



IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG DE LOS ACUÍFEROS LA CARBONERÍA, GUARACZAPAS, YUYUCOCHA Y SANTA CLARA PARA LA PROTECCIÓN DE LAS FUENTES DE APROVISIONAMIENTO DE AGUA EN LA ZONA URBANA DE IBARRA

Mishell Chamorro*¹; Oscar Rosales¹

¹Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Av. 17 de Julio 5-21 y José Córdova, Ibarra, Ecuador. Teléfono: 0593-6-2997800.

Correo-e: mishurnr_92@outlook.com

(*Autor para correspondencia)

Resumen

La cuenca del río Tahuando actualmente se encuentra intervenida por las actividades antrópicas, especialmente en la parte baja y media debido a la existencia de prácticas agrícolas y pecuarias sin las debidas medidas de conservación de suelos; las partes baja, media y alta de la cuenca tienen alta importancia hidrológica como fuentes de aprovisionamiento de agua potable para la ciudad de Ibarra, ya que en esta unidad hidrográfica se encuentran las vertientes y pozos de La Carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha y Santa Clara, las mismas que son administradas y manejadas por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA-I). El objetivo del presente trabajo fue identificar y caracterizar las zonas de recarga hídrica de los acuíferos La Carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha y Santa Clara, que proveen de agua potable a la zona urbana de Ibarra mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se aplicaron metodologías para identificar cartográficamente las zonas de recarga hídrica de los acuíferos, analizar las principales características de estas zonas de recarga, en base a la metodología propuesta por Matus (2007) en función de las siguientes variables: pendiente del terreno, geología, tipo de suelo, cobertura vegetal y velocidad de infiltración del suelo y posteriormente se proponen lineamientos generales para el manejo y conservación de las zonas de recarga hídrica de los acuíferos que abastecen de agua a la ciudad de Ibarra; mediante el empleo de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los resultados obtenidos identificaron y caracterizaron cinco categorías de recarga, la zona de recarga con mayor superficie corresponde a la clase *moderada*, con una superficie de 19.650,24 hectáreas, en esta zona están ubicados los acuíferos de Yuyucocha, Santa Clara y Guaraczapas y la zona de menor superficie corresponde a la clase *muy alta* con 330,30 hectáreas, ya que comprende las partes más altas con pendientes fuertes y pronunciadas, permitiendo así que el agua escurra con facilidad y no se retenga en el suelo, la zona de recarga categorizada como clase *nula*, corresponde a la zona urbana de la cuenca, donde se asienta la población urbana de Ibarra. Con los resultados obtenidos se plantean lineamientos de manejo y conservación de las zonas de recarga hídrica de los acuíferos que abastecen de agua a los poblados urbanos de Ibarra, San Antonio, Priorato y poblados rurales de Aloburo y La Esperanza.

Abstract

Basin of Tahuando River is currently intervened by anthropoid activities especially in its lower and middle part due to the existence of agricultural and livestock practices without proper soil conservation measures. Lower, middle and upper parts of the basin have abundant hydrological importance as sources of clean water supply for Ibarra city since in this hydrographic unit are located the wellsprings La Carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha and Santa Clara which are managed by the Municipal Company of Water and Sewerage (EMAPA-I). The aim of this study was to identify water recharging areas in the previous described aquifers using Geographic Information System (GIS) tools. The application of methodologies for the identification of cartographic areas of water recharge of aquifers as well as the analysis of their main characteristics was done based on those proposed by Matus (2007). This methodology is subject to the variables: slope, geology, soil type, vegetation covering and soil infiltration speed. As a result, general guidelines for the management and conservation of water recharge areas of aquifers that supply water to the city of Ibarra are proposed through the use of GIS tools. The results showed that there are five categories of recharge. The recharge zone with the largest area corresponds to moderate, with an area of 19,650.24 hectares. In this category are located the aquifers Yuyucocha, Santa Clara and Guaraczapas. The zone with lower surface corresponds to very high with 330.30 hectares due to the inclusion of the highest parts with strong and abrupt slopes allowing the water to drain easily and not to be retained in the soil. Recharge zone categorized as null corresponds to the urban area of the basin where the urban population of Ibarra is located. Finally, with the obtained results, management and conservation guidelines are proposed for water recharge areas of aquifers that supply water to urban towns of Ibarra, San Antonio and Priorato, as well as the rural villages of Aloburo and La Esperanza.

INTRODUCCIÓN

Los factores por los cuales las fuentes hídricas están disminuyendo en caudal y presentan contaminación tienen múltiples orígenes. “Por una parte, existe un antecedente histórico: la deforestación de los bosques andinos que se encuentran sobre los 2.000 msnm. La alteración de los páramos se debe a la ampliación de la frontera agrícola para el desarrollo de actividades agropecuarias, y el desplazamiento de comunidades en las partes altas de la montaña”, asegura Ruiz (2012).

