

Evaluación de la calidad del agua como base para la formulación del plan de cogestión del recurso hídrico en la microcuenca de la quebrada Victoria, Costa Rica¹

Bi Yun Zhen-Wu²;
Carmen G. Valverde Morales³;
Carmen Valiente Álvarez⁴;
Francisco Jiménez Otárola⁵

El plan de acción de la microcuenca de la quebrada Victoria (2007-2008) sirvió como base cuantitativa para elaborar, la propuesta del plan de acción para la cogestión del recurso hídrico de la microcuenca.

La mayoría de parámetros evaluados clasifican el agua de la quebrada Victoria en clase uno (requiere de tratamiento simple y desinfección para que sea apta para el consumo humano), en todas las épocas muestreadas. Los únicos parámetros que estuvieron dentro de rangos normales fueron color, turbiedad, pH y coliformes fecales.

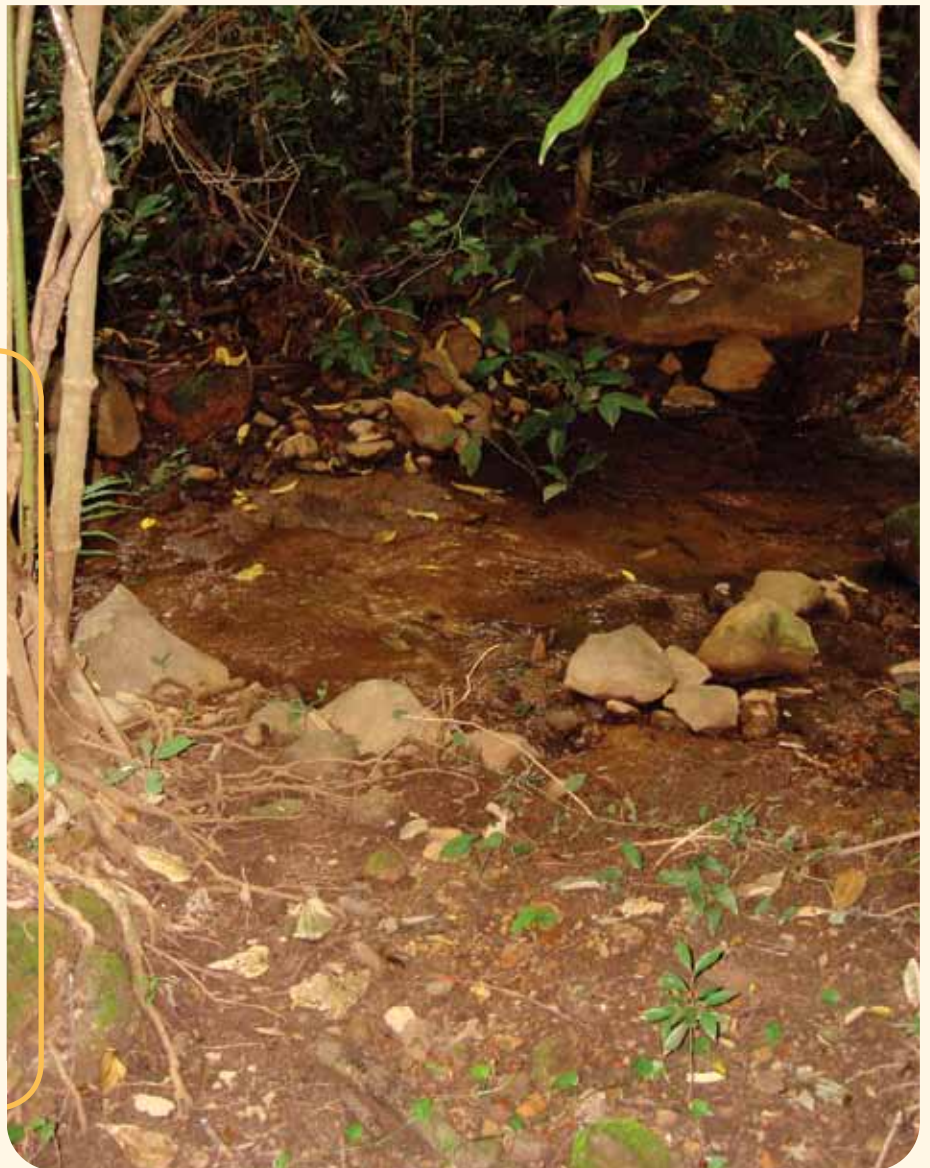


Foto: Bi Yun Zhen-Wu.

