



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA RECURSOS NATURALES**  
**RENOVABLES**

**“IDENTIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE ZONAS DE RECARGA DE LAS**  
**FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA COMUNA LA ESPERANZA,**  
**PROVINCIA DEL CARCHI”**

**AUTORA:**

KATHERYNE FERNANDA HERRERA JIMÉNEZ

**DIRECTOR:**

Ing. Oscar Rosales MSc.

**COMITÉ LECTOR:**

Ing. Gladys Yaguana MSc.

Ing. Mónica León MSc.

Ing. Paúl Arias MSc.

**AÑO:**

2017

**LUGAR DE INVESTIGACIÓN:**

Provincia del Carchi – Ecuador

**BENEFICIARIOS:**

Comuneros de la parroquia de Tufiño y pobladores de la ciudad de Tulcán de la provincia del Carchi

## HOJA DE VIDA



**APELLIDOS:** Herrera Jiménez

**NOMBRES:** Katheryne Fernanda

**C. CIUDADANÍA:** 110423999-9

**TELÉFONO CONVENCIONAL:** (06) 2631-832

**TELÉFONO CELULAR:** 0939608411

**CORREO ELECTRÓNICO:** ferhj22@gmail.com

**DIRECCIÓN:** Imbabura, Ibarra, San Francisco, La Florida, Los Tulipanes y Amapolas,  
10-1

**AÑO:** 03 de marzo, 2017

**DATOS DE LA EMPRESA DONDE TRABAJA:** Unidad Educativa San Juan Diego

**Dirección:** Imbabura, Ibarra, San Francisco, Yacucalle, Secundino Peñafiel y  
Ricardo Sánchez

**Teléfono:** (06) 2 585-787

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**HERRERA JIMÉNEZ KATHERYNE FERNANDA.**  
Identificación hidrológica de zonas de recarga de las fuentes de abastecimiento de agua de la comuna La Esperanza, provincia del Carchi.

### TRABAJO DE GRADO

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC. Marzo 2017.

**DIRECTOR:** Ing. Oscar Rosales MSc.

Las zonas de recarga hídrica son las áreas donde el agua se infiltra, permitiendo así la recarga de los acuíferos superficiales y confinados, los cuales al saturarse se descargan en manantiales, drenajes menores, y ríos que son los espacios donde afloran las aguas subterráneas. Una de las principales causas del deterioro de las zonas de recarga, es el desconocimiento de la ubicación y de las características de las áreas con infiltración de agua proveniente de las precipitaciones. Por lo cual, este estudio se realizó con la finalidad de identificar zonas potenciales de recarga hídrica en la comuna Pasto La Esperanza en la provincia del Carchi, para establecer, participativamente, estrategias de manejo sustentable que permitan proteger dichas áreas.

03 de Marzo, 2017



Ing. Oscar Rosales MSc.

**Director de Trabajo de Grado**



Katherine Fernanda Herrera Jiménez

**Autora**

## RESUMEN

La Comuna Pasto La Esperanza en la provincia del Carchi, cuenta con estudios puntuales sobre el recurso agua dentro de sus límites comunales; sin embargo, no se dispone de información acerca de zonas potenciales de recarga hídrica en dicho territorio. El presente estudio se realizó con la finalidad de identificar zonas potenciales de recarga hídrica para establecer, participativamente, estrategias de manejo sustentable que permitan proteger dichas áreas. Para lo cual, se generaron capas de información de litología, pendientes del terreno, cobertura vegetal, uso del suelo, tipos de suelo, textura del suelo, precipitación y evapotranspiración, que mediante la técnica de álgebra de mapas en el software ArcGIS y los criterios del método RAS (Recarga de Agua Subterránea), se identificaron 4 categorías de zonas potenciales de recarga: Baja, Moderada, Alta y Muy Alta. Finalmente, se elaboraron cinco estrategias de manejo sustentable de las zonas potenciales de recarga hídrica, con la participación de los actores locales, con el fin de aprovechar adecuadamente el recurso hídrico

**Palabras clave:** recarga hídrica, zonas potenciales, agua, estrategias.

## SUMMARY

The Pasto La Esperanza Commune in Carchi province, has some studies of its water resource within its communal limits. However, it does not have available information about potential areas of water recharge in that territory. This study was carried out with the purpose to identify potential areas of water recharge to establish in a participatory way, it means, sustainable management strategies to protect these areas. For this purpose, layers of lithology information, pending terrain, vegetation cover, soil use, types of soil, soil texture, precipitation and evapo-transpiration were generated, applying the ArcGIS software and using the criteria of the RAS (Groundwater Recharge) method, four categories of potential recharge zones were identified: Low, Moderate, High and Very High. Finally, five strategies were developed for the sustainable management of water recharge areas with the participation of local actors, in order to take advantage adequately of the water resource.

