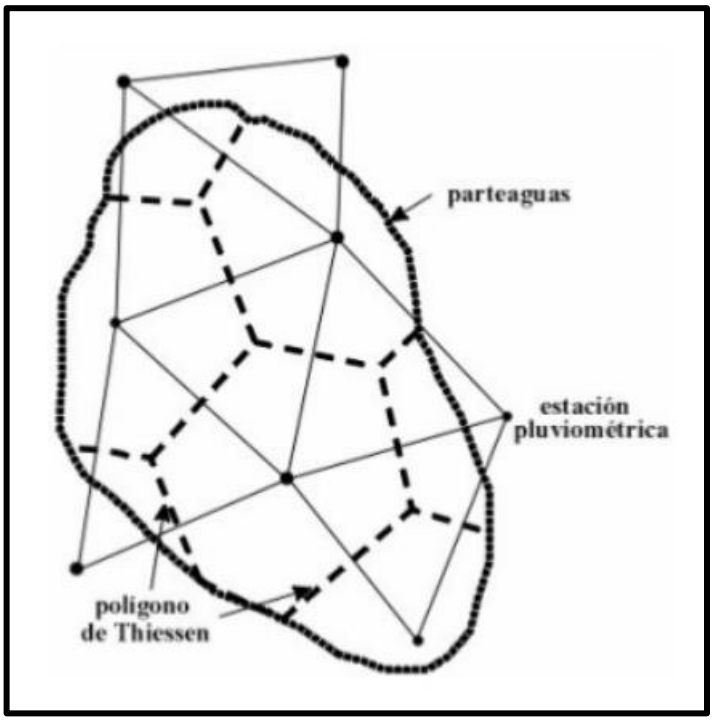

Figura 5. Polígono de Thiessen
Fuente: Villón (2004)

- Isoyetas: Las isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación. Este método es el más exacto, pero requiere cierto criterio para trazar el plano de isoyetas. Se puede decir que, si la precipitación es de tipo orográfico, las isoyetas tenderán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Por supuesto, cuanto mayor sea el número de estaciones dentro de la zona en estudio, mayor será la aproximación con la cual se trace el plano de isoyetas (Villón, Hidrología, 2004). En la Figura 6, se puede apreciar un ejemplo sencillo de un mapa de isoyetas.

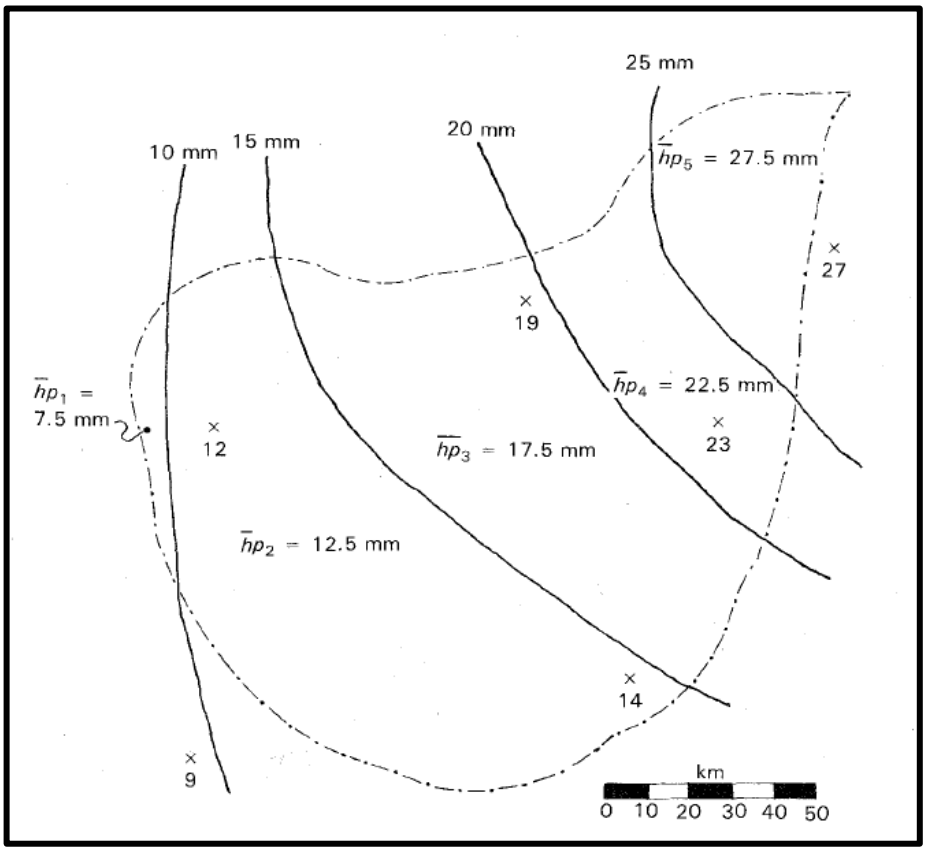

Figura 6. Mapa de isoyetas

Fuente: Aparicio (1992)

2.3.2 Escurrimiento

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. (Gámez, 2010)

Desde el punto de vista del aprovechamiento de los recursos hidráulicos de una región o del país, el escurrimiento de una corriente, constituye la disponibilidad para ser derivada y utilizada inmediatamente, en el riego y/o el abastecimiento de agua a las poblaciones, o bien, para ser almacenada en los embalses y empleada posteriormente en diversos fines, inclusive retenida para su control, con el objeto de reducir los daños que causa su abundancia. (Cahuana & Yugar, 2009)

De acuerdo con Fattorelli & Fernández (2011), los principales factores que afectan la escorrentía son:

- Intensidad y duración de la precipitación.
- Tamaño, forma, pendiente y orientación de la cuenca.
- Densidad y forma de la red de drenaje.
- Altitud.
- Presencia de lagos y depresiones.
- Uso del suelo.
- Cobertura vegetal (tipo y densidad de vegetación).
- Tipo de suelo (capacidad de infiltración, permeabilidad, presencia de capas freáticas).
- Parámetros geomorfológicos.

La escorrentía se tipifica en 3 categorías:

- Superficial: Es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el escurrimiento total es inmediato, y existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que ésta termine. (Villón, Hidrología, 2004)
- Subsuperficial: Es aquel que luego de infiltrarse una determinada cantidad en el perfil del suelo, se manifiesta escurriendo en la primera capa del suelo, y en algunos casos, vuelve a aparecer en superficie, sumándose al superficial. El escurrimiento tiene una velocidad de conducción lento. (Cahuana & Yugar, 2009)
- Subterráneo: Es aquel que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra, una vez que el suelo se ha saturado.

Además, dependiendo de cómo favorezca al escurrimiento total, este se puede clasificar en directo o base.

- Escurrimiento directo: Su efecto es inmediato y se constituye por la precipitación en cauces, flujo sobre el terreno y escurrimiento subsuperficial.
- Escurrimiento base: Su efecto es retardado y su origen es el agua subterránea, el escurrimiento subterráneo.

En la figura 6, se detallan los componentes del escurrimiento total.

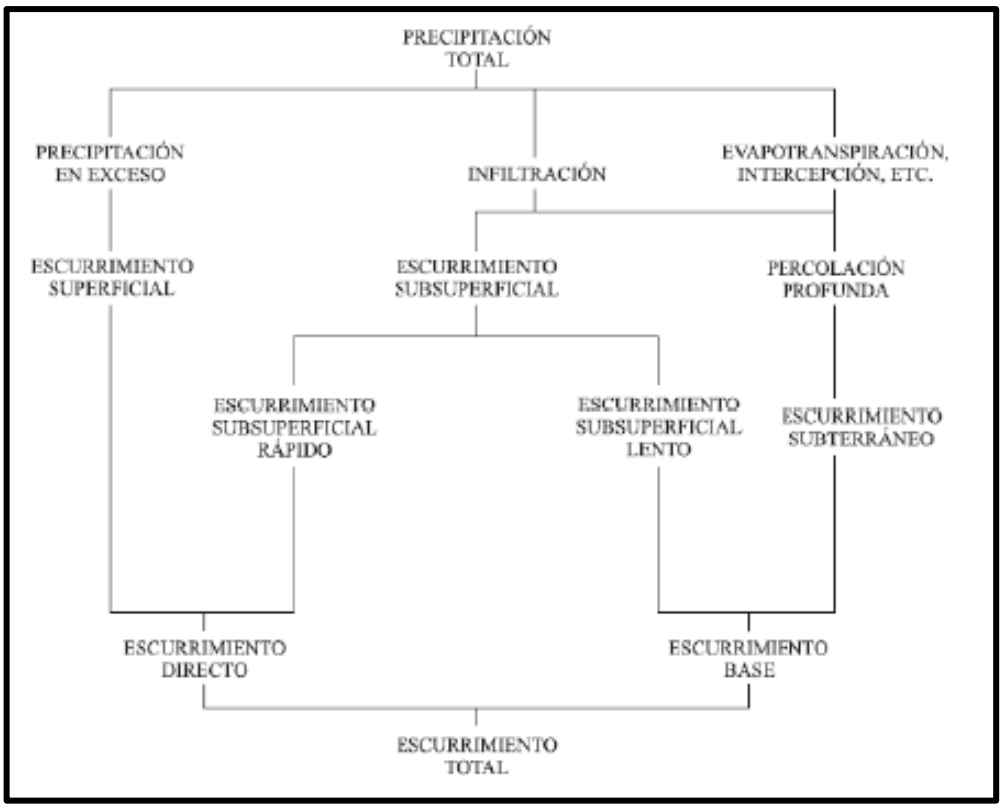

Figura 7. Componentes de la escorrentía

Fuente: Cahuana & Yugar (2009)

2.3.2.1 Medición de la escorrentía

Villón (2004) señala que la hidrometría es la rama de la hidrología que estudia la medición del escurrimiento. Para este mismo fin, es usual emplear otro término denominado aforo. Aforar una corriente significa determinar, con mediciones, el caudal que pasa por una sección dada y en un momento determinado.