¹ Basado en Zhen-Wu (2009)

² Laboratorio de Geoquímica, Instituto Costarricense de Electricidad, Guayabo de Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. biyun29@gmail.com

³ Universidad Nacional Autónoma, Heredia, Costa Rica. gINETTE.valverde@gmail.com

⁴ Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Tres Ríos, Cartago, Costa Rica. civaliente@gmail.com

⁵ Programa Gestión Territorial de Recursos Hídricos y Biodiversidad, CATIE. fjimenez@catie.ac.cr

Resumen

En la microcuenca de la quebrada Victoria, localizada al suroeste del volcán Rincón de la Vieja, Guanacaste, Costa Rica, se evaluó durante el año hidrológico 2007-2008, la calidad del agua para consumo humano y se relacionó con las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación. Esta información se utilizó como línea base para elaborar, junto con actores locales claves, una propuesta de plan de acción para la co-gestión del recurso hídrico en la microcuenca. Según el análisis estadístico, los parámetros de calidad del agua, color, turbiedad, oxígeno disuelto, coliformes fecales y *Escherichia coli*, difieren significativamente ($p < 0,05$) entre las épocas de muestreo: lluviosa del 2007, seca y transición seca a lluviosa del 2008. El 55% de los sitios evaluados presentó contaminación incipiente. De los 15 sitios evaluados, el 60% del agua presentó un nivel de riesgo alto para la salud debido a la contaminación bacteriana en la época de transición seca a lluviosa del 2008. La propuesta del plan de acción se elaboró con los insumos de esta evaluación y fue entregada a los actores locales claves para que su implementación garantice la calidad del agua para consumo humano a corto, mediano y largo plazo.

Palabras claves: Cuencas hidrográficas; ordenación de cuencas; recursos hídricos; co-gestión; agua potable; contaminación del agua; calidad del agua; gobierno local; trabajo comunitario; Guanacaste; Costa Rica.

Summary

Water Quality Evaluation as a Baseline for the Water Resources Co-Management Action Plan in Victoria Creek Basin, Costa Rica.

The Victoria Creek microwatershed is located to the southwest of Rincon de la Vieja Volcano, Guanacaste, Costa Rica. Drinking water quality was evaluated during the 2007–2008 hydrology year. Point and diffuse contamination was determined as a baseline for the water resources co-management action plan with local communities and government authorities. Statistical analysis showed significant differences ($p < 0.05$) in color, turbidity, dissolved oxygen, fecal coliforms and *Escherichia coli* during the three sampling periods: rainy season 2007, dry season 2008 and dry-rainy transition 2008. Incipient contamination was found in 55% of the 15 sampling sites; 60% of them showed a high level of risk for health due to bacterial contamination during the dry-rainy transition season. An action plan was developed based on the results of this research and a proposal was delivered to key local stakeholders for implementation to guarantee drinking water quality in the short, medium and long term.

Keywords: Watershed; watershed management; water resources; co-management; drinking water; water pollution; water quality; local government; community work; Guanacaste, Costa Rica.

Introducción

El agua para consumo humano se deriva de fuentes subterráneas y superficiales, como las nacientes, ríos y reservorios. El agua superficial es muy vulnerable a diversas fuentes de contaminación por microorganismos patógenos o sustancias químicas, ya sean de origen natural o humano (WWAP 2003). Más de mil millones de personas en el mundo consumen

agua contaminada, y cada año 3,4 millones (principalmente niños) mueren a causa de enfermedades de transmisión hídrica; de estas muertes, 2,2 millones son causadas por enfermedades diarreicas. El 90% de estas muertes ocurre en países en vías de desarrollo (WHO 2001). En los brotes de diarreas ocurridos en Costa Rica entre 1999 y 2001 se identificaron en el agua para consumo humano microorganismos

patógenos como *Shigella sonnei* y *S. flexinneri* (Valiente y Mora 2002). Además, se han identificado más de 20 enfermedades relacionadas con la ingesta de agua con elevado contenido de sustancias químicas, entre ellas el síndrome del bebé azul debido al nitrato, el borbismo causado por el boro y la fluorosis por el fluoruro (OMS 2006).