El crecimiento y desarrollo de la ciudad de Ibarra en las últimas décadas ha originado una demanda de agua potable que ha rebasado la disponibilidad actual del recurso, realidad que ha motivado a la Empresa de Agua Potable la prospección de las aguas subterráneas, para lo cual es indispensable contar con un estudio hidrogeológico para conocer las condiciones del subsuelo, precipitación, infiltración y escorrentía; y por ende el aprovechamiento sostenible del recurso (EMAPA-I, 2005).

La precipitación en las zonas de recarga de los acuíferos es la principal y más importante en las fuentes de abastecimiento de: La Carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha y Santa Clara, localizadas en la partes media y alta de la cuenca del río Tahuando, que son las fuentes primordiales de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Ibarra. Sin embargo, muchas de las prácticas en actividades como la agricultura, ganadería, producción forestal y el desarrollo urbanístico alteran las características de las zonas de recarga hídrica, por lo que dificultan la infiltración del agua al erosionar, compactar, impermeabilizar y dejar descubierto el suelo, lo cual genera una mayor escorrentía superficial y disminuye la recarga de los acuíferos. Esto reduce el nivel de las aguas subterráneas (acuíferos) y afecta la calidad y cantidad del agua, que con frecuencia se vuelve inadecuada

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

para el consumo humano. Identificar adecuadamente las zonas de recarga es necesario para establecer estrategias de protección y preservación de las mismas hacia el manejo del recurso agua, ya que el deterioro de las zonas de recarga hídrica y la disminución de caudales se deben, por una parte, a que no se conoce dónde se ubican las principales zonas de recarga y, por otra, a que los actores locales u organismos responsables del manejo de las cuencas no disponen de metodologías prácticas necesarias de caracterización de estas zonas.

La ciudad de Ibarra tiene importantes fuentes de abastecimiento que garantizan el 93,8% de cobertura de agua potable. Estas son las fuentes subterráneas de Guaraczapas, con 158 l/s; las vertientes de Yuyucocha, que aportan 60 l/s, y los pozos profundos cercanos a Yuyucocha, que suministran 205 l/s; en la parroquia San Antonio se encuentra la captación Santa Clara, pozo profundo que aporta 4,5 l/s y en el sistema Aloburo- Priorato se encuentran tres vertientes de La Carbonería que suministran 17 l/s de agua. Estos acuíferos abastecen con el recurso hídrico para el uso y consumo humano en la ciudad de Ibarra (EMAPA-I, 2005).

Se necesita aplicar una metodología para identificar las zonas de mayor recarga hídrica natural dentro de los acuíferos La Carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha y Santa Clara. Al identificar las principales zonas de recarga hídrica se pretende proporcionar una herramienta de aporte mediante aplicaciones SIG, para la reducción del deterioro de los recursos naturales causado por el uso del suelo, ya que incentivará y promoverá el cuidado y la sostenibilidad de los recursos naturales.

El propósito del presente estudio es aplicar una metodología práctica que permita a la Empresa Municipal de Agua Potable y alcantarillado (EMAPA-I) identificar y caracterizar las zonas potenciales de recarga hídrica en la cuenca.

El presente trabajo se desarrolló en la cuenca del río Tahuando, ubicada en la provincia de Imbabura, en el cantón Ibarra, en las parroquias Ibarra, San Antonio, La Esperanza, Angochagua y una pequeña parte en la provincia de Pichincha, cantón Cayambe, parroquia Olmedo. Además para la delimitación del área de estudio se solicitó

información de los estudios elaborados por EMAPA-I, realizándose así la identificación y ubicación de los acuíferos Yuyucocha, Santa Clara, Guaraczapas y la Carbonería, de la revisión de los estudios realizados por la EMAPA-I, se obtuvieron las coordenadas referenciales de los acuíferos, las cuales se detallan en el siguiente cuadro:

Cuadro 1.- Coordenadas referenciales de la zona de estudio

Coordenadas UTM				
Datum: WGS 84, Zona 17 Sur				
Acuíferos	Tipo vertiente / pozo	Norte	Este	Altitud (msnm)
Yuyucocha	Vertiente-Pozo	10035834	820245	2279
Santa Clara	Pozo	10024943	827974	3640
La Carbonería	Vertiente	10032754	827119	3271
Guaraczapas	Vertiente	10027881	823658	2720

Fuente: Estudios EMAPA-I, 2005.

Con la información cartográfica se generó el mapa base de la cuenca del río Tahuando (ver figura 1) y con las coordenadas geográficas georeferenciales procesadas en el software ArcGIS.

