

Evaluación de dos índices de calidad del agua en varios sitios de la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica

Evaluation of two water quality indices in several sites of the La Central stream, Pacayas de Alvarado, Costa Rica

Guillermo Calvo-Brenes^{1*}, Andrea Araya-Ulloa²

Fecha de recepción: 16 de enero de 2018

Fecha de aprobación: 24 de abril de 2018

Calvo-Brenes, G; Araya-Ulloa, A. Evaluación de dos índices de calidad del agua en varios sitios de la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-4. Octubre-Diciembre 2018. Pág 73-83.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v31i4.3966>



- 1 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
- 2 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.

Palabras clave

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

Resumen

La quebrada La Central ubicada en San Martín de Irazú es la corriente que abastece de agua para consumo humano, a tres comunidades del distrito de Pacayas de Alvarado de Cartago. La quebrada actualmente se encuentra rodeada por un entorno en que imperan actividades intensivas de tipo agrícola y ganadero, y con un bajo porcentaje de recursos forestales. Además, el terreno posee una pendiente que favorece la ocurrencia de escorrentías hacia la quebrada en tiempos de lluvia. Todos estos factores afectan negativamente la calidad de la naciente. El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad del agua en varios sitios de la quebrada: la naciente, la quebrada abajo, el tanque de captación y la quebrada arriba. La evaluación se llevó a cabo por medio de dos índices de calidad del agua (ICAs): el holandés y el propuesto por Calvo-Brenes, que considera aspectos ambientales y la normativa costarricense. El índice holandés requiere del análisis de tres indicadores de calidad fisicoquímicos, mientras que el segundo evalúa siete indicadores fisicoquímicos y microbiológicos. Se encontró que el índice holandés subvalora la calidad del agua en comparación con el nuevo índice propuesto por Calvo-Brenes. Esta diferencia se debe principalmente a los niveles de nitratos y coliformes fecales que afectan negativamente la calidad de las aguas, indicadores que no son evaluados por el índice holandés. Se concluye que el nuevo índice propuesto evalúa adecuadamente la calidad de las aguas y demostró ser un índice sensible a cambios de calidad del agua.

Keywords

Water quality; water quality index; hidric resource; nascent; water for human consumption.

Abstract

La Central Stream located in San Martín de Irazú is the current that supplies water for human consumption, to three communities of the Pacayas district of Alvarado de Cartago. The stream is currently surrounded by an environment in which intensive agricultural and livestock-type activities prevail, and with a low percentage of forest resources. In addition, the land has a slope that favors the occurrence of runoff to the ravine in rainy weather. All these factors negatively affect the quality of the nascent. The objective of the research was to evaluate the quality of the water in several places of the creek: the nascent, the creek downstream, the catchment tank and the creek upstream. The evaluation was carried out by means of two water quality indexes (ICAs): the Dutch one and the one proposed by Calvo-Brenes, which considers environmental aspects and the Costa Rican regulations. The Dutch index requires the analysis of three chemical physical quality indicators, while the second evaluates seven physicochemical and microbiological indicators. It was found that the Dutch index underestimates water quality compared to the new index proposed by Calvo-Brenes. This difference is mainly due to the levels of nitrates and fecal coliforms that negatively affect the quality of the waters, indicators that are not evaluated by the Dutch index. It is concluded that the proposed new index adequately evaluates water quality and proved to be an index sensitive to changes in water quality.

Introducción

La cantidad total de agua fresca que existe actualmente en el mundo puede satisfacer todas las necesidades de la raza humana si la misma estuviera uniformemente distribuida y fuera accesible [1], [2]. Diferentes regiones del mundo enfrentan distintos tipos de problemas asociados a la disponibilidad del recurso, su uso y control. Su conservación y su calidad están estrechamente vinculadas prácticamente a todas las actividades económicas y sociales en forma ineludible, así como a la salud de la población. Existe una relación directa entre la pobreza y el nivel de desigualdad al acceso al agua potable: a mayor desigualdad, hay mayor pobreza [3].

La determinación de la calidad de un cuerpo de agua usualmente conlleva el análisis de una cantidad grande de indicadores. Los indicadores son datos estadísticos o mediciones de una cierta condición, cambio de la calidad o del estado de lo que se evalúa y se expresan en diferentes magnitudes y unidades, que difieren entre sí y con diferente comportamiento, en términos de su relación concentración-impacto [4].