La ingesta de agua contaminada con patógenos puede producir efectos

inmediatos en la salud; mientras que, por químicos pueden acumularse en el organismo durante meses, años o décadas, y cuyas consecuencias se manifiestan en forma de intoxicación grave o letal (OPS 2004). El incremento de la concentración de sustancias químicas en el agua superficial puede ser provocado por una descarga de una fuente antrópica o un proceso natural, tales como la disolución de minerales del suelo, filtración de aguas hidrotermales o influencia de manifestaciones hidrotermales superficiales (Mora y Mora 2005).

La evaluación de la calidad del agua que alimenta un sitio de captación es la base para tomar medidas preventivas y/o correctivas de vigilancia y protección (Borrego et ál. 2002). La captación del agua para consumo humano de la comunidad de Curubandé, cantón de Liberia, provincia de Guanacaste, se encuentra en la quebrada Victoria. Al noreste de esta quebrada se encuentra Las Pailas, la zona de manifestaciones geotérmicas superficiales más grande del país. Allí se dan muy altas temperaturas (entre 22 y 100°C; Tassi et ál. 2005) y altos niveles de salinidad (entre 1 y 63.000 mg/l de cloruro; 0,05 y 2950 mg/l de fluoruro; 0,02 y 63 mg/l de boro, Tassi et ál. 2005). El objetivo de esta investigación fue evaluar, durante el año hidrológico 2007-2008, la calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la quebrada Victoria con la finalidad de utilizar esa información como línea base para elaborar - junto con los actores locales - una propuesta de plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca.

El área de estudio

La microcuenca de la quebrada Victoria (Fig.1) tiene una superficie de 4,14 km² y está situada en el sector suroeste del complejo volcánico Rincón de la Vieja-

Santa María, entre las coordenadas 307000 y 302000 latitud N, y 385000 y 389000 longitud E (IGNCR 1991). La quebrada drena sus aguas a la subcuenca del río Colorado, afluente del río Tempisque, que finalmente desemboca en el golfo de Nicoya. En la parte alta de la microcuenca se encuentra la entrada del Parque Nacional Rincón de la Vieja. En la parte media, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) está desarrollando el proyecto geotérmico Las Pailas en donde se localizan cinco pozos geotérmicos profundos. También en la parte media están los afluentes que alimentan la captación de agua para consumo humano de Curubandé; según datos del INEC (2002), esta comunidad tenía una población de 1812 personas en el 2000.

Muestreo y análisis físico-químico y bacteriológico

La red de muestreo comprendió 15 sitios desde la naciente de la quebrada Victoria hasta la toma de agua del acueducto de Curubandé (Fig. 2). Se realizaron en total cinco muestreos: dos en la época lluviosa (11 de setiembre y 6 de noviembre del 2007), dos en la época seca (29 de enero y 26 de febrero del 2008) y una en la transición (3 de junio del 2008).

La recolección de las muestras se realizó a partir de las 9:00 am hasta aproximadamente las 4:00 pm, comenzando desde aguas abajo hasta la naciente de la quebrada. Se siguieron los procedimientos del APHA et ál. (1995) y Eaton et ál. (2005). *In situ* se midió el pH, la conductividad y la temperatura del agua. La medición del caudal en todos los sitios se realizó con molinete Seba D-87600 Kaufbeuren, Nr. F1 2169, modelo Z6, entre las 48 y 72 horas después del muestreo.

Las muestras se conservaron a bajas temperaturas (entre 4 y 10°C) y se transportaron dentro de las 24 horas siguientes a los laboratorios

del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), para los análisis bacteriológicos y al Laboratorio de Geoquímica del ICE para los análisis físico-químicos. Se siguieron los métodos y procedimientos normalizados para aguas potables y residuales de Eaton et ál. (2005) y del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA 2003). Para la evaluación y clasificación del agua, se analizaron 12 parámetros según el Reglamento para la clasificación y evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales (Gobierno CR 2007). Esos parámetros fueron: temperatura, potencial de hidrógeno, color, turbiedad, sólidos disueltos totales, nitratos, cloruro, sulfato, fluoruro, boro, dureza debida al magnesio y coliformes fecales. Además, se evaluaron los tres parámetros del índice de calidad del agua: porcentaje de oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno amoniacal; adicionalmente, se evaluó el fosfato, conductividad y presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella*.