El aforo puede realizarse utilizando diferentes metodologías a partir de relaciones de área transversal y velocidad, implementación de estructuras como vertederos, utilización de flotadores o disoluciones químicas (métodos directos). También se puede determinar el caudal a partir del registro de alturas con limnigrafos (métodos indirectos).

Sin embargo, para efectos de este documento, se detallará únicamente el aforo con correntómetro. Este es el principal método utilizado en la medición de caudales en cauces por parte de la Dirección de Agua, ente rector del recurso hídrico en el país.

El molinete o correntómetro es un instrumento que tiene una hélice o rueda de cazoletas, que gira al introducirla en una corriente de agua. Estos aparatos miden la velocidad en un punto dado del curso del río. Se basa en el conteo del número de revoluciones que da una hélice colocada en el sentido del flujo, las cuales son proporcionales a la velocidad del flujo. El número de revoluciones se da a conocer a través de señales sonoras, visuales o por contadores eléctricos (Cahuana & Yugar, 2009), ver Figura 8.

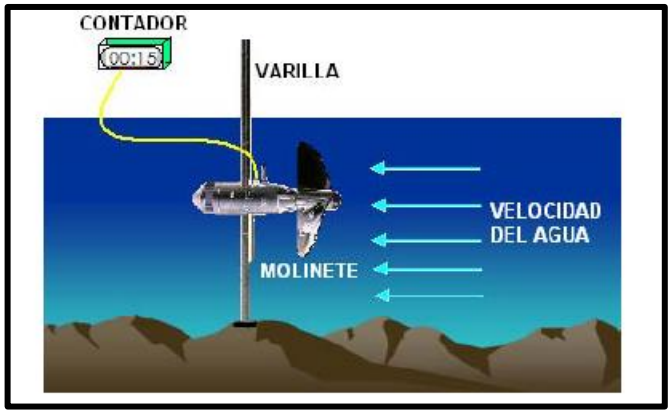

Figura 8. Correntómetro utilizado en los aforos en cauce por la Dirección de Aguas en Costa Rica.

Para Gámez (2010), la importancia de la determinación de los caudales se establece en:

- Determinar volúmenes disponibles para almacenamiento disponibles para riego, agua potable, agua industrial, turismo, actividades recreativas, etc.
- Cuantificar los caudales mínimos, en época de estiaje, necesarios para abastecimientos de agua potable o la navegación.
- Calcular las crecidas de un río, las alturas máximas a las que puede llegar y definir la radiación de poblaciones urbanas, construir defensas, zonificar áreas de riesgo hídrico con distintos usos del suelo asociados a esos riesgos, etc.

3. Metodología

3.1 Ubicación de la Subcuenca del río Quirimán

La subcuenca del río Quirimán se encuentra ubicada en los distritos de Nicoya y Belén de Nosarita, en el cantón de Nicoya perteneciente a la provincia de Guanacaste. Cartográficamente se localiza entre las coordenadas latitud 1125500 - 1105500 y longitud 324500 – 342000. Ver Figura 9.

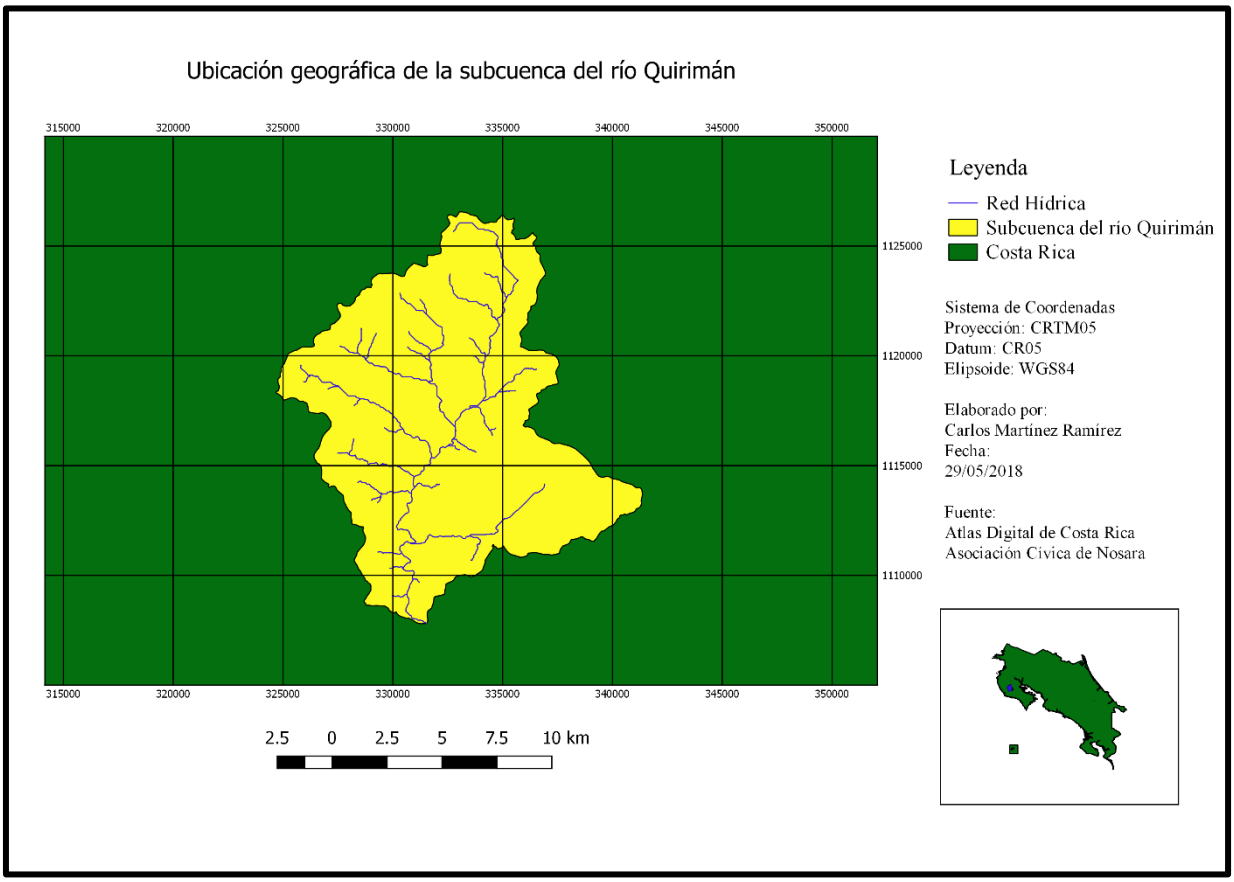

Figura 9. Ubicación espacial de la subcuenca del río Quirimán

3.2 Caracterización fisiográfica de la subcuenca del río Quirimán

Para la caracterización morfológica de la subcuenca de río Quirimán, se utilizaron en el software libre Quantum Gis (QGis) archivos tipo shape y ráster de la base de datos propia de la Comisión de Ambiente de la Comisión Cantonal de Coordinación Interinstitucional (CCCI) de la Municipalidad de Nicoya facilitados por medio de Asociación Cívica del distrito de Nosara, archivos tipo shape del Atlas Digital de Costa Rica y archivos tipo ráster del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT).

La elección de los archivos se basó en que tan actualizados se encuentran los archivos mencionados.

3.2.1 Área y perímetro de la cuenca

Se utilizó la capa tipo shape de la subcuenca del río Quirimán generada por la Asociación Cívica de Nosara en el software QGis. La misma se comparó con la capa de la subcuenca generada a partir del archivo tipo shape del Atlas Digital de Costa Rica 2014.

A partir de dicha capa se midió el área y perímetro utilizando la calculadora de la tabla de atributos de la cuenca.

3.2.2 Curva hipsométrica

Utilizando los shape de curvas de nivel con escala 1:5000, se extrajeron las curvan de nivel dentro de la subcuenca.

Dichas curvas se extrajeron del ráster del Modelo Digital de Elevaciones de la subcuenca.

Con esta información se midió el área comprendida entre curvas dentro de la subcuenca, permitiendo graficar la altitud y el dato medido de las áreas en el software Microsoft Excel.

Con esta información se trazó la curva hipsométrica en el software Microsoft Excel ploteando las altitudes contra las áreas acumuladas entre las altitudes.

3.2.3 Pendiente del cauce y de la cuenca

Utilizando el archivo tipo ráster del Modelo Digital de Elevaciones, se analizaron las cotas de la cuenca y se definió su pendiente.

Utilizando el mismo archivo y el archivo tipo shape con el cauce del río Quirimán se determinaron las cotas mayor y menor del cuerpo agua, con esta información se determinó la pendiente del cauce.

Dichos cálculos son realizados automáticamente por el software por medio de sus herramientas de análisis.

3.2.4 Modelo digital de Elevaciones

Se extrajo el Modelo Digital de Elevaciones de la cuenca del archivo tipo shape del Modelo Digital de Elevaciones de Costa Rica, según Ortiz (2016).