Si varios indicadores se integran de forma que generan un solo valor, se les denomina índices [1], [5]. Por tanto, un índice es usado para sintetizar una gran cantidad de información de muchas variables o indicadores, que se transforman en una sola variable y que es fácil de entender e interpretar. Para que un índice sea práctico, debe de reducir una cantidad grande de indicadores a una forma más simple, proceso en el cual algo de la información se sacrifica. Sin embargo, un buen diseño del índice conlleva a que el valor suministrado por el índice sea representativo de la calidad del agua y de su tendencia [6]. Un índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color [5].

Todos los indicadores que forman parte de un índice deben ser homologados a una sola escala, dada la diferencia que presentan tanto en magnitud como en unidades. Se les llama subíndices a estos indicadores que han sido transformados a su nueva escala, usualmente de 0 a 100 %. En la etapa final, los subíndices son agregados para obtener el índice final utilizando alguna fórmula de agregación que hayan sido propuestas en el pasado [7].

Uno de los índices adoptados en Costa Rica para medir la calidad de las aguas superficiales es el Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los cuerpos de agua superficiales, según decreto No. 25018-MEIC, publicado en La Gaceta 59 del 25 de marzo de 1996 [8]. El índice se basa en la obtención de un puntaje de acuerdo con tres indicadores analizados: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), el oxígeno disuelto (OD) y el nitrógeno amoniacal ($N-NH_4^+$). El índice holandés tiene la ventaja que requiere únicamente de tres indicadores; sin embargo, esa simplicidad deja por fuera el uso de otros indicadores importantes como lo son los relacionados con la salud, entre ellos el contenido de coliformes fecales. También se ha corroborado que, en algunos casos, tiende a subvalorar el nivel de contaminación de los ríos [9].

Calvo-Brenes propuso un nuevo indicador para Costa Rica, codificado como ICA-4b-Gmo en su investigación [9] y requiere del análisis de los siguientes indicadores fisicoquímicos y microbiológicos: demanda bioquímica de oxígeno, porcentaje de saturación de oxígeno (PSO), nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo de fosfatos, alcalinidad, turbiedad y coliformes fecales.

Torres *et al* [10] y García [11] mencionan como limitante en el uso de los índices el hecho de que hayan sido desarrollados bajo diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra, así como las diferencias en la reglamentación de cada país, el tipo de indicadores empleados en cada índice y la forma de su cálculo.

El objetivo del proyecto fue evaluar dos diferentes índices, el índice holandés cuyo uso es recomendado en la legislación costarricense y el propuesto por Calvo-Brenes [9], siendo este último desarrollado para Costa Rica pues se consideró las características ambientales del país y la normativa vigente. La confiabilidad de cada índice en la clasificación de la calidad

del agua se evaluó comparando estos resultados con los datos correspondientes en el cuadro de parámetros complementarios para la determinación de la calidad del agua por clases, que especifica la reglamentación costarricense [8]. Un índice confiable no debería mostrar discrepancias importantes con respecto a los rangos de clasificación de la calidad de nuestra legislación para cada indicador analizado individualmente.

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. También se analizó la calidad de algunos sitios cercanos a la naciente.

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.

Sitios de muestreo 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 2).