Análisis de los datos

Se evaluó la normalidad de los datos obtenidos en los análisis físico-químicos y bacteriológicos con histogramas de frecuencia relativa de los datos, gráficos Q-Q y pruebas de Shapiro-Wilk modificado por Mahibbur y Govindarajulu en 1997, y la homocedasticidad de las varianzas con la prueba de Levene. Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con la finalidad de comprobar si hay diferencias significativas en los parámetros de calidad físico-química y bacteriológica del agua de la quebrada Victoria entre épocas de muestreo.

Se realizaron recorridos a lo largo de la microcuenca para ubicar las fuentes de contaminación puntuales, las principales actividades y el uso actual de la tierra. Además de la observación sistemática en el campo, se usó un sistema de posicionamiento

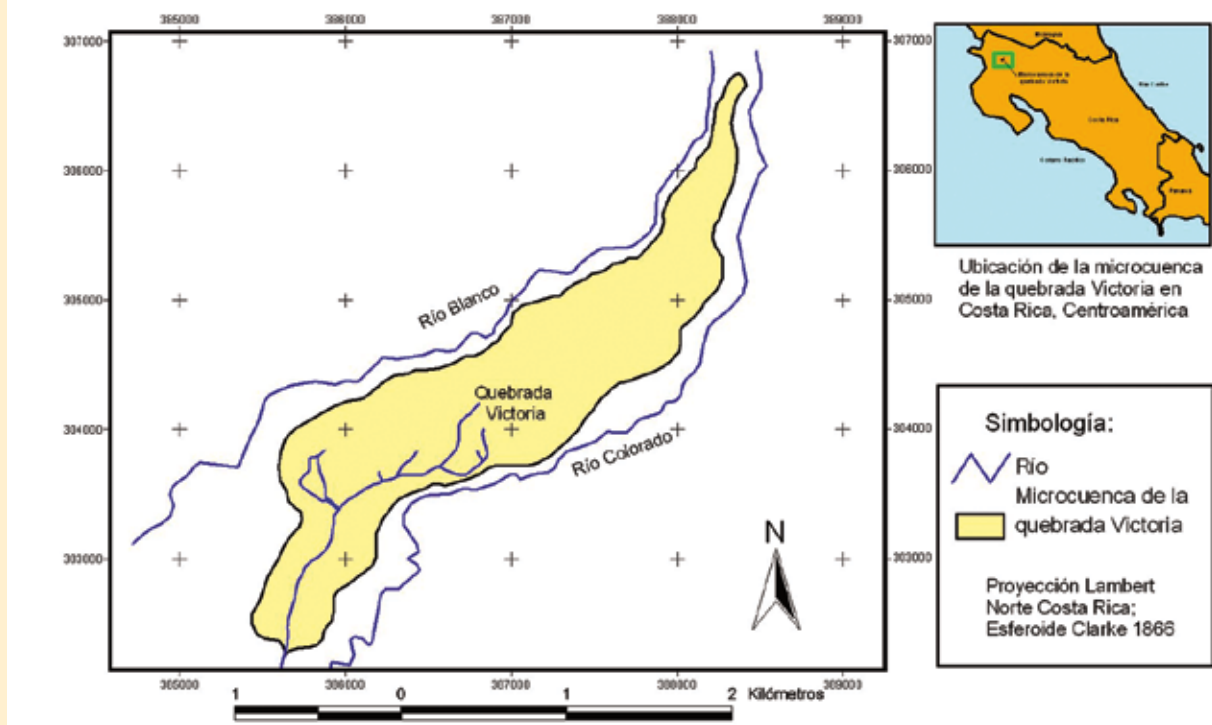


Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca Victoria, cuenca del río Tempisque, Costa Rica

geográfico (GPS, Garmin, modelo 12 XL). El grado de contaminación del agua en cada sitio se calculó según el puntaje obtenido por los parámetros (Cuadros 1 y 2). Se determinó el grado de riesgo para la salud según las categorías de clasificación bacteriana (Cuadro 3) a partir de los resultados de coliformes fecales (Valiente 1999).

