

Diagnóstico sobre la vulnerabilidad ecológica y calidad del agua en la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica

Ecological vulnerability and water quality diagnosis of the stream La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica

Andrea Araya-Ulloa¹, Guillermo Calvo-Brenes^{2*}

Fecha de recepción: 28 de octubre de 2016
Fecha de aprobación: 5 de febrero de 2017

Araya-Ulloa, A; Calvo-Brenes, G. Diagnóstico sobre la vulnerabilidad ecológica y calidad del agua en la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30-3. Julio-Setiembre 2017. Pág 47-58.

DOI: 10.18845/tm.v30i3.3272



1. Bióloga. Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción graduada del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: andre17ulloa@gmail.com.
2. Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: gcalvo@itcr.ac.cr.
*Contacto de correspondencia.



Palabras clave

Calidad del agua; vulnerabilidad ecológica; índice de calidad del agua; recurso hídrico; nacimiento; agua para consumo humano.

Resumen

Cambios en el entorno, tales como el uso del suelo, el tipo de geomorfología de la zona cercana a ríos, así como la intensidad y frecuencia de las precipitaciones pluviales que ocasionan procesos de escorrentía o el uso intensivo en actividades agrícolas y ganaderas; afectan tanto la calidad como la cantidad del recurso hídrico.

El objetivo del estudio fue elaborar una propuesta preliminar de manejo integral de la quebrada La Central que mejorara su calidad por medio de un programa de gestión ambiental. La investigación se llevó a cabo en la quebrada La Central que es la encargada de abastecer a los habitantes de agua para consumo humano de varios pueblos de la provincia de Cartago (Costa Rica).

Primeramente, se evaluó la calidad por medio de un índice de calidad del agua (ICA) en la nacimiento y varios puntos del río sobre el cual descarga la nacimiento, por un período de tres meses de la época lluviosa. Además, se evaluó la vulnerabilidad ecológica en la zona de estudio analizando distintos indicadores ecológicos. También, se hicieron entrevistas como mecanismo para evaluar las prácticas agrícolas de la zona.

Los valores del ICA mostraron un deterioro cada vez mayor de la calidad del agua de la nacimiento, provocado por incrementos en el contenido de nitratos, probablemente asociado a fenómenos de escorrentía causado por el aumento de las lluvias. Si bien estos niveles son menores a los 50 mg/L permitidos en nuestra legislación para agua de consumo humano, la contaminación podría aumentar en los meses de mayores precipitaciones pluviales. Los otros puntos de muestreo mostraron presencia de coliformes fecales, probablemente causados por actividades ganaderas en las zonas altas. La evaluación de la vulnerabilidad ecológica mostró vulnerabilidades altas o muy altas con algunos indicadores ecológicos evaluados.

Se recomendó efectuar un monitoreo de la calidad del agua que incluya los meses de mayor precipitación pluvial así como la implementación de programas de gestión y cultura ambiental con los agricultores y ganaderos de la zona, dentro de las cuales se debe incluir el empleo de buenas prácticas agrícolas.

Keywords

Water quality; ecological vulnerability; water quality index; hydric resource; spring water; drinking water.

Abstract

Changes in the environment, such as land use, type of geomorphology of the area near rivers, as well as the intensity and frequency of rainfall causing runoff processes or intensive use in agriculture and livestock; affect not only the quality but also the quantity of water resources

The aim of the study was to develop a preliminary proposal for comprehensive management of the stream La Central oriented to prevent the introduction of pollutants and on the other hand, improve its quality through an environmental management program. The research was done in the stream La Central that is responsible for supplying the inhabitants of water for human

consumption of several towns in the province of Cartago, Costa Rica. First, water quality was evaluated through a water quality index (ICA) in the spring water and several points of the nearby river, for a period of three months of the rainy season. In addition, the ecological vulnerability was assessed in the study area analyzing different ecological indicators. Interviews were also made to assess agricultural practices in the area. Finally, some recommendations leading to reduce the risk of contamination of the creek and also improve the water quality caused by the environmental effect.

ICA values showed an increasing deterioration of water quality of the spring water, led by increases in nitrate content, probably associated with runoff phenomena caused by major rainfalls. Although in all cases, the value is less than 50 mg/L which is allowed in our legislation for drinking water, pollution may be higher in the months of higher rainfalls. The other sampling points showed the presence of fecal coliforms, probably caused by livestock in the highlands. The assessment of ecological vulnerability was High or Very High vulnerabilities in particular ecological indicators.

It was recommended to carry out monitoring of water quality during the months of highest rainfalls and implementing management and environmental culture programs with farmers and ranchers in the area, along with good agricultural practices.