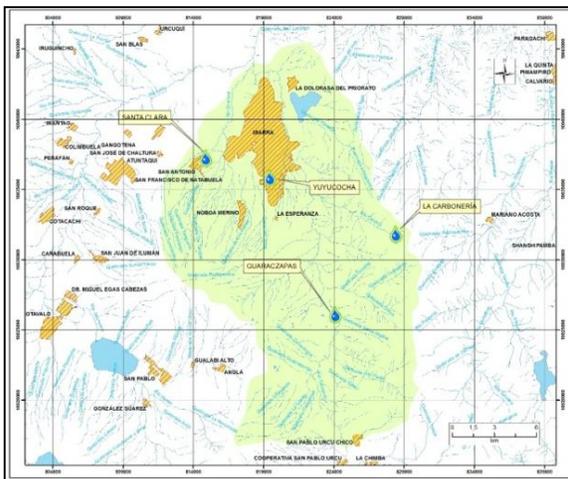


Figura 1.- Localización de los acuíferos
Elaboración: La Autora

Materiales y Equipos

Los materiales y equipos que se utilizaron durante el desarrollo del presente estudio se describen a continuación:

Materiales:

- Cartas topográficas digitales del IGM de Ibarra, San Pablo del Lago y Cayambe a escala 1:50000.
- Coberturas digitales en formato shapefile (shp) del Sistema Nacional de Información (SNI, 2013).
- Datos de las estaciones meteorológicas y pluviométricas de Ibarra, Zuleta y San Pablo del Lago (INAMHI, 2015).
- Imágenes aerotransportadas del Proyecto SIGTIERRAS (2011) a escala 1:5000.
- Software SIG: ArcGIS 10.1, ArcMap con licencia temporal del Laboratorio de Geomática.

Equipos:

Cámara digital; Computador portátil, Flexómetro de 30 m, Navegador GPS Garmin 60Csx, Impresora EPSON L555, Infiltrómetro Turf Tec, Memoria portátil (Flash Memory Drive).

METODOLOGÍA

1. Identificación cartográfica de las zonas de recarga hídrica:

a) Recopilación de informes realizados por la EMAPA – I, procesamiento de cartas topográficas digitales de Ibarra, San Pablo del Lago y Cayambe, para delimitar la cuenca hidrográfica. b) Recorridos en campo para la recopilación de datos de ubicación de las zonas de recarga y los acuíferos y toma de coordenadas en Proyección Universal Transversa de Mercator, Datum WGS 84 Zona 17 Sur, considerando las condiciones climatológicas, geológicas, edáficas y topográficas se identificaron los sitios de recargas hídricas.

2. Análisis de las principales características de las zonas de recarga hídrica: se realizaron recorridos de campo a fin de determinar variables como tipo de suelo, cobertura vegetal y velocidad de infiltración del suelo, uso actual del suelo, uso potencial, tipos de suelos, pendientes del terreno, litología, textura del suelo, zonas de vida de Holdridge, hidrología,

profundidad del suelo, precipitación; para determinar cada una de las características edafoclimáticas de los acuíferos, de las cuales se generaron mapas de las variables de las zonas de recarga anteriormente nombradas mediante el modelo cartográfico con la herramienta Model Builder.

Se realizaron pruebas de infiltración para determinar la velocidad a la que se infiltra el agua en el suelo para asignar como parámetro en la comprobación en campo de las zonas de recarga identificadas cartográficamente. (Ver figura 2).

3. Aplicación de la metodología para identificar las zonas de recarga hídrica: Se determinaron cartográficamente los sitios con mayor potencial de recarga de agua subterránea, con la sobreposición de cartografía temática a escala 1:50.000 usando herramientas de geoprocamiento de álgebra de mapas.

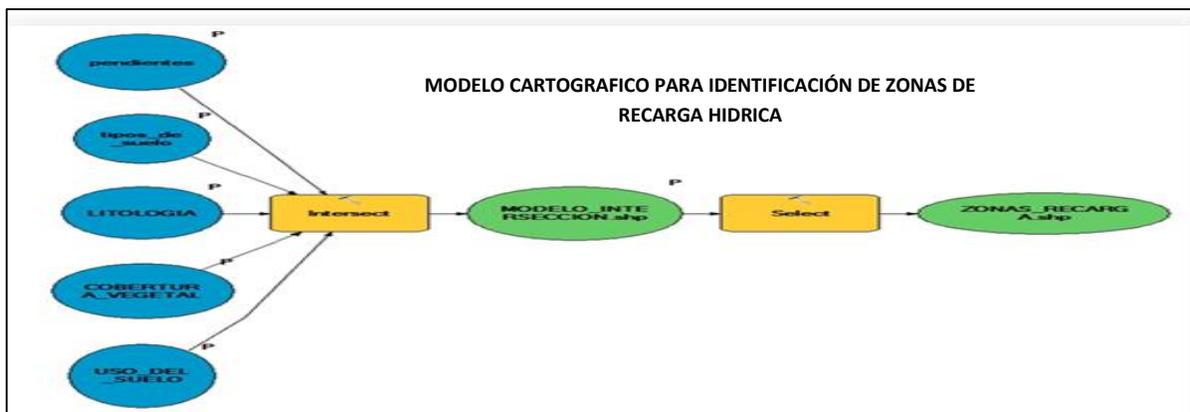


Figura 2.- Modelo Cartográfico (Model Builder) para la identificación de zonas de recarga hídrica .