3.2.5 Red de drenaje

En este apartado, se utilizó el archivo tipo shape de la red hídrica de la cuenca de la subcuenca.

Se midió la longitud de cada corriente mediante el uso de las herramientas de medición del software Quantum Gis.

Se determino el orden de las corrientes analizando visualmente el archivo con la red hídrica.

Se calculó la densidad de corriente, utilizando la siguiente fórmula:

$$D_c = \frac{N_c}{A}$$

Ecuación 1. Densidad de corriente

Donde:

D_c = Densidad de corriente

N_c = Número de corrientes perennes e intermitentes

A = Área total de la cuenca, en km^2

Posteriormente, se determinó la densidad de drenaje mediante la siguiente ecuación:

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Ecuación 2. Densidad de drenaje

Donde:

D_d = Densidad de drenaje

L = Longitud total de las corrientes perennes o intermitentes en km

A = Área total de la cuenca, en km^2

Por último, se analizó el punto de aforo al que drena la subcuenca utilizando el archivo tipo shape de hidrografía en escala 1:5000 del SNIT. Con esta información se clasifica la subcuenca según su punto de drenaje.

3.3. Análisis de conflictos de uso de suelos en la cuenca

Primero, se revisó la capa de uso actual de suelo de la subcuenca, elaborada por el geógrafo Jonathan Obando para la Asociación Cívica de Nosara. Se construyó el mapa correspondiente.

Después, se utilizó el archivo tipo shape con las clases de capacidad de uso de suelo de Costa Rica para determinar la capacidad de uso de suelo de la zona de estudio con la herramienta de geoprocesamiento llamada cortar. A partir de la información obtenida, se construyó el mapa de capacidad de uso de suelo para la subcuenca del río Quirimán.

Se construyó un archivo tipo shape de conflictos de uso de suelo para el área de estudio utilizando la herramienta de geoprocesamiento vectorial llamada unión. El archivo creado se categorizó según el conflicto generado entre el uso actual y la capacidad de uso en tres tipos: Adecuado, Sobreuso y Subuso. Posteriormente se elaboró el mapa de conflicto de uso de suelo.

3.4 Determinación del potencial hídrico de la subcuenca del río Quirimán

3.4.1 Recolección de datos de caudal del río Quirimán

Desde el mes de noviembre del 2016, se realizaron aforos en el río Quirimán. Estas mediciones se realizaron en los sitios conocidos como La Chabela (en la parte media de la subcuenca) y La Virginia (parte baja de la cuenca).

Además, se cuentan con datos de aforos realizados por funcionarios del Sistema Nacional de Áreas de Conservación y la Universidad Nacional en el período de noviembre del 2015 hasta agosto del 2016 en los mismos sitios.

Sin embargo, no se cuenta con años completos de datos de medición. La principal razón de este problema es la afectación de los fenómenos climáticos conocidos como el huracán Otto y la tormenta tropical Nate.

Esta situación hizo necesaria la búsqueda de datos de precipitación y temperatura para realizar un balance hídrico y obtener datos de caudal a partir de dicho estudio.

3.4.2 Recolección de los datos de precipitación y temperatura

En este apartado, se procedió a revisar el shape de estaciones meteorológicas del Atlas Digital de Costa Rica y el visor de mapas público de la Dirección de Agua.

Se identificó una estación hidrológica dentro de la cuenca, perteneciente al Instituto Meteorológico Nacional, cuya información se solicitó mediante el oficio administrativo número DA-UHTPNON-0265-2017.

La información de la estación únicamente es del período de abril del 2016 a diciembre de 2017. Por lo tanto, se procedió a consultar información satelital de precipitación y temperatura de la subcuenca (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio 2007-2017).

Se correlacionaron los datos de distintas fuentes, para determinar cuáles son los más aceptables para realizar el estudio. Para esta correlación se utilizó la opción de regresión lineal simple del software Hidro Esta según Villón (2004).

De acuerdo con Villón (2006), la ecuación general de regresión simple es:

$$y = a + bx$$

Ecuación 3. Ecuación de regresión lineal

Donde:

x = variable independiente, variable conocida.

y = variable dependiente, variable que se trata de predecir.

a = intercepto, punto donde la línea de regresión cruza el eje y, es decir valor de y cuando x = 0.

b = pendiente de la línea o coeficiente de regresión, es decir, es la cantidad de cambio de y asociada a un cambio unitario de x.

Se obtuvieron datos de 10 años, para el lapso de enero de 2007 a diciembre de 2017.

3.4.3 Calculo de caudales de la cuenca

Utilizando el software Hidro Esta según Villón (2004) se ingresaron los datos de precipitación en milímetros por mes y de temperatura media mensual. Dicho software se basa en el método de Thornthwaite para la elaboración del balance hídrico.

El software Hidro Esta presenta el inconveniente que únicamente elabora el balance hídrico hasta la variación de la reserva de humedad en el suelo.

Para completar el balance hídrico, se utilizó el software Innersoft ISBH según Innersoft (2005). Este programa también utiliza el método de Thornthwaite para la elaboración del balance hídrico.

En este programa se ingresaron los datos de precipitación y evapotranspiración corregida obtenida del cálculo realizado por el programa Hidro Esta.

Una vez ingresados los datos, se obtiene los meses en los que hay un excedente de precipitación.

Para calcular la escorrentía se utilizó la siguiente fórmula:

$$E = \frac{1}{2}\, E_{mes\ anterior} + \frac{1}{2}\, Ex_{mes\ anterior}$$

Ecuación 4. Cálculo de escorrentía

Donde:

E=Escorrentía total del mes de análisis (mm/mes)

$E_{mes\ anterior}$= Escorrentía del mes anterior al mes de análisis (mm/mes)

$Ex_{mes\ anterior}$= Excedente de mes anterior al mes de análisis (mm)

Con el dato de escorrentía total calculado para cada mes, se procede a calcular el caudal en cada mes. Además, se multiplica el valor por un factor de conversión para obtener el valor en unidades del Sistema Internacional. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = E * A * f$$

Ecuación 5. Cálculo de Caudal para cada mes de estudio

Donde:

Q= Caudal en m^3/s

E= Escorrentía en mm/mes

A= Área de la cuenca

F= factor de conversión, si es un mes de 31 días se utiliza $3{,}74*10^{-4}$ y si es un mes de 30 días se utiliza $3{,}86*10^{-4}$

3.4.4 Determinación del potencial hídrico del río Quirimán

Con los datos de caudal recolectados y calculados, se procedió a determinar el caudal más crítico en época de estiaje.

A partir de este caudal se analizaron distintos escenarios de usos del agua utilizando como herramientas:

- Las proyecciones de población según Instituto Nacional de Estadística y Censos (2014).
- El área correspondiente para áreas de uso agrícola tal y como se encuentran en la actualidad.
- Manual de dotaciones según Dirección de Agua (2004).
- Cultivos que podrían producirse en la subcuenca del río Quirimán según

Para la dotación de una persona se utilizó un caudal de 0.003 l/s/persona, para zonas urbanas, ya que el distrito de Nicoya principalmente se encuentra en zona urbana según lo indicado por la Municipalidad de Nicoya.

3.5 Análisis económico

A partir los escenarios planteados en el apartado anterior, se analizaron los ingresos económicos que generaría a las instituciones públicas que brindan el servicio de agua.

Para estos cálculos se consultó el Canon de Aprovechamiento de Recurso Hídrico y el tarifario del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

3.6 Análisis social

En este apartado se discutió el mejoramiento de las condiciones sociales para la población que podría verse afectada por el aprovechamiento del recurso hídrico disponible del río.

3.7 Análisis ambiental

Para este análisis se discutieron los beneficios de la delimitación de la red hídrica de la cuenca y los beneficios de una segunda fuente de abastecimiento superficial para la población del distrito de Nicoya.

4. Resultados y análisis de resultados

4.1 Caracterización Morfológica

En la Figura 10, se muestra el mapa del Modelo Digital de Elevaciones para la subcuenca del río Quirimán.