Introducción

Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos contra la salud que son prevenibles [1]. Estudios efectuados en ríos costarricenses muestran niveles de contaminación altos, especialmente en zonas de alta densidad poblacional [2]. El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionadas con la transmisión de enfermedades como el cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, tifoidea y la poliomielitis [1]. Costa Rica es considerado un país de oferta hídrica: el capital estimado es de 31 318 m³ per cápita y su extracción representa apenas un 5,1 % del total disponible en el país [3]. Desafortunadamente, los niveles de contaminación de los ríos que atraviesan zonas de alta densidad poblacional, son altos [2]. Cambios en el entorno, tales como el uso del suelo, el tipo de geomorfología de la zona cercana a ríos, así como la intensidad y frecuencia de las precipitaciones pluviales que ocasionan procesos de escorrentía o el uso intensivo en actividades agrícolas y ganaderas; afectan tanto la calidad como la cantidad del recurso hídrico [2], [4]. La determinación de la calidad de un cuerpo de agua usualmente conlleva al análisis de una cantidad grande de indicadores. Sin embargo, el uso de índices de calidad del agua (ICAs) simplifica su evaluación ya que sintetiza una gran cantidad de información de muchos indicadores en un solo valor de fácil interpretación. En el caso de los ICAs, es común que las unidades de medición se expresen porcentualmente, donde valores cercanos a 0 % representan a aguas altamente contaminadas y los valores cercanos al 100 % corresponden a aguas no contaminadas. También, es normal la clasificación de la calidad por medio de rangos porcentuales, tal como se indica posteriormente en la figura 2 [4]. Además de los contaminantes vertidos directamente al agua y que afectan su calidad para consumo humano, es necesario tener en cuenta los riesgos causados por el entorno. Un análisis de vulnerabilidad consiste en la determinación del factor de riesgo de un sistema de sufrir eventuales daños o afectaciones. En el tema ambiental interesa evaluar la vulnerabilidad ecológica, la cual estará definida por las condiciones ambientales y ecológicas del entorno. Los indicadores empleados para efectuar este tipo de valoración son: cobertura vegetal, uso del suelo, prácticas de conservación del suelo y el agua, erosión del suelo, contaminación en la zona de estudio, pendiente del terreno, actividades agrícolas y ganaderas, así como las características del suelo [5], [6]. El agua proveniente de ríos o nacientes que se utilizan para

consumo humano, debe ser monitoreada frecuentemente, tanto con análisis fisicoquímicos como microbiológicos. Igualmente es importante efectuar análisis de vulnerabilidad ecológica con el objeto de implementar programas de gestión y cultura ambiental con los habitantes de la zona de estudio, con el fin de reducir el riesgo de contaminación directa al río. Por otra parte, un mejor manejo del entorno provoca una mejora en la calidad de las aguas [2], [4]. El objetivo del estudio fue elaborar una propuesta preliminar de manejo integral de la quebrada La Central orientada a evitar la introducción de agentes contaminantes y por otro lado, mejorar su calidad por medio de un programa de gestión ambiental. Primeramente, se evaluó la calidad en la naciente y en varios puntos cercanos al río sobre el cual descarga la naciente, por medio de un ICA. Además, se evaluó la vulnerabilidad ecológica en la zona de estudio analizando distintos indicadores ecológicos. También, se hicieron entrevistas como mecanismo para evaluar las prácticas agrícolas empleadas por los agricultores de la zona. Finalmente, se propusieron algunas recomendaciones que conduzcan a reducir el riesgo de contaminación de la quebrada y repercutan también en una mejora de la calidad del agua por efecto del entorno.

Materiales y métodos

Sitio del estudio y características geomorfológicas

La investigación se llevó a cabo en la quebrada La Central que es la encargada de abastecer de agua para consumo humano a los habitantes de varios pueblos de la provincia de Cartago (Costa Rica): Cot de Oreamuno, así como Buenos Aires y Barrio Fátima de Pacayas de Alvarado. La quebrada se ubica en la parte media de la subcuenca del río Birrís (figura 1) y la forma de su recorrido es irregular, con pendientes y cascadas considerables en zonas aledañas al área de captación del agua. Esta geomorfología del terreno puede repercutir en impactos negativos en la calidad del agua, especialmente durante la ocurrencia de escorrentías provocadas por lluvias fuertes.

Además, la presencia de asentamientos humanos cercanos a la quebrada, la existencia de un antiguo botadero clandestino y el cambio del uso del suelo para las actividades agrícolas y ganaderas, son factores que pueden afectar negativamente la calidad de sus aguas.

Análisis de calidad del agua

Los puntos de muestreo para evaluar la calidad del agua fueron: la naciente, un punto de muestreo aguas arriba y otro, aguas abajo, en una quebrada cercana en la cual descarga la naciente. También se muestreó un tanque de captación de agua (figura 3).

Los muestreos para el análisis fisicoquímico y microbiológico se llevaron a cabo en los meses de Mayo, Junio y Julio del año 2015.