Propuesta del plan de acción

Los actores locales claves identificados fueron la Asociación de Desarrollo Integral y la Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados (Asada), la escuela y vecinos de Curubandé; representantes de gestión ambiental de la municipalidad de Liberia y del proyecto geotérmico Las Pailas, Acueductos Rurales del AyA de Liberia y hotel Guachipelín. Se efectuaron tres actividades para elaborar la propuesta del plan de acción: una reunión abierta (28 de noviembre del 2007)

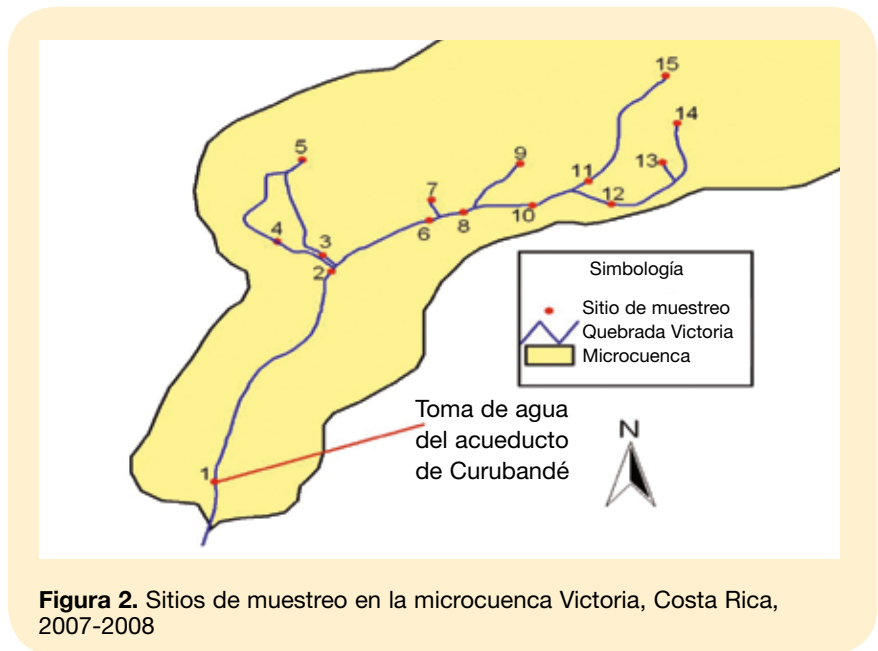


Figura 2. Sitios de muestreo en la microcuenca Victoria, Costa Rica, 2007-2008

para dar a conocer el proyecto; con los resultados de la evaluación de la calidad del agua, se realizó un taller participativo (7 de agosto del 2008) con el objetivo de recavar aportes

de los participantes para elaborar la propuesta del plan de acción; finalmente, se validó la propuesta en otra reunión abierta (3 de setiembre del 2008).

Cuadro 1. Valoración de la calidad del agua para cuerpos receptores

Puntos	PSO (%)	DBO (mg/l)	NH ₄ ⁺ -N (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

PSO: porcentaje de saturación del oxígeno disuelto; DBO: demanda bioquímica de oxígeno; NH₄⁺-N: nitrógeno amoniacal
Fuente: Gobierno CR 2007.

Cuadro 2. Clases de calidad del agua según valores de PSO, DBO y NH₄⁺-N.

Clase	Promedio de puntos	Interpretación de calidad	Código de color
1	3	Sin contaminación	Azul
2	4-6	Contaminación incipiente	Verde
3	7-9	Contaminación moderada	Amarillo
4	10-12	Contaminación severa	Anaranjado
5	13-15	Contaminación muy severa	Rojo

Fuente: Gobierno CR 2007.

Cuadro 3. Contaminación bacteriana y nivel de riesgo para la salud

Grado	Coliformes fecales	Clasificación del riesgo	Código de color
A	0	Riesgo nulo	Azul
B	1 - 4	Riesgo bajo	Celeste
C	5 -100	Riesgo intermedio	Verde
D	101 - 1000	Riesgo alto	Amarillo
E	>1000	Riesgo muy alto	Rojo

Fuente: Valiente 1999.

Resultados y discusión

Índices de calidad del agua

En todos los sitios evaluados en el primer muestreo de la época lluviosa, el grado de contaminación se clasificó como incipiente (Cuadro 4). En el siguiente muestreo la calidad mejoró a lo largo de la quebrada, excepto en las nacientes (sitios 5, 7, 9, 13 y 15).