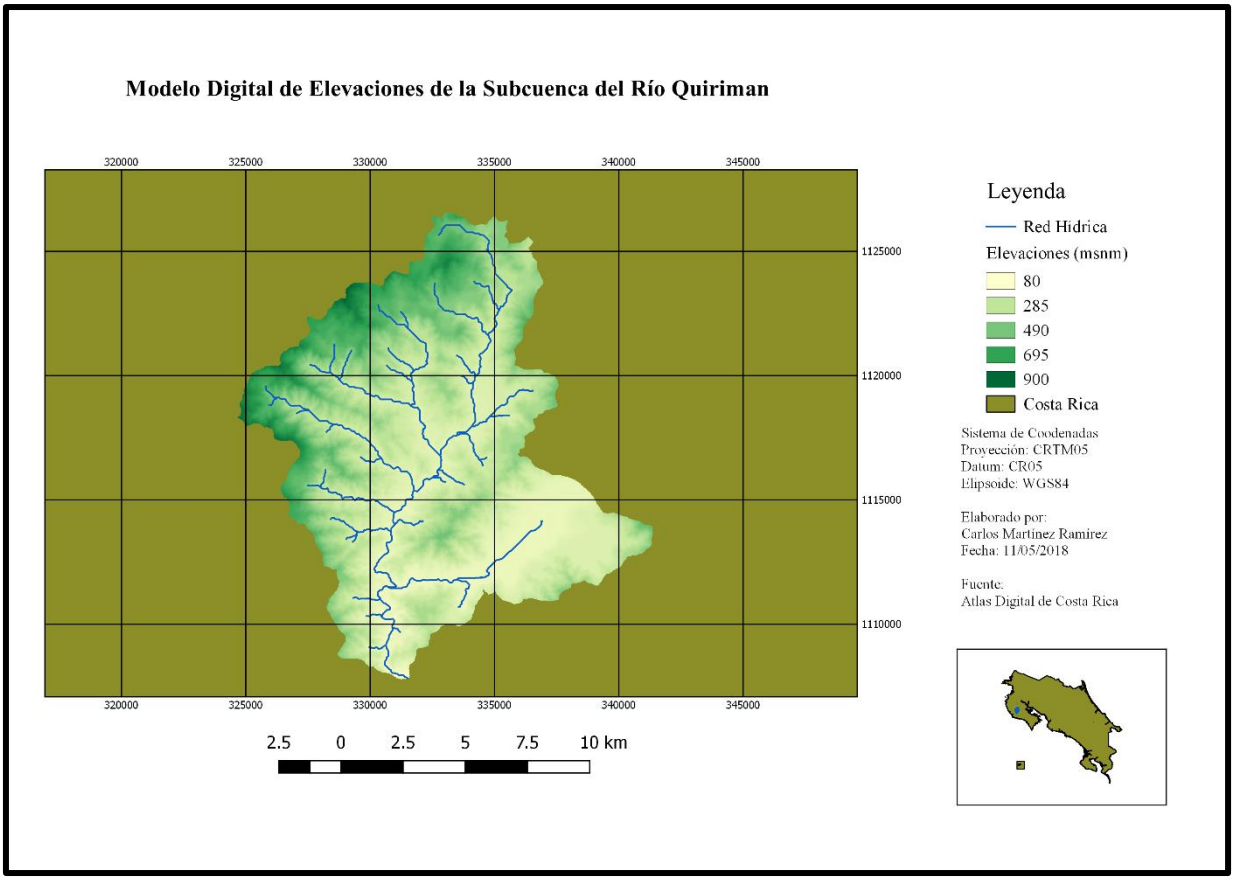

Figura 10. Mapa de Modelo digital de Elevaciones de la Subcuenca del Río Quirimán

A partir del Modelo Digital de Elevaciones se obtienen los siguientes parámetros morfológicos, indicados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Caracterización fisiográfica de la subcuenca del río Quirimán

Parámetro o indicador	Rio Quirimán
Área (A) Km^2	159,970
Perímetro (P) en Km	70,172
Longitud de la Cuenca (L) en Km	18,888
Ancho de la Cuenca, en Km	8,469
Cota Mayor del Cauce (CMc) en msnm	600
Cota Menor del Cauce (Cmc) en msnm	80
Pendiente Promedio del Cauce (So) = (Cota Mayor-Cota Menor) / L en porcentaje	27,531
Longitud del Cauce Principal (Lc) en km	29,029
Longitud del Cauce Hasta la Divisoria (Lf) en km	30,095
Cota mayor de la cuenca (CM), en msnm	900
Cota menor de la cuenca (Cm), en msnm	80
Altura media de la cuenca msnm	332,096
Orden de las corrientes	4
Densidad de Drenaje (Dd) en Km/Km2	0,612

A partir de la caracterización morfológica, tenemos que la cuenca se clasifica como exorreica debido a que drena a un río más grande como lo es el río Nosara.

Con base en su área, se clasifica como una cuenca grande.

De la medida de la longitud de sus corrientes, se puede deducir que es una bien drenada. Esto se puede confirmar analizando el valor de la densidad de drenaje, que nos indica que es una cuenca con drenaje moderado

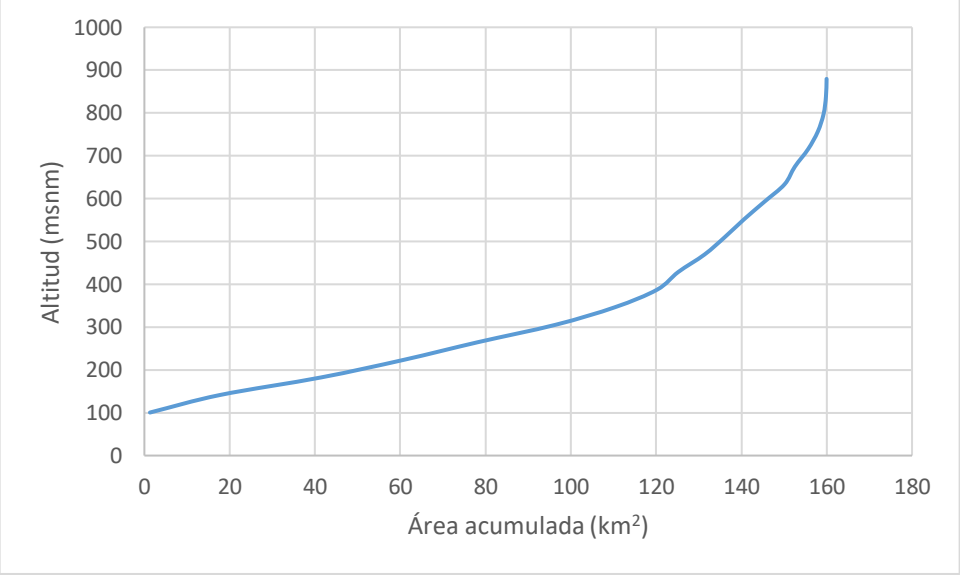

Figura 11. Curva hipsométrica de la subcuenca del río Quirimán

En la Figura 11, se observa la curva hipsométrica. De esta se puede deducir que la mayor parte de la cuenca se encuentra por encima de los 450 msnm.

Además, se tiene una cuenca con un gran potencial erosivo, ya que a mayor altitud hay más área acumulada.

4.2 Análisis de uso de suelo en la cuenca

En la Figura 12, se observa el mapa de uso de suelo actual de la cuenca.

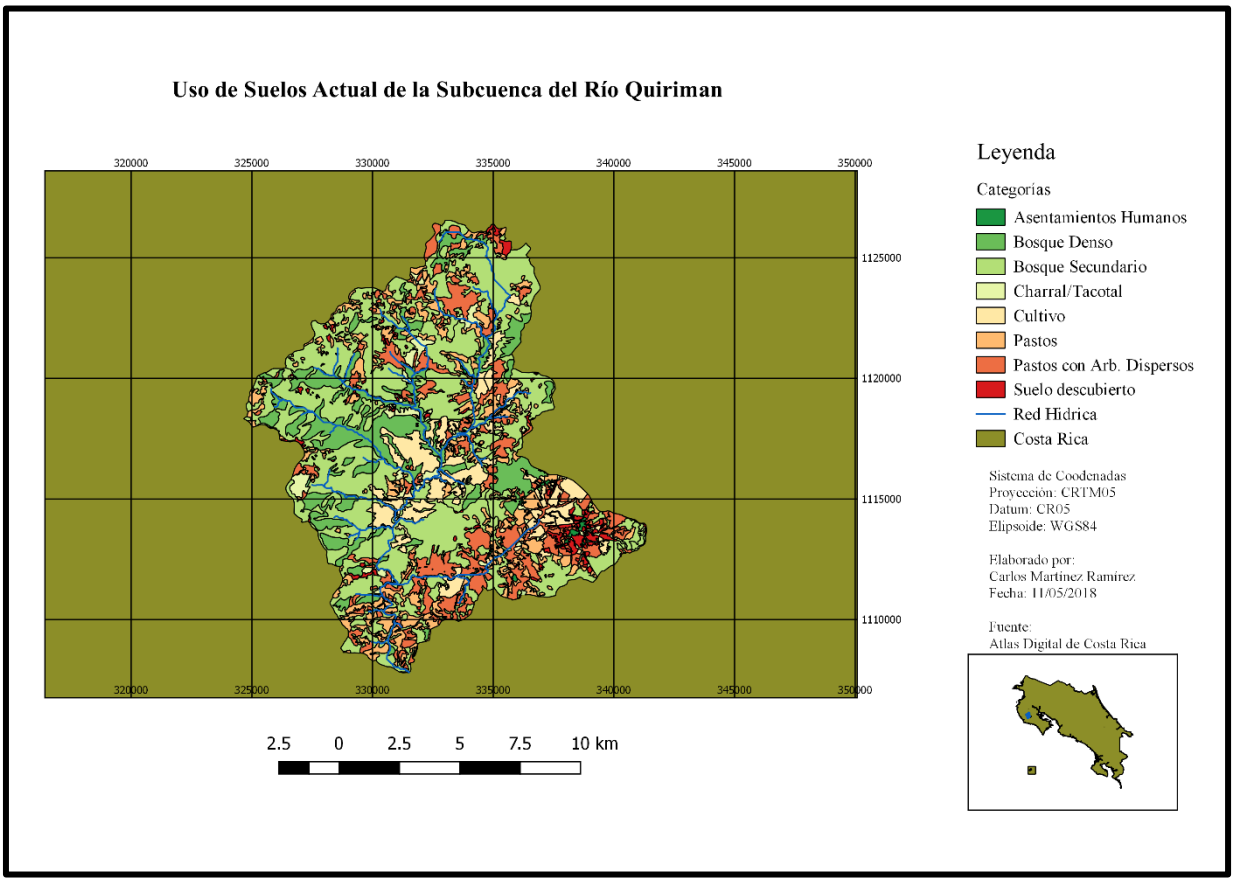

Figura 12. Mapa de uso de suelo actual de la subcuenca del río Quirimán

La mayor parte del suelo de la parte media y alta de la subcuenca se encuentra cubierto por bosque denso y secundario, esto favorece el buen drenado de la cuenca y la recarga de los cuerpos de agua.