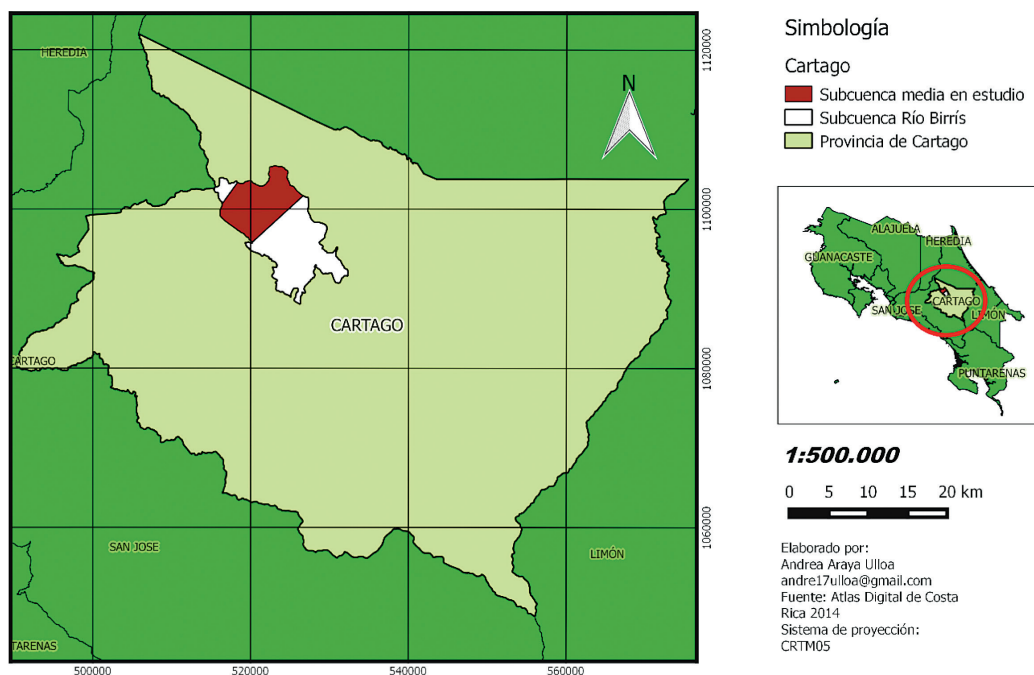


Figura 1. Zona de estudio ubicada en la subcuenca del río Birrís en Pacayas de Alvarado Cartago (Costa Rica).

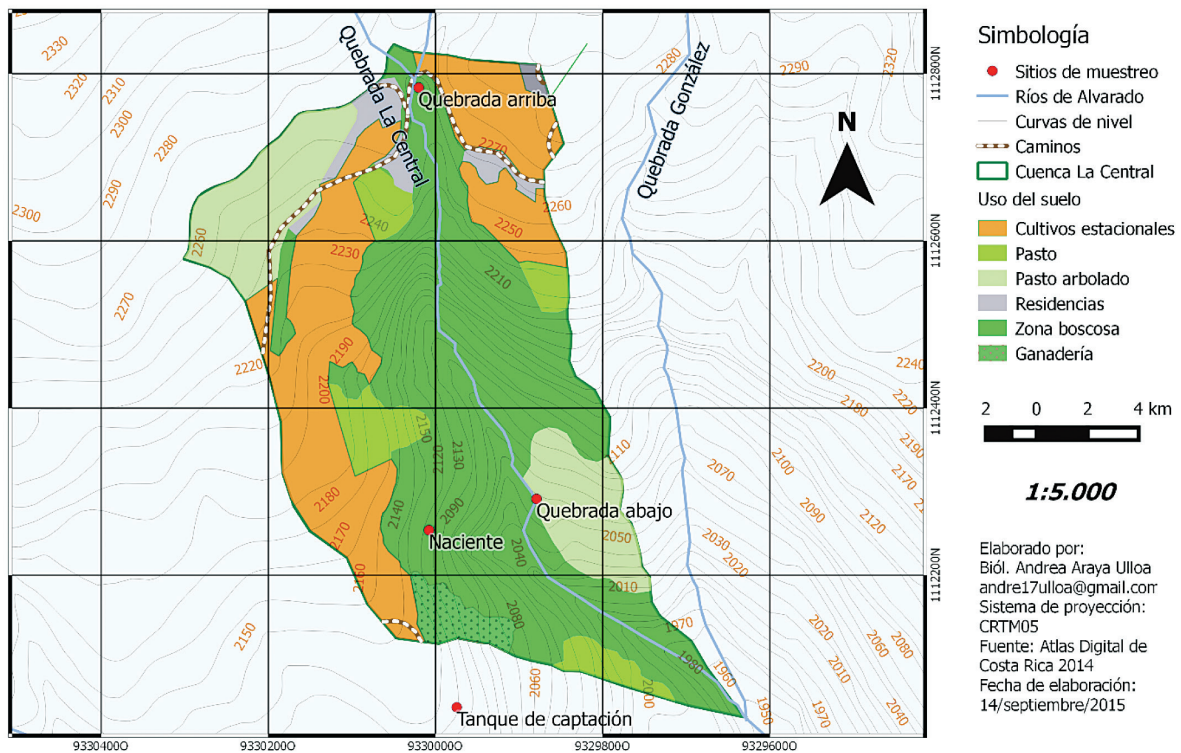


Figura 2. Mapa de los puntos de muestreo en la zona de estudio.