La presencia de coliformes fecales presenta un riesgo alto para la salud en los sitios 3, 4 y 11 (Cuadro 5). En el segundo muestreo de la época lluviosa, el riesgo para la salud aumentó en un nivel en los sitios 4, 8 y 9. Con la entrada de la época seca, el nivel de riesgo de la contaminación bacteriana disminuyó en los sitios 1, 3, 4, 6, 8, 9 y 10. Con la entrada de la época de transición seca a lluviosa, el nivel de riesgo de la contaminación bacteriana en el 60% de los sitios

evaluados fue alto, medio en el 27% y nulo en el restante 13%.

Según el análisis estadístico, algunos parámetros de calidad del agua de la quebrada Victoria difirieron significativamente ($p < 5\%$, $n=75$) entre las épocas de muestreo. Esos parámetros fueron: color, turbiedad, oxígeno disuelto, coliformes fecales y *Escherichia coli*.

Fuentes de contaminación

Las fuentes puntuales de contaminación del agua identificadas en la quebrada Victoria fueron: el generador de electricidad que emplea agua de la paja para su producción, la paja del hotel Guachipelín, la porqueriza, el puente antes de la naciente del sitio 9 y el puente después de la naciente de la quebrada. Además, existen cinco senderos que atraviesan la quebrada

o están en áreas aledañas a alguna naciente. Las fuentes no puntuales de contaminación identificadas en la microcuenca son áreas destinadas al pastoreo (48,5%), la construcción de pozos geotérmicos y plataformas para las casas de máquinas del campo geotérmico Las Pailas (4%), bosque secundario (24%), charral (11%), plantación forestal (11%) y tacotal (1,5%) (Fig. 3).

En el suelo cercano a los sitios 4 y 9, se encontraron cárcavas y erosión durante la época lluviosa del 2007, cuando ocurrió la tormenta tropical Noel (Sánchez 2007). Además, se observó tala de árboles, poca cobertura vegetal y erosión en las pendientes en áreas aledañas a los sitios 13 y 14 durante la época de transición seca a lluviosa del 2008, cuando ocurrió la tormenta tropical Alma (Stolz y Chinchilla 2008).

Los resultados de coliformes fecales de los sitios 4 y 9 (4600 y 1500 NMP/100 ml, respectivamente) y las observaciones en el campo en el segundo muestreo de la época lluviosa del 2007 indican que hubo arrastre de materia fecal del suelo hacia los cuerpos de agua por la escorrentía superficial. En los sitios 13 y 14 (4600 y 390 NMP/100 ml, respectivamente), la calidad del agua también se deterioró por la escorrentía superficial en la época de transición seca a lluviosa del 2008.

Oliver et ál. (2005) encontraron una correlación fuerte entre las colonias de la bacteria *Escherichia coli* y el flujo de agua: al aumentar el caudal, hay mayores aportes de sedimentos con lo que se incrementa la concentración de bacterias. Los mismos autores encontraron que en terrenos pastoreados y no pastoreados, las altas concentraciones de *E. coli* coincidían con la época lluviosa, ya que *E. coli* es físicamente movilizada por el agua y no diluida como ocurre con el nitrato. El contenido de *E. coli* en el sitio 13 aumentó en la época de transición (de 93 a 4600 NMP/100 ml); las observaciones en

el campo indicaron un deterioro en la calidad bacteriológica.

Evaluación de la calidad del agua
La mayoría de parámetros evaluados clasifican el agua de la quebrada Victoria en clase uno (requiere de tratamiento simple y desinfección para que sea apta para el consumo humano), en todas las épocas muestreadas. Los únicos parámetros que estuvieron dentro de rangos normales - según el Reglamento costarricense (2007) - fueron color, turbiedad, pH y coliformes fecales. El pH fue ligeramente neutro (pH medio de 6,5) en los sitios 8 al 15 y ácido (pH medio de 4,7) en los sitios 1 al 6. Se observó la presencia de óxidos de hierro rojizo en las áreas aledañas a la naciente del sitio 7, lo que explica el aumento de la acidez del agua hacia la parte baja de la microcuenca.