Por otro lado, la parte baja de la subcuenca se encuentra utilizada para pastos y cultivos, lo que indica un mayor desarrollo de actividades agropecuarias en este sector.

En la Figura 13, se detallada el mapa de capacidad de uso del suelo en la subcuenca del río Quirimán.

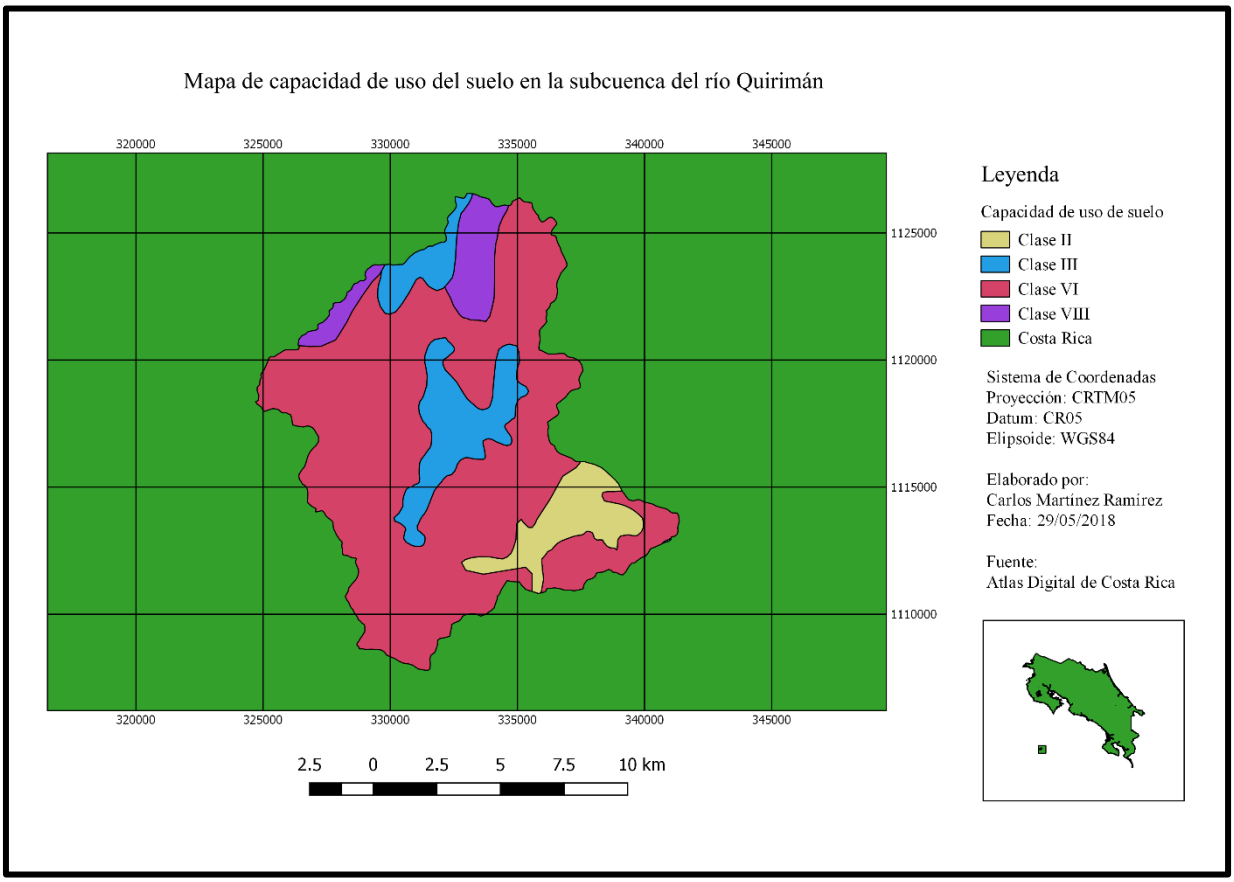

Figura 13. Capacidad de uso del suelo para la subcuenca del río Quirimán.

En la subcuenca predominan los suelos con capacidad clase VI, esto indica que es una cuenca con capacidad para desarrollo de cultivos permanentes y plantaciones forestales. En la parte alta tenemos suelos con capacidad clase III y capacidad clase VIII, siendo estos últimos de suma importancia para la recarga acuífera de la subcuenca. En la parte media también tenemos suelos con capacidad de uso de suelo clase III favoreciendo la producción de ciertos cultivos con buenas prácticas de manejo de suelo. Y en la parte baja también se tiene suelo con capacidad case II, lo que permite que este sector de la subcuenca sea ideal para el desarrollo de actividades agrícolas.

Respecto al análisis de conflicto de uso del suelo, se detallan los tipos de conflicto en la Figura 14.

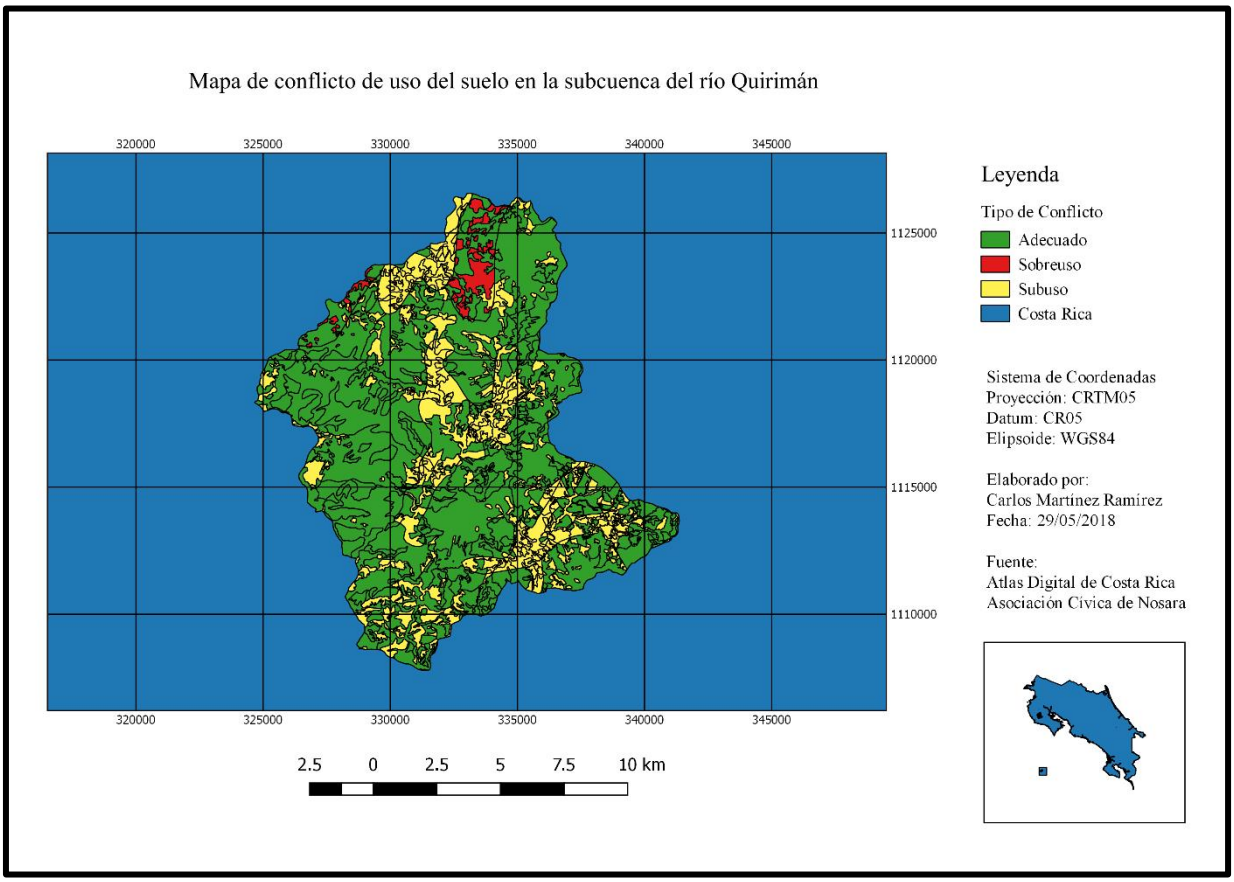

Figura 14. Conflictos de uso de suelo para la subcuenca del río Quirimán

La subcuenca del río Quirimán presenta un uso adecuado en casi toda su área de cobertura, en la parte baja presenta un subuso importante de suelo siendo esta sección donde presenta el mayor potencial para desarrollo de actividades agrícolas y agropecuarias.

Sin embargo, es importante señalar que en la parte alta de la cuenca se presenta un sobreuso importante del suelo, ya que en el área donde se presenta este conflicto se debe proteger el suelo para la recarga del principal cauce de la subcuenca, el río Quirimán. Se tiene suelos con capacidad de uso del suelo clase VIII donde debe predominar el bosque denso, pero en realidad la mayor cobertura es de pastos, lo cual es indicador de una actividad ganadera que favorece la erosión de los suelos y la poca recarga de los cuerpos de agua.