**Keywords:** water recharge, potential areas, water, strategies.

## **INTRODUCCIÓN**

Ecuador dispone de una cantidad de agua que puede variar de 4320000 hm<sup>3</sup> de agua en época lluviosa hasta los 146000 hm<sup>3</sup> en época seca (SENAGUA, 2008). Gran parte del agua aprovechada, proviene de los recursos superficiales y es usada principalmente para riego (82%), uso doméstico (12%) y uso industrial (6%) (MAGAP, 2013).

Una de las zonas productoras de agua en Ecuador, es la Comuna Pasto La Esperanza, la cual cuenta con algunos estudios puntuales sobre el recurso agua (Mena y Ortiz, 2002); sin embargo, no se dispone de información sobre zonas de recarga hídrica ni su potencial.

Las zonas de recarga hídrica son las áreas por donde el agua se infiltra, permitiendo así la recarga hídrica (Blanco, 2010). Por lo tanto, es el proceso mediante el cual los acuíferos se abastecen de agua procedente del área que lo limita o área de influencia, puede provenir de la infiltración de la lluvia, de escorrentías superficiales o de otros acuíferos adyacentes (Palacio y Betancur, 2007). Los acuíferos al saturarse se descargan en manantiales, drenajes menores, y ríos que son los espacios donde afloran las aguas

subterráneas. Estas fuentes de agua superficial, son la base para el desarrollo de las actividades productivas, que se llevan a cabo en los asentamientos poblacionales (Peñuela y Carrillo, 2013).

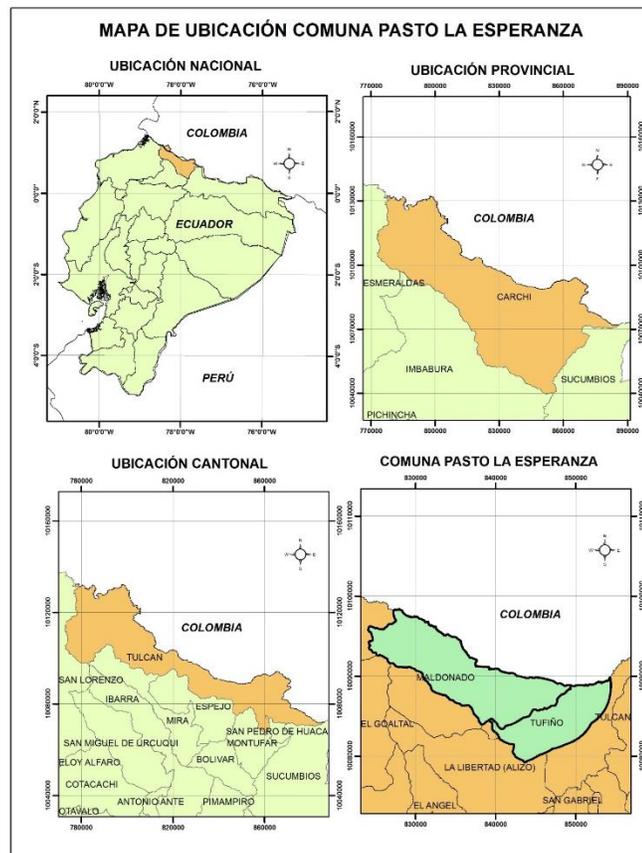
Por lo antes mencionado, el objetivo que se planteó fue identificar las zonas potenciales de recarga hídrica y elaborar, participativamente, estrategias de manejo sustentable que permitan proteger dichas áreas. Los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser aplicados al Plan de Manejo y Desarrollo de la Comuna Pasto La Esperanza, para fortalecer sus actividades, proyectos y programas. También pueden apoyar la toma de decisiones en futuros planes de desarrollo social, ordenamiento territorial y proyectos de conservación. Puede orientar acciones que permitan mitigar los problemas ambientales aún existentes en la comuna. Además, se constituiría en un estudio piloto que sirva como modelo para investigaciones futuras en microcuencas, subcuencas y ecosistemas con similares condiciones ambientales y sociales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Caracterización del área de estudio**