Fuente: La Autora

Para determinar la recarga hídrica de los acuíferos Yuyucocha, Santa Clara, Guaraczapas y La Carbonería ubicados dentro de la cuenca del río Tahuando, se elaboró mapas de pendientes, tipo de suelo, litología, cobertura vegetal y uso actual del suelo, de los cuales se obtuvieron los valores para cada uno de los acuíferos, el proceso

se realizó aplicando la siguiente ecuación general propuesta por Matus:

$$ZR= [0.27(Pend) + 0.23(Ts) + 0.12(Tr) + 0,25(Cve) + 0.13(Us)]$$

Dónde: Zr: Potencial de Recarga; Pend: Pendiente; Ts: Tipo de suelo; Tr: Litología (Tipo de roca); Cve: Cobertura vegetal; Us: Usos del suelo.

Propuesta de lineamientos generales para el manejo y conservación de las zonas de recarga hídrica de los acuíferos que abastecen de agua a la ciudad de Ibarra, se efectuaron los siguientes procesos:

1. Se realizaron varias entrevistas a los beneficiarios del agua potable y a los pobladores cercanos a los acuíferos. 2. Se realizó las revisiones bibliográficas, de varios estudios realizados en diferentes cuencas hídricas con similitud a esta investigación.

**RESULTADO Y DISCUSIÓN:
CARACTERIZACIÓN
MORFOMÉTRICA Y BIOFÍSICA DE
LOS ACUÍFEROS**

En el desarrollo del presente trabajo, se determinaron varias características morfológicas del área de estudio, como el área, perímetro, pendiente, precipitación, temperatura, uso actual del suelo, uso potencial, litología, textura, zonas de vida, clima, profundidad del suelo, de la acuíferos en general y de los acuíferos Yuyucocha, Santa Clara, Guaraczapas y la Carbonería, cuya área es 356.43 km²; perímetro 89.20 km.

CLIMA.- Los acuíferos de Yuyucocha y Santa Clara, están ubicados dentro del tipo del clima *Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo*, el cual es característico en la zona interandina a excepción de los valles cálidos y zonas con altitudes mayores a los 3.000 y 3.200 msnm.

TEMPERATURA.- Los acuíferos de Yuyucocha y Santa Clara, están dentro de un mismo rango de temperatura de 14 a 15 °C, y los acuíferos de la Carbonería están en los rangos más bajo de temperatura de 11 a 12 °C y 7 a 8 °C.

PRECIPITACIÓN.- Los acuíferos de Yuyucocha y Santa Clara, tienen una precipitación promedio anual de 550 mm, y los acuíferos de Guaraczapas, tienen un promedio

anual de 1450 mm, siendo el lugar más húmedo entre los otros acuíferos, además el acuífero de La Carbonería tiene un promedio anual de 1350 mm, lo que indica que son sitios donde se registran mayor cantidad de lluvias.

ZONAS DE VIDA: se determinó que el *acuífero de Yuyucocha*, está ubicado en la zona de vida denominada bosque seco Montano Bajo (bsMB), con una altitud entre 2.000 a 3.000 m, con variaciones microclimáticas de acuerdo a los pisos altitudinales de las cordilleras. El *acuífero Santa Clara* está ubicado en la zona de vida bosque seco Montano Bajo (bsMB), esta zona de vida es característica en un rango de altitud de 2.000 y 3.000 m, con variaciones microclimáticas de acuerdo a los pisos altitudinales de las cordilleras. El *acuífero Guaraczapas*, está ubicado en la zona de vida denominada bosque húmedo Montano Bajo (bhMB), esta zona de vida se encuentra entre los 1.800 y 2.000m. El *acuífero La Carbonería* está ubicado en la zona de vida bosque muy húmedo Montano Bajo (bmhMB).

USO POTENCIAL: Se determinó que los acuíferos *Yuyucocha* y *Santa Clara*, están ubicados en la zona agrícola, siendo áreas dedicadas para la producción de cultivos de ciclo corto entre otros, que permite un ingreso económico a las familias. En el acuífero *Guaraczapas*, el uso potencial según la cartografía son zonas de aptitud pecuaria, y en el acuífero *La Carbonería*, el uso potencial es de conservación y protección, ya que en esta zona se encuentran pendientes muy pronunciadas, lo que la permitido que la vegetación nativa se conserve.