En la época de transición seca a lluviosa, el color y turbiedad aumentaron (30 U-Pt-Co y 31,50 UNT, respectivamente) en el sitio 14, el cual tiene suelo arcilloso y pendiente entre 5 y 9°, es evidente, entonces, que la calidad física del agua se deterioró por la escorrentía superficial. El porcentaje de saturación medio anual de oxígeno disuelto en el agua de la quebrada fue de 84%, con mínimo de 50% y máximo de 101%. Todos los sitios presentaron un porcentaje de saturación entre 71 y 90% en las tres épocas de muestreo, a excepción de las nacientes 5, 13 y 15 (entre 51 y 70%). A lo largo de la quebrada hay rocas que generan turbulencias por las caídas y choques del agua; esto hace que aumente el contenido de oxígeno disuelto en el medio.

El contenido de fosfato (<0,09 mg/l) sugiere que, por el momento, no hubo eutrofización en el agua de la quebrada. Asimismo, el contenido de nitrógeno amoniacal (<0,08 mg/l) y la demanda bioquímica de oxígeno (< 2 mg/l) indican que no hubo contaminación orgánica en la quebrada.

Cuadro 4. Índices de calidad del agua de la quebrada Victoria, Costa Rica, 2007-2008

Sitio	I lluvia	II lluvia	I seca	II seca	Transición
1	CI	SC	SC	SC	SC
2	CI	SC	SC	SC	SC
3	CI	SC	SC	SC	SC
4	CI	SC	SC	SC	CI
5	CI	CI	CI	CI	CI
6	CI	SC	CI	CI	CI
7	CI	CI	CI	CI	CI
8	CI	SC	SC	SC	SC
9	CI	CI	CI	CI	CI
10	CI	SC	SC	SC	SC
11	CI	SC	SC	SC	CI
12	CI	SC	SC	SC	SC
13	CI	CI	CI	CI	CI
14	CI	SC	CI	SC	CI
15	CI	CI	CI	CI	CI

Grado de contaminación: SC: sin contaminación (azul), CI: contaminación incipiente (verde). Fuente: Gobierno CR 2007.

Cuadro 5. Nivel de riesgo por contaminación bacteriana del agua en la quebrada Victoria, Costa Rica, 2007-2008

Sitio	I lluvia	II lluvia	I seca	II seca	Transición
1	RI	RI	RB	RN	RI
2	RI	RI	RI	RN	RN
3	RA	RA	RI	RN	RA
4	RA	RMA	RI	RN	RA
5	RN	RB	RI	RN	RA
6	RI	RA	RI	RB	RI
7	RI	RN	RN	RN	RI
8	RI	RMA	RI	RA	RA
9	RI	RMA	RI	RI	RI
10	RI	RA	RI	RA	RA
11	RA	RA	RA	RA	RA
12	RI	*	RI	RA	RA
13	RI	RI	RI	RI	RA
14	RI	RI	RA	RI	RA
15	RN	RN	RN	RN	RN

RN: riesgo nulo (azul); RB: riesgo bajo (celeste); RI: riesgo intermedio (verde); RA: riesgo alto (amarillo); RMA: riesgo muy alto (rojo). *: no hay dato. Fuente: Valiente 1999.

En Costa Rica, los patógenos más aislados en casos de brotes de diarrea son *Salmonella* spp. y *Shigella* spp.; se ha demostrado su circulación no solo entre personas, sino en aguas residuales y superficiales⁶. Desde el punto de vista de salud pública, el que no se haya encontrado el patógeno en la quebrada Victoria es un buen indicio.

Los sitios 13 y 14 tienen pendientes entre 5 y 9°, mayores que las nacientes (<5°); esto, aunado a la tala de árboles y la erosión del suelo, favoreció el arrastre de materia fecal y sedimentos hacia los cuerpos de agua por la escorrentía superficial, tanto en la época lluviosa como en la de transición. Estas actividades impactan en la calidad física y

⁶ Valiente, C. 2008. Microbióloga, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Comunicación personal.