El área de estudio, conocido como Comuna Pasto La Esperanza, se encuentra ubicado al Norte del Ecuador, entre las parroquias Tufiño y Maldonado, en el cantón Tulcán, provincia del Carchi (Figura 1). Presenta un rango altitudinal que va desde los 1640 msnm hasta los 4720 msnm en el Volcán Chiles. Las partes altas corresponden al piso altitudinal del páramo seco, páramo de frailejones, páramo herbáceo, bosque

siempreverde montano alto; mientras que, las zonas bajas presentan las formaciones vegetales de bosque siempreverde montano bajo y bosque de neblina montano (Sierra, 1999 y ECOCIENCIA, 2008). En la parte baja (Maldonado) presenta temperaturas de 14 a 18 °C y precipitaciones de 500 a 700 mm y la parte alta (Tufiño hasta el Volcán Chiles) temperaturas de 8 a 10 °C y precipitaciones de 750 a 1250 mm.



Figuras 1. Mapa de ubicación de la Comuna Pasto La Esperanza

## Metodología

La metodología aplicada para el desarrollo de este estudio se basó

principalmente en el Método RAS (Junker, 2005), debido a que se cuenta

con la información requerida para ser aplicada (pendiente del terreno, tipos de suelo, cobertura vegetal y uso actual del suelo, precipitación media anual y evapotranspiración media anual).

Además, se empleó la técnica de álgebra de mapas para identificar las zonas potenciales de recarga de agua subterránea. A continuación, se describen las bases metodológicas empleadas:

#### *1. Delimitación del área de estudio*

Para definir el área de estudio, se realizaron observaciones de campo empleando el mapa base y límites del territorio comunal elaborado por la fundación ALTROPICO, se actualizaron los límites geográficos del área comunal; además, se delimitó una zona de influencia para incorporar los sitios de fuentes de agua y estructuras de captación que abastecen a los pobladores de la parroquia de Tufiño y de la ciudad de Tulcán.

#### *2. Caracterización biofísica*

Para caracterizar el componente biofísico, se generaron mapas temáticos a escala de impresión de 1:125000, con el software ArcGIS. Las unidades de mapeo requeridas para la elaboración de cada

mapa se obtuvieron del Geoportal del Sistema Nacional de Información (SNI, 2013), que consiste en información liberada para uso público editada en el año 2013.

#### *3. Caracterización hídrica*

Para caracterizar el componente hídrico, se elaboraron dos diagramas ombrotérmicos con datos multianuales con promedios de 20 a 25 años, para determinar las épocas seca y lluviosa, y medición de caudales en las 5 fuentes de agua y las 4 captaciones que abastecen de agua a la parroquia de Tufiño, y a la ciudad de Tulcán, con los datos meteorológicos que dispone el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología para la zona. Los aforos de caudales se realizaron aplicando tres métodos diferentes: medición con molinete (Fernández y Duarte, 2012); medición con el método del flotador (Bustamante, 2006) y método de aforo volumétrico (Durán, Gaidos, y España, 2008), debido a las características hidrológicas y escorrentía superficial de los drenajes, quebradas y ríos del área de estudio.

#### *4. Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica*

Para determinar la infiltración o potencial de recarga media anual e identificar las zonas de recarga hídrica, se aplicó el método de Recarga de Agua Subterránea (RAS) (Junker, 2005). Este método calcula el agua que se infiltra en el subsuelo, es decir, determina la recarga de agua subterránea para una zona, considerando aspectos biofísicos y climáticos para su aplicación, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$R = BC * C$$

Donde:

R = Recarga acuífera (mm/año)

BC = Balance climático (mm/año)

C = Coeficiente de infiltración

A su vez,

$$C = k_{fc} + k_p + k_v$$

En donde:

K<sub>fc</sub> = Coeficiente del tipo de suelo

K<sub>p</sub> = Coeficiente de pendiente

K<sub>v</sub> = Coeficiente del uso del suelo

#### *5. Correlación de valores de infiltración*

El análisis de correlación se realizó entre los valores de infiltración obtenidos en campo, comparando con los valores

puntuales extraídos del raster anual de recarga de aguas subterráneas en las zonas identificadas: Muy alta, Alta, Moderada y Baja. Para estandarizar las unidades de infiltración diaria medida en campo con los valores anuales del RAS, en mm/año, se realizaron transformaciones de datos mensuales y anuales, considerando el número de días de lluvias del mes de mayo (16 días) y el número de meses lluviosos del año 2016 (8 meses). Para la interpretación de datos de correlación se empleó la tabla de valores del coeficiente de correlación R de Jiménez (2016).