EVAPOTRANSPIRACIÓN.- Los valores de evapotranspiración van desde los 100 hasta los 1500 mm/año.

**CARACTERIZACIÓN
MORFOMÉTRICA Y BIOFÍSICA DE
LOS ACUÍFEROS PARA LA ZONA
DE RECARGA:**

La ecuación general de Matus permitió determinar las zonas de recarga dentro de la cuenca, en base al uso de la cartografía temática.

- a) **Pendiente:** El acuífero Yuyucocha presenta una pendiente de 5 al 12%, ligeramente ondulada; Santa Clara posee una pendiente de 12 al 25%, irregular y ondulación moderada; Guaraczapas y La Carbonería poseen una pendiente del 25 al 50%, siendo un relieve fuerte y colinado. Además se determinó que en base a la pendiente el acuífero de Yuyucocha, tiene una alta posibilidad de recarga.
- b) **Tipos de suelo:** Se describen el siguiente figura 3:

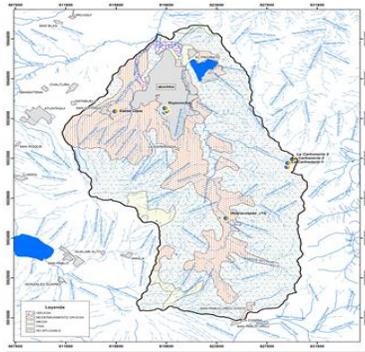


Figura 3, Mapa del tipo de suelo en el área de estudio; Elaborado por: Autora

- c) **Litología:** Se detalla que el acuífero Yuyucocha está en una zona de recarga alta, y los acuíferos Santa Clara, Guaraczapas y la Carbonería están en una zona moderada.

- d) **Cobertura vegetal:** Existen coberturas como agropecuarias, antrópicas, bosque en tierras forestales, cuerpos de agua, eriales, vegetación arbustiva y herbácea y zona urbana, esta categorización de la cobertura permitió determinar una ponderación de la posibilidad de recarga hídrica.
- e) **Uso actual del suelo:** Los acuíferos de Yuyucocha y Santa Clara, están ubicados en la zona agrícola, lo cual coincide con el uso potencial, con una posibilidad de recarga moderada; y que el acuífero Guaraczapas está ubicado en la zona pecuaria, con una posibilidad baja de recarga, quedando así el acuífero La Carbonería en una zona de conservación y protección, con una posibilidad de recarga alta, valorada cualitativamente con valor 4, siendo el valor más alto a nivel de la ponderación. Determinando así los siguientes valores de ponderación de cada uno de los acuíferos:

Zonas de recarga hídrica en los acuíferos de Yuyucocha, Santa Clara, Guaraczapas y La Carbonería: se describe el resultado de la ecuación general para determinar la posibilidad de recarga hídrica y se desprende que los acuíferos de Yuyucocha y La Carbonería matemáticamente se encuentran en áreas con una alta posibilidad de recarga hídrica; y los acuíferos de Santa Clara y Guaraczapas poseen una posibilidad de recarga moderada, UNIR BIEN y han permitido que se consideren acuíferos de mayor importancia, para abastecer de agua a la zona urbana de Ibarra.

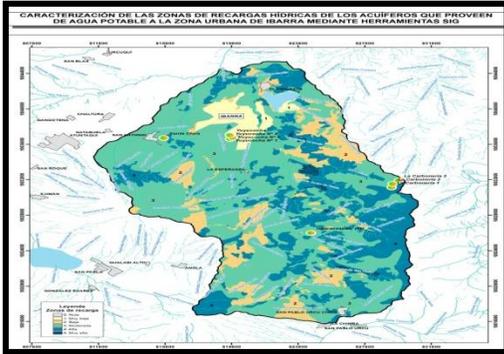


Figura 5. Mapa de la zona de recarga de los acuíferos

Además se determina que la zona con mayor superficie es la zona con clase *moderada*, con una superficie es 19.650,24 hectáreas, en esta zona están ubicados los acuíferos de Santa Clara y Guaraczapas y la zona de menor área es la zona *muy alta* con un área de 330,30 hectáreas, ya que comprende las partes más alta con pendientes fuertes y pronunciadas, permitiendo así que el agua se deslice con facilidad y no se retenga en su suelo. Cabe indicar que la zona categorizada como *nula*, corresponde a la zona urbana de la cuenca, donde la población del cantón de Ibarra se ha establecido.

Pruebas de infiltración en los acuíferos: se realizaron las pruebas de infiltración en cada uno de los acuíferos Yuyucocha, Santa Clara, Guaraczapas y La Carbonería.

CARACTERIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, EDÁFICOS Y AMBIENTALES EN LOS ACUÍFEROS

Se determinaron las características de los acuíferos en base a la cartográfica temática, obteniéndose lo siguiente:

Acuífero de Yuyucocha

Del análisis cartográfico se determinó que el acuífero en estudio posee un clima ecuatorial mesotérmico semi – húmedo, ubicado en una pendiente plana con un rango del 5 al 12%, una alta posibilidad de recarga, tipo de suelo

Mollisol de formaciones de terrazas, textura moderadamente gruesa, suelos de profundidad baja, ubicado en una zona de vida de bosque seco montano bajo, con una temperatura media anual de 14 a 15 °C.

Acuífero Santa Clara

El acuífero de Santa Clara, del análisis de la cartografía, se determinó que está ubicado en una zona de vida de bosque seco montano bajo, con una temperatura que fluctúa de 14 al 15 °C, con una precipitación promedio de 550 mm/año, una pendiente del 12 al 25%, con un tipo de suelo Mollisol formado por andesita, brecha y aglomerados; textura moderadamente gruesa y suelos de baja profundidad, aptitud agrícola en el cual se encuentran cultivos de ciclos corto y pastos cultivados con poca cubierta vegetal.

Acuífero Guaraczapas

En el acuífero Guaraczapas del análisis de la cartografía, se determinó que está ubicado en la zona de vida de bosque húmedo montano bajo, temperatura que fluctúa de 11 a 12 °C, con una precipitación promedio de 1450 mm/año, con una pendiente del 25 al 50% siendo fuerte y colinado, con un tipo de suelo mollisol formado de cenizas, piroplásticos y pómez, textura moderadamente gruesa, de aptitud pecuario en el cual se encuentran pastos cultivados con poca cubierta vegetal.

Acuífero La Carbonería

Del análisis cartográfico, el acuífero se encuentra en el rango de pendiente del 25 al 50%, en suelos de tipo Inceptisol con textura media, suelos con roca de tipo andesita, brecha y aglomerados, cubierto por vegetación arbustiva y herbácea, definido en la cartografía como área de Conservación y Protección, con una zona de recarga de tipo alta, con esta información se verificó en la salida de campo que tiene una pendiente del 25%, con suelo pedregoso, cubierto de vegetación arbustiva, con una temperatura promedio de 7 a 8°C.

LINEAMIENTOS DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA DE LOS ACUÍFEROS YUYUCOCHA, SANTA CLARA, GUARACZAPAS Y LA CARBONERÍA, QUE ABASTECEN DE AGUA A LA CIUDAD DE IBARRA.

Para determinar los lineamientos para el manejo y conservación de las zonas de descarga, se analizó la problemática ambiental de los acuíferos para la estructura de los lineamientos y el plan de acción que se desarrollaran en los acuíferos y áreas de influencia.

Desarrollo de la metodología empleada

Para la formulación de los lineamientos se empleó una metodología participativa que consistió en lo siguiente:

- a. **Desarrollo rural participativo:** Se fundamentó en llegar al área de influencia de los acuíferos, mediante visitas de campo y así determinar su situación y el nivel de participación de las comunidades de Angochahua, San Antonio y Yuyucocha.
- b. **Recolección de la información:** La información recopilada en las distintas fases de trabajo de campo se procesó y analizó, con el fin de obtener la línea base para plantear los lineamientos.
- c. **Procesamiento de la información:** La información fue procesada y analizada, obteniendo la problemática y caracterización de la zona de investigación, con esto fue posible plantear los lineamientos de manejo.
- d. **Expectativas de las comunidades:** Con la finalidad de evaluar las expectativas, económicas, ambientales y sociales de los pobladores que se encuentran cerca a los acuíferos, se plantearon desarrollar varias capacitaciones y accionares que permitan alcanzar las expectativas de la población.

Problemática: En la zona de recarga hídrica de los acuíferos La Carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha y Santa Clara, los principales problemas de la sociedad y del ambiente relacionados con los recursos hídricos son los siguientes: 1) Conflictos por el uso del agua de consumo y el uso agrícola, principalmente en la ciudad de Ibarra y 2) Los impactos ambientales del uso de agua y del desarrollo urbano.

Estructura de los lineamientos: Los aspectos institucionales definen los reglamentos sobre lo que se debe hacer para atender los objetivos planteados en los lineamientos de conservación y manejo de las zonas de recarga hídrica de los acuíferos que abastecen de agua a la ciudad de Ibarra, y quién lo debe hacer.

Los principales aspectos a tratar en este grupo son: 1) El ámbito legal, las leyes que dan soporte, definen competencias y atribuciones para administrar y ejecutar acciones para la conservación y manejo de los acuíferos. 2) El fortalecimiento de las capacidades técnicas de los miembros de las Juntas de Aguas inmersos en los acuíferos analizados, orientación de los miembros de los comités, los profesionales, y la sociedad en general; 3) Estrategias de comunicación y difusión en diferentes niveles y ámbitos en el área de influencia de las zonas de recarga hídrica.