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

Análisis de indicadores de calidad

El análisis de los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos se llevó a cabo siguiendo las metodologías establecidas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [12].

Análisis de calidad del agua

El análisis de la calidad del agua se llevó a cabo empleando dos índices: el holandés [9] y el ICA-4b-Gmo [8].

Índice Holandés

El índice se calcula evaluando tres importantes variables de la contaminación del agua: DBO_5 , $N-NH_4^+$ y el OD convertido en PSO, cada valor de las variables es trasladado a un código de colores asignado por clases [8]. La clasificación de la calidad del agua se obtiene sumando los puntos correspondientes en cada uno de los ámbitos respectivos, de cada una de las variables de acuerdo con el cuadro 1.



Luego la suma obtenida de puntos de cada indicador se traduce nuevamente a un código de colores, para clasificar la calidad del agua de la quebrada de acuerdo con el grado de contaminación (cuadro 2). Los niveles de contaminación y su respectiva coloración, corresponden a las distintas clases de calidad del agua, de acuerdo a la normativa nacional.

Cuadro 1. Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores.

Puntos	Porcentaje de Saturación de Oxígeno (%)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal (mg/L)
1	91 – 100	< = 3	< 0,50
2	71 – 90 111 – 120	3,1 – 6,0	0,50 – 1,0
3	51 – 70 121 – 130	6,1 – 9,0	1,1 – 2,0
4	31 – 50	9,1 – 15	2,1 – 5,0
5	< = 30 y > 130	> 15	< 5,0

Fuente: MINAE, 2007.

Cuadro 2. Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basados en valores de PSO, DBO₅ y N-NH₄⁺.

Clase	Sumatoria	Código de Color	Interpretación de Calidad
1	3		Sin contaminación
2	4-6		Contaminación incipiente
3	7-9		Contaminación moderada
4	10-12		Contaminación severa
5	13-15		Contaminación muy severa

Fuente: MINAE, 2007.

Índice ICA-4b-Gmo

Este índice se desarrolló tomando en consideración la normativa costarricense, así como las condiciones ambientales del país [9] y requiere del análisis de los parámetros: coliformes fecales, nitratos (NO₃⁻), DBO₅, N-NH₄⁺, alcalinidad, fosfatos, PSO y turbiedad.

El cálculo del SI para cada indicador se llevó a cabo de acuerdo con las fórmulas del cuadro 3 [9].

El ICA se calculó empleando la fórmula de agregación de los subíndices (SI) de la fórmula de agregación 1 [9]:

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

donde:

SI_i es el subíndice de cada indicador.

n es el número total de indicadores utilizados en el cálculo que en este caso son 7.

La clasificación de la calidad del agua por rangos o clases de cada muestra se efectuó utilizando la escala que se muestra en la figura 3.

Cuadro 3. 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
Porcentaje de saturación de oxígeno	$SI = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$ donde a=101.1401, b=48.05573, c= 0.081714
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
Turbiedad	$SI = a + bx + cx^2$ donde a = 97,50282, b = -0,18567, c = 0,0000882 SI = 0 para $X > 1000$

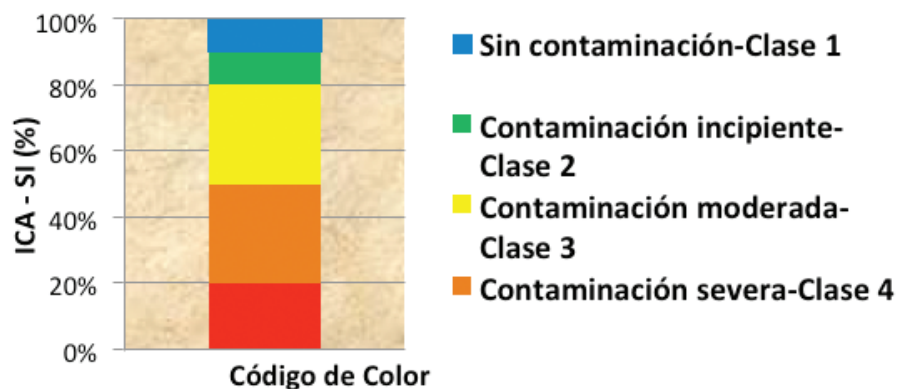


Figura 3. Clasificación de la calidad del agua por clases. Fuente: Calvo-Brenes, 2013