4.3 Correlación de datos de precipitación y temperatura

El coeficiente de correlación de los datos de precipitación entre los datos de la estación de Dulce Nombre de Nicoya del Instituto Meteorológico Nacional y los datos de la base Giovanni de la Agencia Aeroespacial Norteamericana es de 92 por ciento. Mientras que para los datos de temperatura de 94 por ciento.

Por lo que se puede utilizar sin problema para los balances hídricos, en este caso para un período de 10 años.

Estos datos se encuentran en la sección de anexos, específicamente en el Anexo 1.

4.4 Caudal disponible en el río Quirimán

Se obtuvieron los caudales medidos y calculados a partir de aforos realizados en el río Quirimán (ver Anexo 2) y los balances hídricos para un lapso de 10 años ver Cuadro 2.

Cuadro 2. Balance hídrico para el período 2007-2017

2007	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
P	19.13	7.06	11.53	94.19	357.37	277.12	260.54	502.16	404.79	701.22	100.98	51.65
T	28.5	28.6	29.4	28.8	27.5	26.7	27.1	26.4	26.3	25.6	25.8	26.2
Exc	0	0	0	0	92.958	133.691	105.468	363.763	274.844	584.54	0	0
Esc	0	0	0.000	0.000	46.479	90.085	97.777	230.770	252.807	418.673	209.337	104.668
Q	0	0	0.000	0.000	0.430	0.861	0.905	2.136	2.418	3.875	2.002	0.969
2008	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
P	16.35	29.12	19.49	60.67	353.29	338.74	307.11	558.63	435.5	447.79	104	22.45
T	27.1	27.7	28.9	28.7	27.8	26.9	26.5	26.4	26.3	25.9	25.8	26
Exc	0	0	0	0	81.428	190.38	164.53	419.438	304.762	324.638	0	0
Esc	0	0	0.000	0.000	40.714	115.547	140.039	279.738	292.250	308.444	154.222	77.111
Q	0	0	0.000	0.000	0.377	1.105	1.296	2.589	2.795	2.855	1.475	0.714
2009	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
P	14.14	6.07	6.14	5.45	285.64	310.08	152.61	225.14	186.56	235.5	123.88	30.05
T	26.9	27.6	28	29.2	28.4	27.2	27.6	27.9	28.1	27.1	27	28.4
Exc	0	0	0	0	0	155.547	0	39.873	17.62	90.4	0	0
Esc	0	0	0.000	0.000	0.000	77.774	38.887	39.380	28.500	59.450	29.725	14.862
Q	0	0	0.000	0.000	0.000	0.744	0.360	0.364	0.273	0.550	0.284	0.138
2010	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
P	9.2	6.82	9.41	241.45	323.83	333.44	386.41	478.49	371.41	199.91	236.8	25.74
T	28.4	29.3	29.6	29.6	28.3	26.9	26.6	26.3	25.9	26.2	25.4	25.1
Exc	0	0	0.000	0.000	70.313	185.852	242.662	342.417	249.441	72.166	128.441	0.000
Esc	0	0	0.000	0.000	35.157	110.504	176.583	259.500	254.471	163.318	145.880	72.940
Q	0	0	0.000	0.000	0.325	1.057	1.634	2.402	2.434	1.511	1.395	0.675
2011	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
P	8.29	7.54	25.3	40.47	163.78	310.73	301.69	254.67	256.41	323.19	80.04	32.25
T	27.1	28.3	28.6	29	28.4	27.1	26.6	27	26.7	25.6	26	26.1
Exc	0	0	0	0	0	58.448	157.613	103.195	118.291	206.355	0	0
Esc	0	0	0.000	0.000	0.000	29.224	93.419	98.307	108.299	157.327	78.663	39.332

Q	0	0	0.000	0.000	0.000	0.279	0.865	0.910	1.036	1.456	0.752	0.364
2012	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
P	15.1	4.07	0	68.58	284.74	251.78	171.68	266.68	341.73	257.65	52.22	28.06
T	27.1	27.9	28.8	28.8	28.4	27.5	27.8	27.5	27.1	26.5	26.8	28
Exc	0	0	0	0	0	88.884	0.519	104.585	196.343	125.189	0	0
Esc	0	0	0.000	0.000	0.000	44.442	22.481	63.533	129.938	127.563	63.782	31.891
Q	0	0	0.000	0.000	0.000	0.425	0.208	0.588	1.243	1.181	0.610	0.295
2013	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
P	5.28	0.13	4.52	52.42	348.28	177.02	223.14	303.32	337.89	326.88	124.04	18.22
T	28.6	28.5	28.7	29.2	27.9	27.1	26.9	26.6	26.3	26.5	26.5	26.9
Exc	0	0	0	0	74.302	25.371	73.228	161.437	208.752	193.689	0	0
Esc	0	0	0.000	0.000	37.151	31.261	52.245	106.841	157.796	175.743	87.871	43.936
Q	0	0	0	0	0.344	0.299	0.484	0.989	1.509	1.626	0.840	0.407
2014	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
P	9.59	0.87	0.27	72.22	172.48	194.53	156.70	275.60	575.29	354.94	165.37	19.45
T	27.80	28.40	29.30	29.60	28.50	28.00	28.60	28.00	26.90	26.60	26.50	26.40
Exc	0	0	0	0	0	0	0	1.16	434.99	221.16	38.87	0.00
Esc	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.580	217.785	219.471	129.171	64.585
Q	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	2.083	2.031	1.235	0.598
2015	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
P	7.41	12.06	6.72	32.61	86.72	227.76	191.11	203.11	291.74	215.97	188.14	16.57
T	27.5	28.2	29	29.9	29.3	28.2	28.1	28.4	27.9	27.4	27.2	28.2
Exc	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	110.06	65.42	48.08	0.00
Esc	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	55.028	60.221	54.150	27.075
Q	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.526	0.557	0.518	0.251
2016	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
P	17.5	3.6	3.5	12.8	482.2	297.2	166.8	301.4	434.0	476.0	132.6	123.4
T	28.6	29.1	29.9	27.0	26.9	25.4	25.4	25.6	24.9	24.9	24.7	25.1
Exc	0	0	0	0	230.031	176.519	43.842	175.979	326.141	368.141	32.029	15.555
Esc	0	0	0	0	115.016	145.767	94.805	135.392	230.766	299.454	165.741	90.648

Q	0	0	0	0	1.064	1.394	0.877	1.253	2.207	2.771	1.585	0.839
2017	**Enero**	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**	**Junio**	**Julio**	**Agosto**	**Septiembre**	**Octubre**	**Noviembre**	**Diciembre**
P	2.0	0	0	119.8	601.2	336.0	425.0	329.6	682.8	791.6	59.2	38.0
T	25.2	26.3	27.5	27.3	25.1	25.0	24.9	25.0	24.5	24.5	24.6	25.9
Exc	0	0	0	0	389.143	225.455	315.954	219.055	579.603	688.403	0.000	0.000
Esc	0	0	0	0	194.572	210.013	262.984	241.019	410.311	549.357	274.679	137.339
Q	0	0	0	0	1.801	2.008	2.434	2.231	3.924	5.084	2.627	1.271

*En donde precipitación se denota “P” en milímetros, temperatura “T” en grados Celsius, excedente “Exc”, escorrentía “Esc” y caudal “Q” en metros cúbicos por segundo. En rojo se marcan los caudales críticos de cada año.

En el Cuadro 3, se detallan los caudales a utilizar para el análisis de escenarios. A partir de este apartado se trabajó en litros por segundo por la dimensión de los caudales

Cuadro 3. Caudales para análisis de escenarios, en L/s

Caudal medido	Caudal calculado	Caudal medido considerando un 20 por ciento de caudal ambiental	Caudal calculado considerando un 20 por ciento de caudal ambiental
48	5	38	4

Por lo tanto, el caudal medido es de 38 L/s y el calculado es de 4 L/s.

4.4.1 Escenarios de estudio

Se determinaron tres escenarios de estudio para los caudales determinados: consumo humano, agricultura y ganadería.

4.4.1.1 Uso poblacional

En el Cuadro 4, se presenta el estudio a partir del caudal medido en los aforos y la única concesión de agua superficial para consumo humano de la ciudad de Nicoya.

Cuadro 4. Análisis de escenario para consumo humano, a partir del caudal medido en el río Quirimán

Datos de análisis para cada año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Población	26216	26454	26693	26919	27131	27340	27543	27744
Caudal necesario	79	79	80	81	81	82	83	83
Caudal Concesionado en el río Potrero	80	80	80	80	80	80	80	80
Caudal Medido en el río Quirimán	38	38	38	38	38	38	38	38
Caudal Disponible de ambos ríos	118	118	118	118	118	118	118	118
Déficit después de Cobertura de Necesidades	39	39	38	37	37	36	35	35

Como se puede observar, según las proyecciones de población de INEC, el caudal del río Quirimán no alcanza para abastecer la población del distrito Nicoya. Solo se podría abastecer la mitad de la población aproximadamente.

Además, la concesión del río Potrero presenta un déficit a partir del año 2021.

Si se suman ambos caudales se podría abastecer sin problema la población del distrito de Nicoya sin problema por lo menos hasta el año 2025.