#### *6. Estrategias de manejo sustentable*

La formulación de estrategias de manejo sustentable para proteger las zonas potenciales de recarga hídrica y fuentes de abastecimiento, se realizó en base de información bibliográfica consultada, de los datos obtenidos en el presente estudio y de la recopilación de estrategias propuestas en el taller participativo (Castillo y Peña-Modragón, 2015) realizado con los pobladores y dirigentes comunales.

## **RESULTADOS**

### **Área de estudio**

La Comuna Pasto La Esperanza, ocupa una superficie de 14830,83 ha, que corresponde al territorio comunal y 6933,24 ha, correspondientes al área de influencia. De la superficie comunal, 1590 ha, se encuentran dentro del Programa de Área Naturales del Ecuador (PANE) conformando por la Reserva Ecológica El Ángel (ECOCIENCIA, 2008); mientras que 8621,7 ha están conservadas mediante el programa Socio Bosque.

Las coordenadas puntuales de referencia del área de estudio se indican en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Coordenadas UTM, Datum WGS84, Zona 17 Sur**

Punto	Coordenada X	Coordenada Y
Punto 1: Norte	827452	10098547
Punto 2: Sur	843837	10079561
Punto 3: Este	854475	10090250
Punto 4: Oeste	824435	10096544

Los sectores y poblados de referencia del área de estudio fueron: Lagunas Verdes, Cucurucho, Monte Redondo, Los Tablones, río Chiquito.

### **Componentes biofísicos**

En la comuna La Esperanza se identificaron 6 categorías de pendientes del terreno, predominando el relieve

escarpado (70,98 %), muy montañoso (12,26%) y montañoso (11,45 %).

Los tipos de suelos identificados pertenecen a los subórdenes: Udans, Cryands, e Hydrandept. De los cuales, el de mayor porcentaje corresponde a suelos de los tipos Udans y Cryands que ocupan el 95,63%; localizados en la parte alta y baja de la comuna, cubriendo una superficie de 14227,03 ha.

En la comuna se identificaron cuatro tipos de cobertura vegetal y usos del suelo: Bosque Nativo, Bosque Plantado, Mosaico Agropecuario y Vegetación Arbustiva y Páramo. La mayor parte corresponde a la vegetación arbustiva y páramo y a los bosques latifoliados (bosque nativo), con un 47,93 y 37,02%, respectivamente.

### **Componente hídrico**

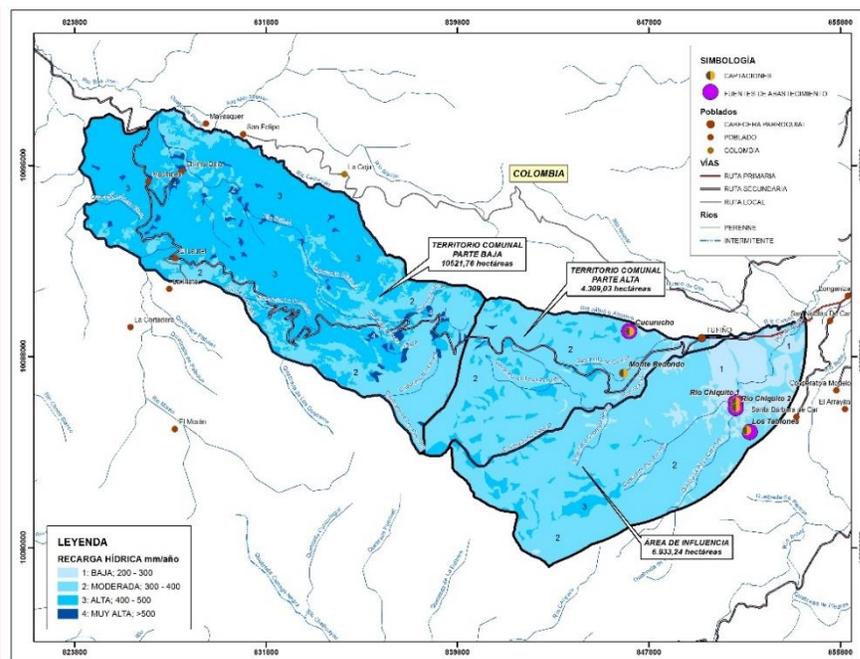
La comuna Pasto La Esperanza posee importantes recursos hídricos representados por drenajes menores, quebradas, y ríos, siendo el río Chiquito y las quebradas Cuatza, Capote y Agua Caliente las más importantes por encontrarse en la parte alta y zona de amortiguamiento de la comuna. La red hídrica del territorio comunal tiene un

patrón de drenaje dendrítico con clasificación perenne. Los valores de caudales en la época lluviosa se encuentran en el rango de 0,15 a 1650 l/s, mientras que los valores de caudales en época seca se encuentran en el rango 0,02 a 900 l/s.