La calidad del agua se evaluó por medio del índice de calidad (ICA) propuesto por Calvo [2] y codificado como ICA-4b-Gmo en su investigación. Este índice ha demostrado ser el más apropiado para una adecuada evaluación de la calidad de las aguas para Costa Rica, en lugar del tradicional índice holandés que se indica en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales [7]. Estudios comparativos efectuados en el pasado con distintos ICAs, pueden ser consultados en la tesis de grado titulada Modelo de Predicción de la Calidad del Agua en Ríos basado en Índices e Indicadores del Recurso Hídrico y el Entorno Socio Ambiental [2]. La evaluación de la calidad del agua por medio del índice de Calvo [2], requiere del análisis de los siguientes indicadores fisicoquímicos y microbiológicos: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), porcentaje de saturación de oxígeno, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo de fosfatos, alcalinidad, turbiedad y coliformes fecales.

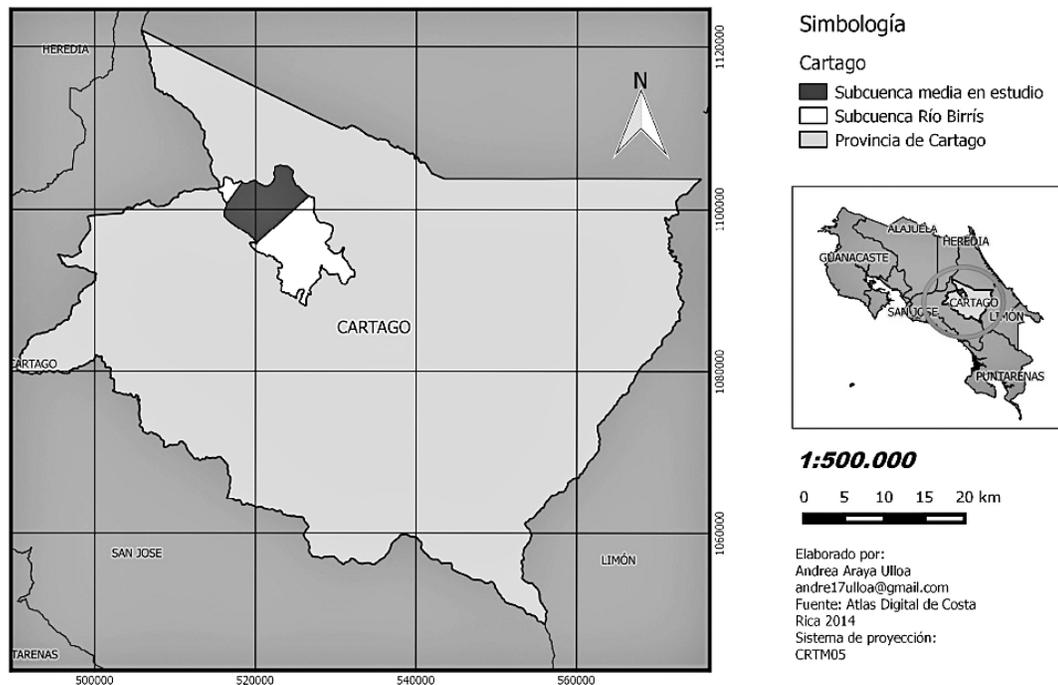


Figura 1. Zona de estudio ubicada en la subcuenca del río Birris en Pacayas de Alvarado Cartago (Costa Rica).

El muestreo y los análisis de los distintos indicadores fisicoquímicos y microbiológicos se efectuó siguiendo el procedimiento descrito en [8]. El ICA se calculó empleando la fórmula de agregación de los subíndices (SI) 1 [2]:

$$ICA = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (1)$$

donde:

Sli es el subíndice de cada indicador.

n es el número total de indicadores utilizados en el cálculo.

El cálculo de los distintos Sli se efectuó empleando las transformaciones que se indican en el cuadro 1 con el fin de homologar las diferentes magnitudes y unidades que emplea cada indicador. Mayores detalles se encuentran en la tesis de Calvo [2].

La figura 2 muestra la clasificación de la calidad del agua dividida en rangos y colores propuesta por Calvo [2]. Esta clasificación concuerda con la utilizada por el reglamento costarricense [7], así como la codificación por colores. De esta manera, valores del ICA entre 90-100 % corresponde a una clasificación de la calidad del agua a la Clase 1 (sin contaminación), valores entre 80-90 % es para la Clase 2 (contaminación incipiente), la Clase 3 (contaminación moderada) está asociada a valores entre 60-80 %, la Clase 4 (contaminación severa) es para el rango entre 40-60 % y la Clase 5 (contaminación muy severa) le corresponde a valores menores al 40 %, ver [2], [4].

Evaluación de variables ambientales

Los distintos niveles de elevación geográfica en la zona de estudio se determinaron utilizando el programa de cómputo *Google Earth*.

Cuadro 1. Fórmulas para el cálculo del SI para varios indicadores de la calidad del agua, ajustadas a las condiciones ambientales y reglamentarias de Costa Rica.