Plan de acción en los acuíferos: 1) Conservación: protección de las fuentes de agua, calidad y cantidad del agua y protección de las áreas naturales: páramos, bosques, entre otros; 2) Uso del suelo; 3) Gobernanza y 4) Gestión técnica.

MATRIZ DE LINEAMIENTOS DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LOS ACUÍFEROS YUYUCOCHA,

SANTA CLARA, GUARACZAPAS Y LA CARBONERÍA.

A continuación se detallan los lineamientos a ser aplicados para el manejo y conservación de los acuíferos:

- 1. Protección y conservación de fuentes de agua superficiales y subterráneas de la zona de recarga hídrica:** Actualización y/o creación de los inventarios y catastros de la situación de fuentes de agua superficial y subterránea (cuantificación, tipo fuentes, nivel contaminación, caudal base, calidad de agua, caudal ecológico, nivel contaminación, usos (estatal o privados), y adjudicación).
- 2. Calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas para mantener los ecosistemas acuáticos:**
 - Establecimiento de la política y control para la conservación y aprovechamiento de aguas;
 - Establecimiento de Entidad(es) encargada(s) del control de parámetros de calidad.
- 3. Conservación de páramos, bosques nativos, áreas protegidas y bosques protectores:**
 - Utilización adecuada del agua;
 - Delimitación de franjas verdes y zonas de amortiguamiento alrededor de fuentes de agua, ríos y quebradas aledaños a los acuíferos.
 - Implementación de sistemas de control y sanciones para áreas protegidas, protección del acuífero La Carbonería (a través de la creación de una ordenanza de regulación)
 - Reforestación con especies nativas en lugares degradados en los acuíferos Yuyucocha, Santa Clara y Guaraczapas.

- Optimización de actividades agropecuarias: reducción de la capacidad de carga animal y control del pastoreo en páramos.

- 4. Fortalecimiento e incentivos de actividades productivas y agroecológicas de manera sustentable:** Los acuíferos cuentan con un plan de manejo. El plan formará parte de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra
- 5. Calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas para mantener los ecosistemas acuáticos:** Aplicar la normativa ambiental vigente y gestión participativa con el Bosque protector Zuleta en la cuenca alta del río Tahuando.
- 6. Ordenamiento y Zonificación Territorial:**
 - Los acuíferos Yuyucocha, Santa Clara, Guaraczapas y La Carbonería cuentan al menos con el 80% de sistemas de uso eficiente del recurso agua.
- 7. Ejecución de la etapa piloto del plan de monitoreo del cumplimiento de los lineamientos de manejo y conservación:** Ejecución del plan piloto de monitoreo.
- 8. Ejecución de una campaña ciudadana de sensibilización y concientización del uso del agua:** Ejecución de sensibilización y concientización a través de las capacitaciones que se propone para la ciudadanía en general y técnicos especializados.

CONCLUSIONES

- Se determinó que la variable física pendiente del terreno fue la que mayormente influyó en la identificación de las zonas de recarga hídrica de la cuenca del río Tahuando, debido a las condiciones geológicas y geomorfológicas del relieve de montaña alta y media.

- La actividad agropecuaria es fundamental en el desarrollo productivo, social y económico de la población y está directamente relacionada con los sistemas hídricos, siendo así que en las vertientes y pozos Yuyucocha, Santa Clara y Guaraczapas, el principal uso del suelo es la actividad agrícola y pecuaria, estas áreas dificultan la recarga hídrica porque son suelos con sobreuso, erosionados y con escasa vegetación arbustiva.
- El área del acuífero La Carbonería está cubierta por varios estratos de vegetación arbustiva y herbácea, lo que favorece altamente la recarga hídrica; el tener este tipo de cobertura vegetal beneficia la conservación de las características del suelo mejorando la capacidad de infiltración y retención del agua.
- Los comuneros de las zonas aledañas a los acuíferos Yuyucocha, Santa Clara y Guaraczapas, tienen escasos conocimientos sobre manejo y conservación de estos importantes acuíferos que proveen de agua a la ciudad de Ibarra, por lo cual las áreas aledañas presentan problemas en cuanto a uso del suelo.
- Las zonas con mayor potencial de recarga hídrica se localizan en la parte alta y media de la cuenca, ya que estas áreas se encuentran cubiertas por vegetación de bosque nativo y matorrales, la precipitación media anual es superior a 1000 mm, de los cuales aproximadamente entre el 14 y 15% del agua de lluvia aporta a la recarga hídrica de los acuíferos.