### Zonas potenciales de recarga hídrica

Las zonas potenciales de recarga predominantes, alta y moderada, identificadas en el territorio comunal ocupan superficies de 55,46% y 36,52%, respectivamente, que equivalen al 91,98%

del territorio total. Se encuentran principalmente en la parte media y alta de la comuna y en la zona de influencia, y en menor grado en el extremo inferior de la comuna (parte baja). Las zonas con baja capacidad de recarga se ubican en la parte alta de la comuna, en el sector de Tufiño, con un porcentaje de área de 6,7%; dejando solo un 1,32% para las zonas de muy alta capacidad de recarga hídrica, distribuidas en la parte media y baja del territorio comunal, en la zona de Chilmá Bajo y los afluentes finales del río Chilmá (Figura 2).



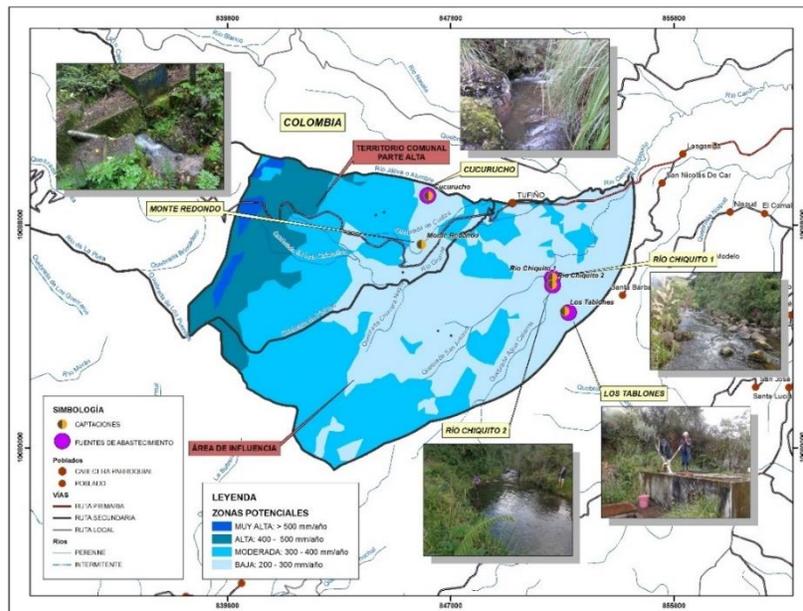
Figuras 2. Mapa zonas potenciales de recarga hídrica de la comuna Pasto La Esperanza.

Las zonas de recarga potencial hídrica identificadas en la parte alta de la comuna

fueron: muy alta, alta, moderada y baja (Figura 3). Las áreas que presentan la mayor recarga potencial con la categoría

muy alta, se localizan en el sector conocido como Lagunas Verdes (3900 a 4000 msnm), ocupando una superficie de 175,15 ha, y un valor de recarga potencial que supera los 500 mm/año. Las zonas categorizadas con potencial de recarga alto (400 a 500 mm/año), se encuentran a una altitud de 3800 a 4080 msnm, distribuidas en una superficie de 1365,45 ha, en las partes altas de la Quebrada Agua Blanca y río Grande. Las zonas con categoría moderada, presentan una recarga potencial de 300 a 400 mm/año, se encuentran en la parte media de las

quebradas: Capote, Cuatza, y Santa Rosa, en un rango altitudinal de 3600 a 3700 msnm; sin embargo, en la parte sur de la comuna la altitud alcanza los 3800 msnm, ocupan una superficie de 4658,18 ha. Finalmente, las zonas potenciales de recarga con categoría baja (200 a 300 mm/año), se localizan en los sectores de Monte Redondo, Cucurucho, Río Chiquito y Los Tablones, con una superficie de 5002,18 ha, siendo la categoría que predomina en la parte alta y área de influencia.