Cuadro 5. Análisis de escenario para consumo humano, a partir del caudal calculado en el río Quirimán

Datos de análisis para cada año	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Población	26216	26454	26693	26919	27131	27340	27543	27744
Caudal necesario	79	79	80	81	81	82	83	83
Caudal Concesionado en el río Potrero	80	80	80	80	80	80	80	80
Caudal Calculado en el río Quirimán	4	4	4	4	4	4	4	4
Caudal Disponible de ambos ríos	84	84	84	84	84	84	84	84
Déficit después de Cobertura de Necesidades	5	5	4	3	3	2	1	1

En el Cuadro 5, se observa el mismo estudio del Cuadro 4, con base en el caudal calculado.

Si utiliza este dato también se podría abastecer el distrito de Nicoya hasta el año 2025.

4.4.1.2 Uso agrícola

En base a la altitud media de la cuenca de 332 msnm y el área cultivada medida del mapa de uso de suelos actual, se calculó que cultivos se pueden sembrar en el sitio de estudio.

Cuadro 6. Análisis de cuanta área de cultivo se puede regar con el caudal medido del río Quirimán

Cultivo	Área	Caudal por km2	Caudal Medido	50 % de área	75 % de área	90 % de área	100 % de área
Aguacate	8,5	3,8	38	22	14	9	**6**
Algodón	8,5	4,7	38	18	8	**2**	-2
Arroz	8,5	7,6	38	**6**	-10	-20	-27
Caña de Azúcar	8,5	6,2	38	**12**	-2	-9	-15
Cítricos	8,5	4,3	38	20	11	5	**1**
Frutales	8,5	7,2	38	**7**	-8	-17	-23
Maíz	8,5	6,5	38	**10**	-3	-12	-17
Melón	8,5	5,1	38	16	**5**	-1	-5
Tomate	8,5	5,1	38	16	**5**	-1	-5

En el Cuadro 6, se puede apreciar que solo se podría cubrir el área total de cultivo en la cuenca (8,5 km^2) si se produjera aguacate y cítricos.

Solo se podría satisfacer la cobertura de un 90 por ciento de siembra de algodón en el área cultivable.

El 75 por ciento del área cultivable de la cuenca se podría sembrar con melón y tomate.

Por último, el 50 por ciento del área cultivable de la cuenca podría cubrirse con siembra de arroz, caña de azúcar, frutales y maíz.

Cuadro 7. Análisis de cuanta área de cultivo se puede regar con el caudal calculado del río Quirimán

Cultivo	Área	Caudal por km2	Caudal Calculado	50 % de área	75 % de área	90 % de área	100 % de área
Aguacate	8,5	3,8	4	-12	-20	-25	-28
Algodón	8,5	4,7	4	-16	-26	-32	-36
Arroz	8,5	7,6	4	-28	-44	-54	-61
Caña de Azúcar	8,5	6,2	4	-22	-36	-43	-49
Cítricos	8,5	4,3	4	-14	-23	-29	-33
Frutales	8,5	7,2	4	-27	-42	-51	-57
Maíz	8,5	6,5	4	-24	-37	-46	-51
Melón	8,5	5,1	4	-18	-29	-35	-39
Tomate	8,5	5,1	4	-18	-29	-35	-39

En el Cuadro 7, se realizó el mismo análisis. Sin embargo, en este caso no podría cubrirse ninguno de los escenarios planteados.

4.1.4.3 Uso agropecuario

Con base a las dotaciones de la Dirección de Agua, se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro 8. Disponibilidad para actividades agropecuarias según el caudal medido en el río Quirimán

Especie	Dotación (m^3/s)	Caudal Medido	Cobertura para 1000 animales	Cobertura para 5000 animales	Cobertura para 10000 animales
Lechería	1.50E-06	38	36	30	**23**
Porquerizas	7.52E-07	38	37	34	**30**
Matadero Vacuno	3.47E-05	38	**3**	-136	-309
Matadero Aves	2.31E-05	38	**15**	-78	-193

Del Cuadro 8, se deduce que se podrían instalar lecherías y porquerizas de hasta 10000 animales.

Además, se podrían instalar mataderos para la producción de carne de res y pollo con capacidad de hasta 1000 animales.

Cuadro 9. Disponibilidad para actividades agropecuarias según el caudal calculado del río Quirimán

Especie	Dotación	Caudal Medido	Cobertura para 100 animales	Cobertura para 500 animales	Cobertura para 1000 animales	Cobertura para 5000 animales
Lechería	1.50E-06	0.005	0.005	0.004	**0.003**	-0.003
Porquerizas	7.52E-07	0.005	0.005	0.005	0.004	**0.001**
Matadero Vacuno	3.47E-05	0.005	**0.002**	-0.012	-0.030	-0.169
Matadero Aves	2.31E-05	0.005	**0.003**	-0.007	-0.018	-0.111

En el Cuadro 9, a partir del caudal calculado se podrían instalar lecherías con capacidad para 1000 animales aproximadamente y porquerizas con capacidad para 5000 animales.

Además, se podrían instalar mataderos de vacas y pollos con capacidad de 100 animales.

4.5 Análisis económico

A partir de los escenarios planteados, en la Tabla 7, se detallan los ingresos que se generarían por el cobro del canon de aprovechamiento de aguas a corto (2 años), mediano (5 años) y largo plazo (10 años).

Cuadro 10. Ingresos máximos generados por la explotación del recurso hídrico del río Quirimán

Uso	Caudal máximo a otorgar en L/s	Ingresos a corto plazo en colones	Ingresos a mediano plazo en colones	Ingresos a largo plazo en colones
Consumo humano	38	3.499.235	8.748.087	17.496.173
Agrícola	10	75.686	189.216	378.432
Agropecuario	30	2.440.886	6.102.216	12.204.432

Al analizar la información generada en el Cuadro 10, el otorgar una concesión para consumo humano o actividades agropecuarias generaría un ingreso millonario de recursos para la Dirección de Agua, considerando el hecho de que no hay concesiones otorgadas sobre este río se daría un incremento exponencial importante de los ingresos generados por este río para la institución.

Si se analizan detalladamente el escenario planteado para uso agrícola, se tiene que esas áreas subutilizadas podrían sembrarse con cultivos de bajo impacto como frutales, lo cual garantizaría el uso adecuado del suelo.

La inversión que un productor debe de realizar para cubrir las necesidades de agua de sus cultivos en mínima con base en el pago de una concesión, ya que como se observa en 10 años representa solo 378.432 colones, por lo que podría invertir en sistemas de riego más eficientes que aumenten su producción y labores de conservación de suelos.

El cultivo de maíz en la cuenca también puede generar una fuente de ingreso importante, considerando que la producción de alimentos a base de esta planta es característica del cantón de Nicoya.

También se debe tomar en cuenta, el proyecto del Mercado Chorotega, el cual reunirá productores de toda la provincia de Guanacaste, por lo que la subcuenca del río Quirimán podría generar insumos para que productores del cantón puedan aprovechar este espacio y aumentar sus ingresos económicos.

Otro aspecto importante, para considerar en este análisis, es el mapa generado de conflictos de usos de suelo. La subcuenca del río Quirimán tiene un potencial para el desarrollo de cultivos agrícolas en su parte media y baja, lo cual generaría un importante ingreso económico para la población, no solo de la zona de estudio sino también de las comunidades vecinas a la subcuenca.

Este potencial, no está siendo aprovechado al máximo en la subcuenca, ya que un porcentaje importante del área de la parte baja y media esta subutilizado. Es importante que instituciones como el Ministerio de Agricultura y Ganadería, las Asociaciones de Desarrollo Comunal dentro

de la cuenca y el Instituto Nacional de Desarrollo Rural, impulsen el desarrollo de actividades agrícolas.

Continuando con el análisis, tomando como base el mapa de conflictos de uso de suelo, se puede determinar un valor agregado para las tierras ubicadas dentro de las áreas subutilizadas, esto puede facilitar inclusive su venta para que productores medianos o grandes inviertan en estos lugares, lo cual generaría más ingresos económicos en el sistema económico de la cuenca.

Por último, el potencial para cultivos forestales que presenta la subcuenca, la convierte en apta para la participación en el Programa de pago de Servicios Ambientales del Ministerio de Ambiente y Energía, lo que puede generar otro tipo de ingreso económico.

4.6 Análisis social

Según el Programa para el Desarrollo de las Naciones Unidas (2011), el índice de desarrollo social constituye la evaluación de la infraestructura educativa y educación, parámetros de salud, mortalidad infantil, consumo de electricidad y partos de madres solteras. Para Nicoya, es de 39,1 lo cual se encuentra por debajo de lo esperado, ya que, para poder expresar un adecuado desarrollo social, este índice debe estar entre 75 y 100.

La mayoría de los poblados dentro de la cuenca en estudio, son de poca población y con acceso limitado a los servicios sociales como salud, educación, recolección de desechos y seguridad.

Inclusive, la subcuenca de río Quirimán presenta un desarrollo social tan bajo que no es prioridad para ser incluida dentro del Plan Regulador del Cantón, ya que las proyecciones de crecimiento poblacional del Departamento de Planificación Territorial de la Municipalidad de Nicoya son mínimas.

El desarrollo económico por medio de actividades agrícolas y agropecuarias trae consigo una mayor generación de fuentes de empleo que implica un posible incremento poblacional. Esto trae consigo que las instituciones gubernamentales deban invertir más en aspectos como mejoramiento de los servicios de salud, educación y seguridad provocando que el índice de desarrollo social para el distrito y el cantón de Nicoya mejore.