Resultados y discusión

Análisis del Índice Holandés

El cuadro 4 presenta los cuatro puntos de muestreo con su respectiva clasificación numérica de calidad del agua, los cuales en su mayoría muestran un nivel de contaminación “incipiente” excepto en dos casos. El punto de muestreo de especial interés es la naciente, el cual muestra una calidad constante correspondiente a contaminación “incipiente” en los tres periodos de muestreo.

Con relación a cada uno de los indicadores de calidad empleados con el índice holandés, se encontró que, en julio el punto quebrada abajo no mostró contaminación, contrario al sitio quebrada arriba que en el mes de mayo presentó un valor de 8 correspondiente a contaminación “moderada”, debido al alto valor de saturación de DBO_5 de 14,3 mg/L coincidiendo con la alta carga orgánica presente en el lugar (cuadro 5).

Cuadro 4. Clasificación numérica de calidad del agua de la quebrada La Central, según el Índice Holandés.

Sitio	Punto de muestreo	Mes de muestreo							
		Mayo	Junio	Julio					
1	Quebrada abajo	5	4	3					
2	Naciente	4	4	4					
3	Tanque de captación	4	5	4					
4	Quebrada arriba	8	6	5					
Niveles de contaminación									
	Sin contaminación		Incipiente		Moderada		Severa		Muy severa

Un valor alto en DBO_5 como el obtenido en quebrada arriba, indica un alto consumo de oxígeno, ocasionado por la presencia de una alta carga de materia orgánica. Asumiendo que la descomposición de materia orgánica y nutrientes es llevada a cabo por microorganismos, la DBO_5 determina la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el sitio [13], [14].

Análisis del índice ICA-4b-Gmo

El cuadro 6 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.

Es importante aclarar 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 [8]. 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.

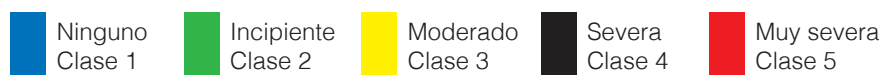
Cuadro 5. Concentración de los parámetros en los sitios de estudio, quebrada La Central, Pacayas de Alvarado 2015.

Sitios de muestreo	P-PO ₄	N-NH ₄ ⁺	Turbiedad	NO ₃ ⁻	Alcalinidad	PSO	DBO ₅	CF
Mayo								
Quebrada abajo	0,1500	0,650	8,460	0,07	81,12	85,30	1,45	1100,00
Naciente	0,1200	0,370	0,000	0,07	98,80	83,10	0,40	0,00
Tanque de captación	0,1100	0,350	0,000	0,07	72,80	66,90	0,59	0,00
Quebrada arriba	0,5300	1,860	76,770	0,16	62,40	78,00	14,30	93,00
Junio								
Quebrada abajo	0,1200	0,520	8,960	22,80	55,12	78,30	0,00	1100,00
Naciente	0,1700	0,550	0,000	16,80	80,08	69,50	0,00	0,00
Tanque de captación	0,1300	0,330	0,000	22,60	52,00	96,50	0,00	0,00
Quebrada arriba	0,1600	1,420	40,690	14,90	41,60	86,30	1,25	430,00
Julio								
Quebrada abajo	0,1100	0,465	17,650	23,00	65,52	75,10	0,28	93,00
Naciente	0,1200	0,336	3,460	20,00	83,20	60,20	0,01	0,00
Tanque de captación	0,1000	0,329	2,040	23,00	62,40	67,20	0,00	0,00
Quebrada arriba	0,0790	0,605	173,700	24,00	55,12	80,30	4,38	1100,00

Cuadro 6. Clasificación numérica de calidad del agua en la zona evaluada, Pacayas de Alvarado Cartago (Costa Rica).