**Figuras 3.** Mapa zonas potenciales de recarga hídrica de la parte alta de la comuna

### Estrategias de Manejo Sustentable

Las estrategias de manejo sustentable propuestas para el adecuado manejo del

Recurso hídrico son: Protección y conservación de zonas potenciales de recarga hídrica y fuentes de captación;

Concienciación sobre el manejo del recurso hídrico; Conservación de páramos, bosque nativo y área protegida comunal; Gestión de convenios con instituciones públicas y privadas vinculadas al manejo de los recursos naturales; e Inclusión del Plan de Desarrollo Comunal en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Tufiño.

## **CONCLUSIONES**

Los componentes biofísicos que influyeron en las condiciones hídricas del territorio de la comuna Pasto La Esperanza y zona de amortiguamiento, fueron: tipos de suelo, profundidad del suelo, textura del suelo, cobertura vegetal, uso del suelo y las pendientes del terreno.

Se determinaron nueve sitios de medición de caudales, cuatro drenajes menores o quebradas y cinco estructuras para captación de agua. En estos drenajes y estructuras, las mediciones de caudales superficiales y captados durante las épocas lluviosa (abril y mayo) y seca (agosto y septiembre) alcanzaron valores máximos promedios de 375,1 l/s y mínimos de 192,3 l/s, respectivamente.

La metodología Recarga de Agua Subterránea (RAS) permitió identificar

cuatro zonas potenciales de recarga hídrica, dentro del territorio comunal: zonas de recarga Muy Alta, Alta, Moderada y Baja las mismas que se localizan en las partes baja y alta del territorio.

Las altas precipitaciones de la zona baja de la comuna y el tipo de suelo arcilloso, favorecen la infiltración hacia los acuíferos confinados y superficiales, especialmente en los sectores de Maldonado, Chilmá Bajo y El Laurel.

En la parte alta de la comuna se identificaron cuatro zonas potenciales de recarga hídrica con cuatro categorías de recarga: Muy Alta, Alta, Moderada, y Baja; siendo la última la más extensa en superficie y donde se localizan las fuentes de abastecimiento de agua y estructuras de captación.

Las estrategias de manejo sustentable propuestas de manera participativa, permitirán manejar el recurso hídrico de manera organizada con participación comunitaria, y con ello garantizar su sostenibilidad ambiental.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los ingenieros Oscar Rosales, Gladys Yaguana, Mónica León y Paúl Arias, quienes con tanto profesionalismo

guiaron el desarrollo de este estudio. Igualmente, a los dirigentes de la Comuna Pasto La Esperanza, por su interés y disposición a colaborar con el presente estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blanco, H. (2010). Áreas de recarga hídrica de l aparte media - alta d elas microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica. *Cuadernos de Investigacion Universidad Estatal a Distancia*, 2(2), 181-204.
- Bustamante, O. (2006). *Manual básico para medir caudales*. Quito: Fondo para la protección del agua (FONAG).
- Castillo, A., & Peña-Modragón, J. (2015). Métodos de investigación social: fundamntos, técnicas y aportaciones para el entendimiento de las relaciones sociedad-vida silvestre. En S. (. Gallina, *Manual de técnicas del estudio de la fauna* (pág. 194). Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología, A.C.
- ECOCIENCIA. (2008). *Plan de manejo y desarrollo de la comuna La Esperanza*. Quito. Obtenido de <http://www.condesan.org/ppa/sites/default/files/recursos/archivos/Plan%20de%20manejo%20y%20desarrollo%20de%20la%20Comuna%20La%20Esperanza.pdf>
- Jiménez, D. (2016). *Uso e interpretación de la información estadística*. España.
- Junker, M. (2005). *Metodología RAS para determinar la recarga de agua subterránea*. San Salvador: FORGAES.
- MAGAP. (2013). *Plan nacional de riego y drenaje 2012 - 2026*. Quito: Subsecretaria de riego y drenaje.
- Mena, P., & Ortiz, D. (2002). *El manejo comunitario de los páramos. Serie Páramo 11*. Quito: Abya Yala.
- SENAGUA. (2008). *Informe de Rendición de cuentas 2008 - 2009*.
- Sierra, R. (. (1999). *Propuesta preliminar de un sistma de clasificación de vegetación para el Ecuador continental*. Quito, Ecuador: Proyecto INEFAN/GEF-BIRF, EcoCiencia.
- SNI. (2013). *Sistema Nacional de Información*. Obtenido de <http://sni.gob.ec/mapa-cobertura-uso>