Indicador	Fórmula
Alcalinidad	SI= 100 para $X \geq 31.9$ $SI = \frac{a * b + c * x^d}{b + x^d}$ donde $a = -1.63 * 10^{-11}$, $b = 20,10495$, $c = 263,2578$, $d = 0,725064$
Coliformes fecales	SI= 0 para $X \geq 9000$ $SI = a + bx + cx^2$ donde $a = 96,42218$, $b = -0,0195$, $c = 9,80 * 10^{-07}$
Demanda bioquímica de oxígeno	$SI = \frac{1}{a + bx^c}$ donde $a = 0,010027$, $b = 0,000352$, $c = 1,735142$
Fósforo de fosfatos	$SI = \frac{1}{(a + bx - cx^2)}$ donde $a = 0,01012$, $b = 0,020003$, $c = 0,009649$
Nitratos	SI= 0 para $X \geq 22.4$ $SI = a + bx + cx^2$ donde $a = 99,42857$, $b = -0,57143$, $c = -0,17143$
Nitrógeno amoniacal	$SI = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ donde $a = -124,008$, $b = -2,24954$, $c = -0,22761$
Porcentaje de saturación de oxígeno	$SI = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ donde $a = 101.1401$, $b = 48.05573$, $c = 0.081714$
Turbiedad	$SI = a + bx + cx^2$ donde $a = 97,50282$, $b = -0,18567$, $c = 0,0000882$ SI= 0 para $X > 1000$

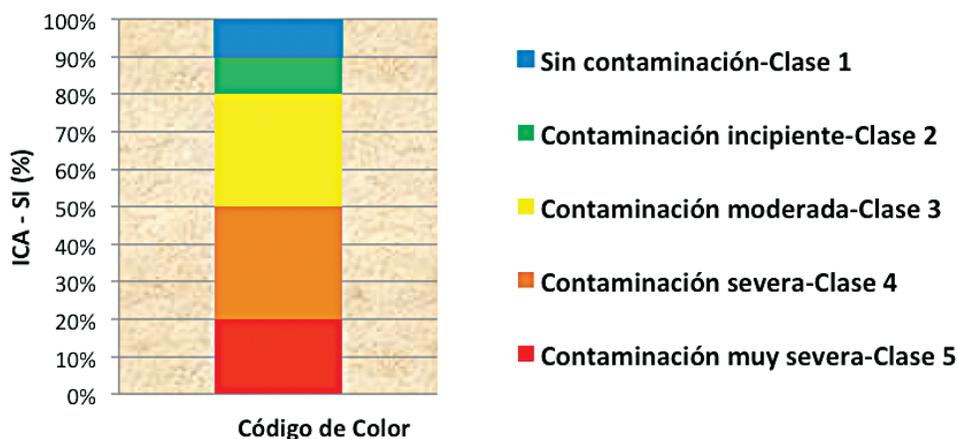


Figura 2. Clasificación de la calidad del agua por clases. Fuente: Calvo-Brenes, 2013.

El análisis del uso del suelo y la cobertura vegetal se evaluaron con la ayuda de imágenes áreas y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), utilizando el programa Quantum GIS 2.8.2. Además, se definieron seis categorías de uso del suelo: cultivos estacionales,

pasto, pasto arbolado, ganadería, residencias y zona boscosa, siguiendo la recomendación de [9] con algunas modificaciones [2]. El muestreo, preparación de las muestras y análisis de compactación del suelo se efectuaron siguiendo las recomendaciones de [10]. La densidad aparente del suelo se calculó a partir de la fórmula:

$$D.a. \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{Peso seco del suelo (g) 24h a 105 }^\circ\text{C}}{\text{Volumen del suelo (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

donde:

D.a.: Densidad aparente

La textura del suelo, que es el contenido porcentual de arena, limo y arcilla, se determinó por el método de Bouyoucos [11]. Posteriormente, se utilizó el triángulo textural del suelo propuesto por el U.S. Department of Agriculture de los Estados Unidos de América (USDA) para efectuar la clasificación textural cualitativa [4]. La determinación de la infiltración se llevó a cabo in situ. Para ello se establecieron seis puntos de muestreo en un suelo no disturbado desnudo en la zona de estudio. Para cada sitio se colocó un infiltrómetro de un anillo, y se incorporó al suelo hasta una profundidad de 3 pulgadas. Luego con un plástico se cubrió el anillo y se vertieron 107 ml de agua destilada en el revestimiento de plástico. Seguidamente se tiró del plástico suavemente, y se anotó el tiempo que el agua tardó en infiltrarse al suelo [12].

Vulnerabilidad ecológica

La vulnerabilidad ecológica se calculó utilizando la metodología propuesta por [13], [5], [6]. Los indicadores ecológicos para este tipo de valoración son: cobertura vegetal, uso del suelo, prácticas de conservación del suelo y el agua, erosión del suelo, contaminación, pendiente del terreno, agricultura, ganadería y características del suelo.