Recomendaciones

- Es necesario que se concientice a los distintos estamentos de gobiernos seccionales y locales y organizaciones privadas sobre la importancia de conservar y mantener las zonas de recargas hídricas identificadas, haciendo que estos establezcan políticas de manejo hacia las mismas.
- Al caracterizar el uso actual del suelo y determinar que el principal uso es el agropecuario, se debe recuperar y mantener mediante estrategias de diversificación de cultivos y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), especialmente en los suelos de los acuíferos Yuyucocha, Santa Clara y Guaraczapas.
- Una vez planteados mediante metodologías participativas los lineamientos de Conservación y Manejo de los Acuíferos Yuyucocha, Santa Clara, Guaraczapas y La Carbonería, propuestos en el presente estudio, se debe ejecutarlos en su totalidad, ya que en estos se engloban las principales actividades que están encaminadas a la búsqueda de la sostenibilidad de estas zonas de producción hídrica.
- En los acuíferos de La Carbonería se recomienda mantener la cobertura vegetal existente para garantizar la producción de agua del páramo y bosque nativo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldas, J. (2013). Estudio de variación de la cobertura vegetal y estado actual del Cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida. Quito.
- Almeida, L. (2014). Una revisión de la calidad del agua de los ríos de la provincia de Imbabura. Quito.
- Aro, E. R. (2012). Plan para el mantenimiento de diez fuentes de agua con plantas nativas en el cantón otavalo. Ibarra.
- Cano. (2011). Geodinámica reciente del relieve: geo pronóstico de desastres naturales y de cambios geo ecológicos seculares. En: Geodinámica y riesgos naturales, IV encuentro de geógrafos de américa latina, Mérida, Venezuela.
- Carrica, Jorge C. y Lexow, Claudio. 2004. Evaluación de la recarga natural al acuífero de la cuenca superior del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. Rev. Asoc. Geol. Argent., abr. /jun. 2004, vol.59, no.2, p.281-290.
- CATIE. (2009). Geografía física, componentes naturales y paisajes geográficos. Facultad de geografía, universidad de la habana.
- Constitución de la República del Ecuador. (2009). ECUADOR
- Dourojeanni J.R (2004). Evolución geotectónica y endodinámica reciente del relieve como fuerzas motrices corticales de los cambios espacio-temporales de la cobertura terrestre y sus ciclos biogeoquímicos a diferentes escalas multidimensionales. Archivo Inst. Geografía Tropical, La Habana, 17 pp.
- Dominguez, J. Pazmiño E. (2014). Plan de manejo participativo para el aprovechamiento del agua del cerro cubilche. Tesis UTN- FICAYA. Ibarra- Ecuador.
- Faustino, G. (2006). Manejo de cuencas y conservación de suelos. Archivo. Universidad Católica de Chile.
- Guerra, G. (2011). Cuencas hidrográficas. Lima: Universitaria.
- Guides, H. (1976). Funciones dentro de una cuenca hidrológica. Global reach, 59.
- Harol, M. Ruiz, P. (2012). Determinación del potencial de recarga hídrica de las zonas de potencial erosión de las laderas del volcán Imbabura. UTE. Quito – Ecuador.
- INAB. (2003). Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Guatemala: CATI. 106p
- Jiménez, F. 2009. Introducción al manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Turrialba, CR, CATIE. 31 p.
- Losilla, M. 1986. Aguas subterráneas; generalidades, ocurrencia, tipos de acuíferos. In Curso bases hidrológicas para el manejo de cuencas. Mayo 1987. Turrialba, CR, CATIE. 9 p.
- Losilla, M. 1986. Protección de las zonas de recarga de los acuíferos. In Curso bases hidrológicas para el manejo de cuencas. Mayo 1987. Turrialba, CR, CATIE. 8 p.
- Maldonado, C. (2010). Preservación ambiental y desarrollo turístico de la Rinconada de la provincia de Imbabura. Quito.
- Matus, S. (2007). Elaboración participativa de una metodología para identificar zonas potenciales de recarga hídrica aplicada a la subcuenca del río juquapa. Turrialba: CATIE. 247 p.
- Núñez S. 2001. Manejo y conservación de suelos. San José, Costa Rica, EUNED. 263 p.
- Sega, E. (2013). Funciones hidrológicas y socio económicas del las cuencas hidrográficas. Mexico.

- Senra, J. B. (2005). Gestión de los recursos hídricos en las cuencas transfronterizas. Plan nacional de recursos hidricos en Perú (pág. 75). Lima: Limusa.
- UNESCO. (2006). La influencia del hombre en el ciclo hidrológico. En UNESCO. Honduras: Vesca.
- UNESCO. (2006). Manual de uso conservación del agua en zonas rurales en América Latina y el Caribe. Agua, vida y desarrollo, 120.

Handwritten signature of Katherine Mishell Chamorro Castillo in blue ink, enclosed in a blue oval.

Katherine Mishell Chamorro Castillo
CI: 1003823562

Handwritten signature of MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez in blue ink, consisting of several overlapping loops.

MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez
CI: 0400933529