Otro aspecto social importante, es la preservación cultural de comidas típicas a base de maíz, un producto que puede ser producido sin problema dentro de la cuenca como ya se mencionó en el estudio de escenarios de producción agrícola. Fomentado así la idiosincrasia de la población nicoyana.

4.7 Análisis Ambiental

El ordenamiento territorial es un proceso técnico, administrativo y político que sirve de base para poder llevar a cabo una adecuada planificación, una ocupación ordenada del territorio y un aprovechamiento y utilización sostenible de los recursos naturales y del espacio territorial de una microcuenca, subcuenca, cuenca, región o un país. El ordenamiento territorial debe ser el resultado de una verdadera concertación con los actores que operan o que tienen algo que ver con la microcuenca, subcuenca, cuenca, región o país : actores sociales, políticos, institucionales, culturales, económicos y técnicos; además, dicha concertación debe tener como base los recursos naturales con que se cuenta en el espacio físico, las condiciones ambientales, sociales, culturales y económicas propias de la zona y que deben aprovecharse de tal forma que permitan lograr un desarrollo sostenible en todas sus áreas y con los mínimos impactos ambientales negativos que podrían ocasionar las diversas actividades y procesos de desarrollo que se puedan llevar a cabo. (Vásquez, y otros, 2016)

Como ya se ha mencionado, el cantón de Nicoya carece de un plan regulador y la subcuenca del río Quirimán no está contemplada en la elaboración de este por su bajo desarrollo poblacional. Esto provocar un uso inadecuado del recurso suelo y un desarrollo sin control.

A partir del mapa de uso de suelo, se puede tener certeza de los usos de suelo que se están dando en la subcuenca. Esto permitirá a la Municipalidad de Nicoya analizar mejor los permisos de uso de suelo en el territorio de estudio.

Esto es de suma importancia, ya que como se ha analizado en este documento la subcuenca presenta una alta capacidad erosiva lo que hace necesario una cobertura adecuada de los suelos para evitar desastres naturales como deslizamientos o inundaciones que puedan afectar a la población de la subcuenca.

Otro factor por considerar es el sobreuso que se está dando en las partes altas de la subcuenca poniendo en riesgo la preservación de las zonas de posible recarga acuífera de la misma.

Además, con la delimitación de la red hídrica, tanto la Municipalidad de Nicoya como el Ministerio de Ambiente y Energía podrán velar por que se respeten las áreas de protección de los cauces de agua en la subcuenca.

En este trabajo, se ha demostrado el potencial hídrico que posee esta cuenca, considerando el hecho de que no se cuentan con concesiones superficiales en el río Quirimán, se debe apostar por explotar más el agua superficial para preservar las aguas subterráneas dentro de la subcuenca. Esto es de suma importancia, ya que Guanacaste es una provincia afectada constantemente por fenómenos de sequía.

Siguiendo con el tema del potencial hídrico de la subcuenca, el 50 por ciento de los ingresos generados por el aprovechamiento del recurso hídrico superficial, según el artículo 14 del Canon de Aprovechamiento de Aguas, deberán ser invertidos para la protección del recurso hídrico dentro de la subcuenca del río Quirimán, lo que facilitaría el desarrollo de estudios y programas ambientales que garanticen la protección del agua.

5. Conclusiones y recomendaciones

Del presente trabajo, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. La subcuenca del río Quirimán presenta un alto potencial erosivo, sin embargo, esto se ve contrarrestado por una capacidad moderada de drenaje y una gran cobertura boscosa.
2. En la parte alta de la cuenca se presenta un sobreuso del suelo que debe protegerse para la recarga acuífera.
3. La subcuenca del río Quirimán presenta un gran potencial para el desarrollo de cultivos en su parte media y baja.
4. El río Quirimán cuenta con un potencial hídrico para satisfacer demandas para el desarrollo de actividades agrícolas y agropecuarias
5. El abastecimiento de agua potable para el distrito de Nicoya se puede asegurar hasta el año 2025 si se explota el río Quirimán con este fin.
6. Se cuenta con una herramienta para una mejor gestión del uso de suelo para la Municipalidad de Nicoya, por medio del mapa de conflicto de uso de suelo.

En cuanto a las recomendaciones, se detalla lo siguiente:

1. Velar por el cumplimiento de las zonas de protección del río Quirimán y cuerpos de agua identificados en la subcuenca.
2. Promover el desarrollo del plan regulador del cantón Nicoya, que permita un mejor ordenamiento territorial y protección de los recursos naturales.
3. Promover la reforestación de la parte alta de la cuenca para mejorar las condiciones hidrológicas de la cuenca.

6. Bibliografía

Bibliografía

Alvarado, L. (s.f.). *Instituto Meteorológico Nacional.* Recuperado el 25 de Mayo de 2018, de Instituto Meteorológico Nacional: https://www.imn.ac.cr/instrumentos

Aparicio, J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie.* México: LIMUSA S.A.

Breña, A. F., & Jacobo, M. A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial.* Distrito Federal.

Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233.* Cochabamba.

Chavarría, M. I., & Noches, L. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 Informe Nacional Costa Rica.* Roma.

Cubero, D. (2001). *Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras.* San José: Araucaria.

Dirección de Agua. (20 de Mayo de 2004). Manual Técnico del Departamento de Aguas. *La Gaceta*, pág. 24.

Fallas, J. (2017). *Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones.* Universidad Nacional de Costa Rica.

Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico.* Zaragoza: Water Assessment & Advisory Global Network.

Felicísimo, Á. (1994). *Modelos digitales del terreno: Introducción en aplicaciones en las ciencias ambientales.* Oviedo: Pentalfa Ediciones.

Gámez, W. (2010). *Texto básico de hidrología.* Managua: Editronic, S.A.

Instituto Nacional de Estadistica y Censo. (2014). *Estimaciones demográficas 2011-2025.*

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *Guía para la descripción de suelos* . Roma.

Servicio Geólogico de los Estados Unidos. (10 de Abril de 2018). *USGS Science for a changing world*. Obtenido de La Ciencia del Agua para Escuelas: https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html

Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., . . . Alcántara, J. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas.* Lima: Fondo Editorial-UNALM.

Villón, M. (2004). HidroEsta (Version 1) [Windows]. Cartago: MaxSoft.

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

Villón, M. (2006). *Hidrología Estadística* . Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

World Vision. (2004). *Manual de Manejo de Cuencas.* San Salvador: World Vision. Recuperado el Agosto de 2017

7. Anexos

Anexo 1. Correlación de datos de Precipitación y Temperatura

Resultados de Correlación de datos de Temperatura del IMN y la aplicación Giovanni de la NASA

Cálculos con ecuaciones de regresión lineal simple, admite valores negativos o 0

Pares de datos X, Y:

Par	X	Y
1	27.0	29.7
2	26.9	28.9
3	25.4	27.3
4	25.4	27.4
5	25.6	27.3
6	24.9	26.9
7	24.9	26.4
8	24.7	26.1
9	25.1	26.2
10	25.2	26.7
11	26.3	28.1
12	27.5	29.1
13	27.3	29.3
14	25.1	27.3
15	25.0	27.1
16	24.9	27.3
17	25.0	27.0
18	24.5	26.8
19	24.5	26.5
20	24.6	26.5

Ecuaciones de ajuste de pares de datos:

Tipo	Ecuación	R	R^2
Lineal	Y = 0.80021 + 1.04334 * X	0.93916	0.88202

Resultados de Correlación de datos de Temperatura del IMN y la aplicación Giovanni de la NASA

Cálculos con ecuaciones de regresión lineal simple, admite valores negativos o 0

Pares de datos X, Y:

Par	X	Y
1	0.4267	1.6732
2	15.5548	8.3454
3	9.9067	9.8599
4	5.3806	6.1155
5	9.7226	10.2774
6	14.4667	9.9949
7	15.3548	8.2273
8	4.42	5.215
9	3.9806	2.7468
10	0.0645	0.553
11	0.0	0.1456
12	0.0	0.0867
13	3.9933	4.5377
14	19.3935	15.9542
15	11.2	8.4027
16	13.7097	7.7077
17	10.6323	9.5074
18	22.76	12.9704
19	25.5355	14.0575
20	1.9733	2.9026

Ecuaciones de ajuste de pares de datos:

Tipo	Ecuación	R	R^2
Lineal	Y = 1.7531 + 0.55296 * X	0.92447	0.85464

Anexo 2. Registros de caudal medido en el río Quirimán

Sitio	Año: 2016											
	Caudal medido por mes (m3/s)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
La Chabela	0.055	0.105	0.176	0.229	0.077	1.813	0.378	0.639	0.000	0.000	0.556	0.331
La Virginia	0.399	0.048	0.090	0.062	3.957	1.496	1.263	1.253	2.207	2.771	2.467	1.545

Sitio	Año: 2017											
	Caudal medido por mes (m3/s)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
La Chabela	0.135	0.000	0.035	0.000	0.253	0.000	0.451	1.066	1.760	0.000	0.000	0.000
La Virginia	0.632	0.000	0.103	0.000	0.546	2.008	1.932	1.647	3.924	5.084	2.627	1.271

Sitio	Año: 2018											
	Caudal medido por mes (m3/s)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
La Chabela	0.0564	0.0376	0.0227	0.0484	0	0	0	0	0	0	0	0
La Virginia	0.1882	0.1179	0.0751	0.0705	0	0	0	0	0	0	0	0