La calificación de la vulnerabilidad ecológica para cada indicador se evaluó utilizando el siguiente rango de 0 a 4, donde 0 corresponde a vulnerabilidad nula o muy baja, 1 a vulnerabilidad baja, 2 a vulnerabilidad media, 3 a vulnerabilidad alta y 4 a vulnerabilidad muy alta. La clasificación en cada indicador se llevó a cabo siguiendo niveles de vulnerabilidad propuestos por González [6]. La vulnerabilidad ecológica global se obtuvo sumando el valor asignado de 0 a 4 para cada indicador evaluado y dividiéndolo entre el número de puntos posible que se puede obtener [6], [5].

Conversatorio participativo

Se realizó un conversatorio con un residente de la zona de San Martín de Irazú y con miembros de la Agencia de Servicios Agropecuarios del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Pacayas de Alvarado.

La actividad estuvo orientada a conocer el tipo de productos agrícolas que se siembran en la zona, el tipo de actividad ganadera, el tipo y cantidades de sustancias agroquímicas que se emplean en la zona y las prácticas comunes que emplean los campesinos en su uso, aplicación y la posterior disposición de los residuos de agroquímicos utilizados.

Resultados y discusión

Calidad del agua

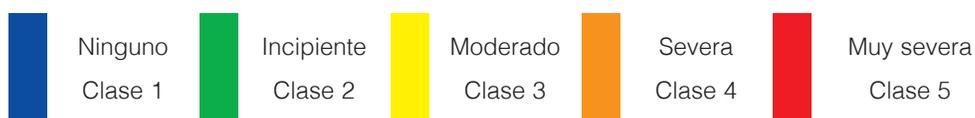
El cuadro 2 muestra la calidad del agua evaluada en los cuatro puntos de muestreo con su respectivo valor numérico porcentual. En el 83,3 % de los casos evaluados en el tiempo y el espacio, los niveles de contaminación van desde “incipiente” hasta “muy severa”. Únicamente

en el 16,3 % de los casos evaluados en el tiempo y el espacio, el agua se clasificó como Clase 1, correspondiente a la clase apta para consumo humano, según la normativa costarricense.

Cuadro 2. Clasificación numérica de calidad del agua de la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado Cartago (Costa Rica).

Punto de muestreo	Mes de muestreo		
	Mayo	Junio	Julio
Quebrada abajo	88,2	0,0	0,0
Naciente	93,9	74,8	48,1
Tanque de captación	93,9	0,0	0,0
Quebrada arriba	47,8	77,0	0,0

NIVELES DE CONTAMINACION:



Es importante mencionar que el ICA utilizado para evaluar la calidad del agua, fue elaborado en el 2013 utilizando datos del Reglamento para la Clasificación y Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales [7]. Este reglamento establece un límite máximo en nitratos de 5 mg/L para la Clase 1, que es agua de calidad para consumo humano con tratamiento previo. Sin embargo, el Ministerio de Salud emitió un nuevo reglamento en el 2015 para la calidad del agua potable donde se modifica este límite a un máximo permisible de 50 mg/L. Por otra parte, no se han hecho las modificaciones correspondientes al Reglamento para la Clasificación y Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, el cual todavía sigue vigente y sobre el cual se desarrolló el ICA utilizado.

El punto de muestreo de mayor interés es la Naciente por ser la zona donde se recolecta el agua que se usa para consumo humano. Este punto registró un nivel de contaminación Moderada en Junio y de Severa en Julio. En ambos casos, el indicador causante de la contaminación fue la presencia de nitratos. En Junio el nivel de nitratos fue de 16,80 mg/L y en Julio fue de 20,00 mg/L. El incremento en niveles mayores de nitratos concuerda con incrementos importantes en la precipitación pluvial la noche previa al muestreo, según el reporte técnico. De acuerdo a lo anterior, se infiere que las fuertes lluvias y la consecuente escorrentía están asociados a niveles altos de nitratos [14]. En los otros puntos de muestreo, la calidad inferior del agua fue causada por niveles altos de nitratos, cuyo rango fue de 15 hasta 24 mg/L; mientras que, en otros casos, esta calidad inferior estuvo asociada a la presencia de niveles altos en coliformes fecales. Durante el estudio se registraron concentraciones de 93, 430 y 1100 NMP/100 mL en los puntos Quebrada Arriba y Quebrada Abajo. El nivel máximo permitido de este indicador es 0 NMP/100 mL para aguas para consumo humano. Estos niveles de contaminación en puntos cercanos a la Naciente deben ser motivo de preocupación y una alerta a la necesidad de llevar a cabo monitoreos más frecuentes en dicha fuente de agua potable. En Junio, se obtuvieron dos de las mayores concentraciones de coliformes fecales, coincidiendo con la ocurrencia de fuertes lluvias. En Costa Rica, los mayores eventos pluviales ocurren normalmente en Octubre

y Noviembre, lo que puede implicar mayores niveles de contaminación en el agua por parte de estos dos indicadores. También las primeras lluvias del invierno asociados con los procesos de escorrentía, recolectan la materia orgánica que se deposita durante la época de verano y que posteriormente es arrastrada por el efecto de las lluvias hacia los ríos cercanos [15], [4].