Punto 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:



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 (cuadro 5). 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 con lo anterior, se infiere que las fuertes lluvias y la consecuente escorrentía están asociados a niveles altos de nitratos [15]. 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 (cuadro 5). 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 en la legislación costarricense 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 [16], [7].

Conclusiones

El índice holandés subvalora la calidad del agua con relación al ICA-4b-Gmo. Si bien ambos índices se basan en los niveles de calidad establecidos en la legislación costarricense, el mayor número de indicadores que utiliza el ICA-4b-Gmo, permite evaluar aquellos casos en que niveles altos en nitratos y coliformes fecales afectaron la calidad de las aguas.

La presencia de coliformes fecales está relacionada con problemas a la salud por lo que su análisis es muy importante, especialmente en aquellos casos de aguas para consumo humano. Este indicador no es evaluado en el índice holandés, mientras que sí es parte del ICA-4b-Gmo.

El número reducido de indicadores en el índice holandés provoca que la calidad de las aguas evaluadas en el tiempo y el espacio, muestren un comportamiento constante. En cambio, el uso de un mayor número de indicadores en un índice provoca una mayor variabilidad en el tiempo y el espacio, lo cual está relacionado con una mayor sensibilidad del índice a cambios en las concentraciones de sus indicadores.

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.

Ninguno de los índices empleados en la evaluación de la calidad del agua clasifica el agua como Clase 1. Esta clase corresponde a aquella agua que es apta para consumo humano donde sería suficiente el tratamiento de la misma con simple desinfección. Estos resultados implican que se requieren tratamientos avanzados al agua para que pueda ser consumida por los humanos.

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.

Referencias

- [1] FAO. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Boletín de tierras y aguas de la FAO. 2001. Recuperado el 15 de Junio, 2009 desde <http://uned.blackboard.com/webct/urw/lc5116001.tp0/cobaltMainFrame.dowebct>
- [2] S.S. Nas, A. Bayram, E. Nas and V.N. Bulut. Effects of some water quality parameters on the dissolved oxygen balance of streams. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2008. 17(4), 531-538.
- [3] Y. Astorga. Situación del recurso hídrico. Informe preliminar. Decimo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica. 2008. Consultado 26 de mayo de 2015. Recuperado de <http://www.estadonacion.or.cr/>
- [4] S.A. Abbasi. Water quality indices. Published by INCOH Secretariat, National Institute of Hydrology. University of Roorkee, India. 2002.
- [5] N. Fernández, A. Ramírez y F. Solano. Índices físicoquímicos de calidad del agua: un estudio comparativo. International Water Association. Memorias del evento: Agua 2003. Conferencia internacional usos múltiples del agua para la vida y el desarrollo sostenible. Recuperado el 1 de Julio del 2015 desde <http://www.ingenieroambiental.com/4014/fisic.pdf>
- [6] L. León. Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala. Trabajos presentados en el VIII Congreso Nacional, 1992, acciones para un ambiente limpio. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado el 1 de Noviembre, 2009 desde <http://www.science.uwaterloo.ca/~lfleonvi/rtic/art09.pdf>
- [7] G. Calvo-Brenes, Ríos: Fundamentos sobre su calidad y la relación con el entorno socioambiental, Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2015.
- [8] 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].
- [9] 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.
- [10] P. Torres, C. Cruz y P. Patiño. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Rev. Ing. Univ. Medellín*, 2009, 8(15), 79-94. Consultado 2 de junio de 2015. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000300009
- [11] T. García. *Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile* (tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago de Chile, 2012. Consultado 2 de junio de 2015. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia_tq.pdf?sequence=1
- [12] 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].
- [13] E. Valencia y M.L. Ramírez. La industria de la leche y la contaminación del agua. *Rev. Elementos*, 2009, 73, 27-31. Consultado 17 de noviembre de 2015. Recuperado de <http://www.elementos.buap.mx/num73/pdf/27.pdf>
- [14] E. Martín. Análisis de las variables que afectan el desarrollo de microorganismos filamentosos en sistemas de barros activados para el tratamiento de efluentes de la industria alimenticia (tesis de doctorado). Universidad Nacional de La Plata, 2001. Consultado 17 de noviembre de 2015. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2384/Documento_completo.pdf?sequence=1
- [15] 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].
- [16] 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.