Uso del suelo

La cuantificación del uso del suelo mostró que un 47 % del área en la zona de estudio corresponde a zona boscosa, mientras que un 27 % están dedicadas a cultivos estacionales (figura 3). Sin embargo, la cobertura boscosa que protege la naciente es mucho menor, tal como se puede observar en la figura 3.

Los cultivos sembrados en las zonas altas se encuentran ubicados principalmente en la parte noreste y oeste de la quebrada, mientras que la permanencia de ganado de pastoreo ocurre en la parte suroeste. La existencia de una pendiente decreciente hacia la naciente (figura 3) aumenta el riesgo de la incorporación de distintos contaminantes en la fuente de agua potable por procesos de infiltración y escorrentías durante periodos de lluvia. Lo anterior fue corroborado por Calvo en [2], [4] al estudiar la relación existente entre el entorno y ciertas actividades humanas con respecto a la calidad del agua.

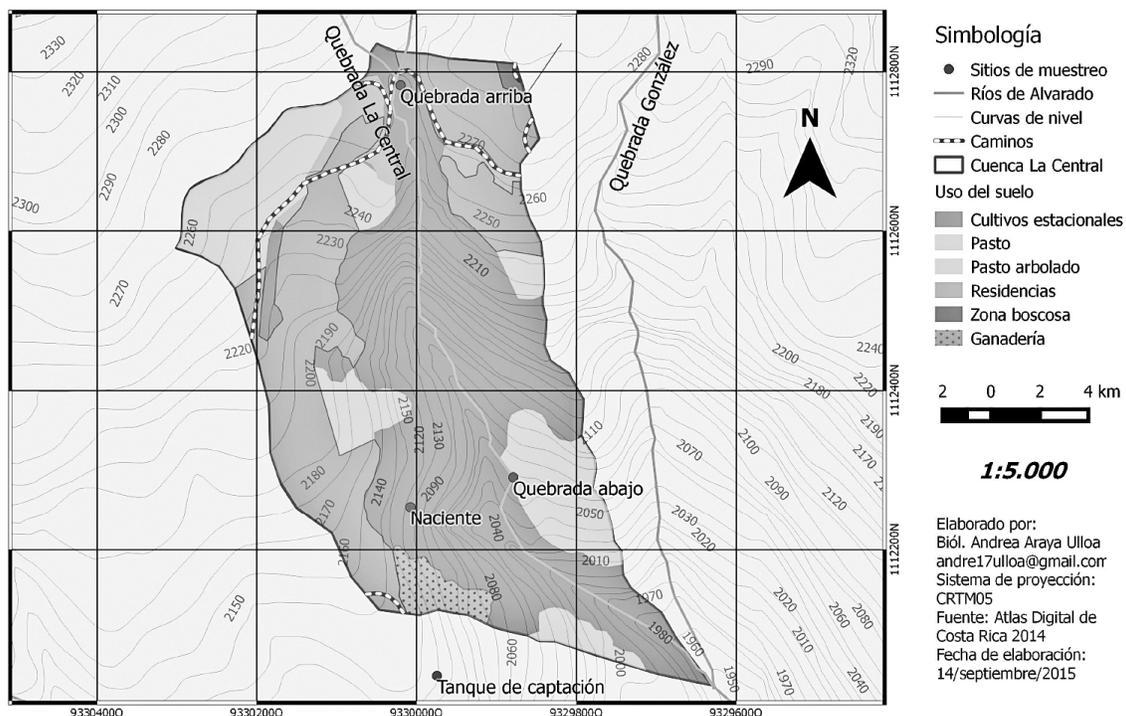


Figura 3. Mapa del uso del suelo en zona de estudio.

La zona boscosa que rodea la quebrada La Central parece ser insuficiente para proteger el agua, dada la pendiente descendente que existe hacia el recurso hídrico y a la práctica de actividades agrícolas. Los cultivos usuales son de papa, repollo, brócoli, coliflor y zanahoria, los cuales generan una mayor erosión de los suelos favoreciendo los procesos de escorrentía [4]. También se corroboró por visitas de campo la práctica de quemas a campo abierto de basura domiciliaria en un sector de la zona de estudio.

Características del suelo

Datos suministrados por la Agencia de Servicios Agropecuarios del MAG ubicada en la zona de Pacayas, indican que el suelo es de origen volcánico de color oscuro y poroso, con una gran cantidad de nutrientes esenciales para el desarrollo óptimo de cultivos agrícolas y pasturas, pero un poco susceptibles a la compactación. Esta podría ser una de las razones por las cuales se da alta actividad agrícola por esa zona.

El análisis de la textura se llevó a cabo con dos tipos de muestras, unas recolectadas de 0 a 20 cm de profundidad y otras de 0 a 40 cm. En el primer caso, el contenido de arena fue de 18,23 %, en arcilla fue de 50,31 % y de limo de 31,46 %. En el segundo caso, la textura correspondió en contenido de arena en un 29,27 %, en arcilla un 52,27 % y en limo con 18,46 %. En ambos casos, la clasificación cualitativa por medio del triángulo textural corresponde a suelo de tipo arcilloso. Los suelos arcillosos favorecen la ocurrencia de escorrentía, una baja infiltración del agua de lluvia [4] y representan una vulnerabilidad Muy Alta.

Los niveles de infiltración evaluados fueron de 2,59 cm/hora, valor que se encuentra dentro de niveles de vulnerabilidad Muy Baja. Por otra parte, el nivel de compactación del suelo fue de 13,55 % lo que corresponde a un suelo poco compactado y a un nivel de vulnerabilidad catalogada como Baja. La presencia de pastos y las condiciones climáticas propias del sitio, permiten el desarrollo de la ganadería lechera. Las actividades ganaderas pueden ser la causa de los valores altos en coliformes fecales, detectados en los puntos muestreados que se mencionaron anteriormente.

Actividades agrícolas

La utilización de fertilizantes y plaguicidas, cuyo uso fue corroborado en la etapa de entrevistas, son dos prácticas agrícolas que incrementan el riesgo de contaminación en la naciente. El uso de plaguicidas y fertilizantes nitrogenados para la siembra de cultivos, es una costumbre generalizada por parte de los agricultores de la zona. Los agricultores usan aproximadamente 11 distintos fertilizantes, así como 15 diferentes plaguicidas y herbicidas.

En los alrededores de la quebrada La Central se utilizan agroquímicos formulados con ingredientes restringidos para su venta según [16], [17] como el Gramoxone empleado en grandes cantidades en la papa, el Lorsban utilizado en papa, brócoli y coliflor, y el Roundup catalogado probablemente como un pesticida cancerígeno para los humanos [18]. La utilización de fertilizantes nitrogenados en cantidades mayores de la que pueden absorber los cultivos, provoca que estos sean eliminados por la acción del agua o del viento antes de que puedan ser absorbidos [19]. Los excesos de nitrógeno pueden ser arrastrados a los cauces o infiltrarse en las aguas subterráneas [20]. Esta podría ser la causa de los altos valores de nitratos encontrados en el análisis fisicoquímico de la quebrada La Central.

Vulnerabilidad ecológica

El estudio de vulnerabilidad ecológica global fue de un 55,79 %, que corresponde a una vulnerabilidad media para la quebrada La Central, de acuerdo a la metodología empleada. Sin embargo, se encontraron vulnerabilidades altas o muy altas en indicadores particulares relacionados con prácticas de conservación de suelos y aguas, presencia de residuos sólidos o basura, suelos desprotegidos por su empleo en cultivos de tipo temporal, cantidad alta de agricultores en la zona de estudio, así como el uso constante de fertilizantes y plaguicidas cercanos al recurso hídrico. También la textura del suelo y su pendiente contribuyen a la existencia de vulnerabilidades muy altas, así como el uso del suelo en actividades agrícolas.

Conclusiones y recomendaciones

Los niveles altos de nitratos y coliformes fecales, posiblemente relacionados a niveles de escorrentía asociados al ciclo hidrológico, se constituyen en una alerta sobre el riesgo de mayor contaminación por parte de estos indicadores durante la época de mayor precipitación pluvial durante el año. Es recomendable efectuar un monitoreo más frecuente durante los meses de la época lluviosa en la quebrada.

Mediante la investigación, se constató la falta de infraestructura de protección en las nacientes y en los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano. Se recomienda la construcción de una estructura alrededor de la naciente con el fin de reducir su vulnerabilidad. La existencia de este tipo de estructuras es de gran ayuda en la reducción de riesgo de contaminación de la naciente.

A pesar de que instituciones como el MAG y la Municipalidad de Alvarado desarrollan acciones puntuales hacia mejores prácticas de conservación, existe un uso insostenible de los recursos naturales, que en parte se debe al poco involucramiento y falta de comunicación entre habitantes y entidades locales. Se debe promover la participación de los agricultores y ganaderos, el gobierno local e instituciones gubernamentales, con el fin de desarrollar programas orientados a una mejor gestión y cultura ambiental que incluyan buenas prácticas agrícolas y ambientales en la zona de estudio, las ventajas de la silvicultura y el uso adecuado y responsable de plaguicidas, herbicidas y abonos, así como el manejo de los desechos. Ir en busca a la adopción de nuevos sistemas de producción, que involucren la diversidad agrícola, la óptima utilización de los recursos naturales, el hacer de la agricultura y ganadería actividades más productivas y sostenibles, enfocadas en reducir los impactos negativos sobre el ambiente y en especial, en la quebrada.

Con el fin de fomentar la conservación del medio ambiente, se insta la colocación total de hidrómetros o medidores de agua domiciliarios, manejados bajo un servicio al costo, por el recurso hídrico consumido. Esto además de concientizar, permitirá dar uso eficiente y un manejo adecuado del agua y prolongar la disponibilidad de la misma.

La cobertura forestal que rodea el margen de la quebrada, es escasa, se debe incrementar la zona riparia con especies nativas a lo largo del cauce. Esto reducirá los procesos de sedimentación y erosión, y creará un sistema de absorción de nitratos y otros contaminantes. El sistema de abastecimiento de agua para consumo humano del cantón de Alvarado, podría funcionar mejor si se obtiene el apoyo de los usuarios y se inculca un sentimiento de pertenencia.

Los datos sobre los niveles de contaminación, así como la literatura que existe sobre la relación entre variables socio ambientales y la contaminación de ríos, representan una información importante para concientizar sobre el impacto negativo que se ejerce sobre el ambiente.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). También, agradecemos al Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) y al Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC) por su gran respaldo a esta investigación.



Referencia

- [1] OMS, «Organización Mundial de la Salud,» Noviembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.who.int/media-centre/factsheets/fs391/es/>. [Último acceso: 9 Setiembre 2015].
- [2] G. Calvo-Brenes, «Modelo de Predicción de la Calidad del Agua en Ríos Basado en Índices e Indicadores del Recurso Hídrico y el Entorno Social Ambiental,» San José, Costa Rica, 2013.
- [3] D. M. Hidalgo, «Recurso Hídrico en Costa Rica,» de *Diagnóstico de los Recursos Hídricos en América Latina*, Pearson Education, 2013, pp. pp. 220-253.
- [4] G. Calvo-Brenes, Ríos: Fundamentos sobre su calidad y la relación con el entorno socioambiental, Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2015.
- [5] F. Jiménez, J. Faustino y S. Velásquez, «Análisis Integral de la Vulnerabilidad a Amenazas Naturales en Cuencas Hidrográficas de América Central,» de *Semana Científica 2004*, Turrialba, Costa Rica, 2004, pp. pp. 50-53.
- [6] W. González Carrasco, «Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá,» Turrialba, Costa Rica, 2011.
- [7] MINAE, «DIGECA,» 17 Septiembre 2007. [En línea]. Available: <http://www.digeca.go.cr/legislacion/decreto-33903-reglamento-para-la-evaluacion-y-clasificacion-de-la-calidad-de-cuerpos-de>. [Último acceso: 2 Junio 2015].
- [8] APHA-AWWA-WEF, «Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition,» American Public Health Association, 2012. [En línea]. Available: <https://www.standardmethods.org/>. [Último acceso: 2 Junio 2015].
- [9] A. Hernández Ulate, «Geomorfología, uso de la tierra y dinámica erosión sedimentación como aspectos claves para iniciar la gestión ambiental en la cuenca hidrográfica del río Nosara, Guanacaste, Costa Rica,» Costa Rica, 2010.
- [10] E. Esquivel, R. Rubilar y D. Faúndez, «Manual de Laboratorio de Suelos y Nutrición Forestal,» no publicado, Chile, 2011.
- [11] A. Chavarría, «Manual de Edafología,» no publicado, Cartago, Costa Rica, 2010.
- [12] USDA y NRCS, «Soil Health for Educators,» 2014. [En línea]. Available: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051576.pdf. [Último acceso: 4 Diciembre 2015].
- [13] G. Wilches-Chaux, «La Vulnerabilidad Global,» de *Los Desastres no son Naturales*, Bogotá, Colombia, Marskey. A. Comp. La Red, 1993, pp. pp 11-44.
- [14] DEQ, «Department of Environmental Quality,» 13 2 2014. [En línea]. Available: <http://www.deq.state.or.us/wq/pubs/factsheets/drinkingwater/NitrateSpanishVersion.pdf>. [Último acceso: 3 Noviembre 2015].
- [15] G. Calvo-Brenes y J. Mora-Molina, «Contaminación fecal en varios ríos de la Gran Área Metropolitana y la Península de Osa,» *Tecnología en Marcha*, vol. 25, n° 4, pp. pp. 34-39, 2012.
- [16] E. Rojas Cabezas, «Prohibición y Restricción en el Uso y Comercialización de Plaguicidas Agrícolas en Costa Rica,» *Agronomía Costarricense*, vol. 40, n° 1, pp. pp. 89-105, 2016.
- [17] SFE, «Servicio Fitosanitario del Estado MAG Costa Rica,» 2016. [En línea]. Available: https://www.sfe.go.cr/DocsStatusRegistro/Plaguicidas_prohibidos_restringidos.pdf. [Último acceso: 12 Diciembre 2015].
- [18] WHO, «IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides,» France, 2015.
- [19] FAO, «Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030,» Roma, Italia, 2002.
- [20] J. J. Martínez Bastida, «El Nitrógeno en las Aguas Subterráneas de la Comunidad de Madrid: Descripción de los Procesos de Contaminación y Desarrollo de Herramientas para la Designación de Zonas Vulnerables,» Madrid, España, 2009.