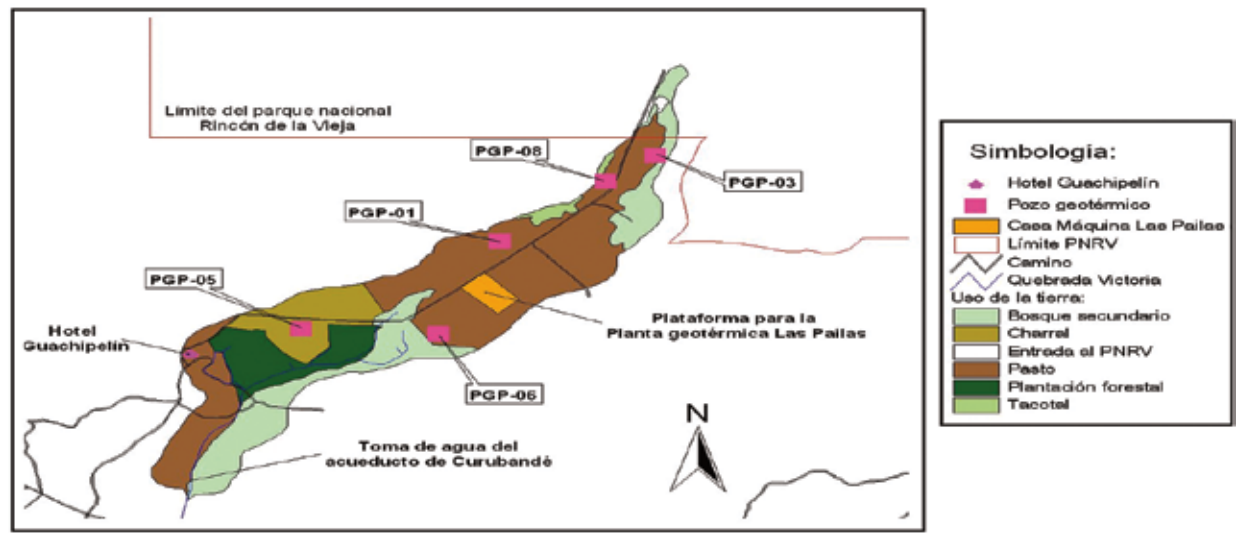


Figura 3. Uso de la tierra en la microcuenca de la quebrada Victoria, Costa Rica, 2007-2008
PGP: pozo geotérmico Las Pailas

bacteriológica del agua de la quebrada y se reflejan en un aumento en los parámetros de color (>10 U-Pt-Co), turbiedad (>25 UNT) y coliformes fecales (>2000 NMP/100 ml).

Los pozos geotérmicos perforados en la microcuenca se localizan en su parte media y alta, por lo que constituye la principal fuente potencial de contaminación térmica

y química. Las aguas geotérmicas tienen alta temperatura (>200°C) y salinidad (conductividad entre 16.000 y 18.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y cloruro entre 5000 y 7000 mg/l) (Zhen-Wu



Foto: Bi Yun Zhen-Wu.

La evaluación de la calidad del agua para consumo humano se utilizó como línea base para elaborar, junto con actores locales, una propuesta del plan de acción para la cogestión del agua en la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste

2009). En la quebrada Victoria, la temperatura es baja (media de 25°C), conductividad media de 218 µS/cm y concentración media de cloruro de 10,5 mg/l. Debido a estas diferencias sustanciales (más de un orden de magnitud), el monitoreo de estos tres parámetros es la medida preventiva de primer nivel para la vigilancia y seguimiento de impactos de los fluidos geotérmicos sobre la calidad del agua superficial.

Propuesta del plan de acción

El plan de acción de la microcuenca de la quebrada Victoria contiene cuatro programas con diferentes proyectos para resolver la problemática

asociada a la cogestión del recurso hídrico (Cuadro 6). El coordinador de cada programa (Cuadro 7) es quien integra los esfuerzos de los actores locales y de la población meta para ejecutar los proyectos y sus respectivas actividades, objetivos y resultado esperado (Zhen-Wu 2009).

Conclusiones

- La clasificación de la calidad físico-química del agua de la quebrada Victoria (2007-2008) permitió identificar el tipo de tratamiento requerido para que sea apta para el consumo humano, según el Reglamento costarricense para la clasificación y evaluación de

la calidad de cuerpos de agua superficiales.

- Los parámetros de color, turbiedad y coliformes fecales indicaron que la calidad física y bacteriológica del agua de la quebrada Victoria (2007-2008), en áreas aledañas con suelos erosionados y pendientes mayores de cinco grados, se deterioraron por la escorrentía superficial, por lo que deben ser monitoreados en las épocas lluviosa y de transición seca a lluviosa para el seguimiento de su calidad.
- Se determinó la línea base del agua de la quebrada Victoria (2007-2008) para el seguimiento de impactos de fluidos geotérmicos, por lo tanto

Cuadro 6. Componentes del plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la quebrada Victoria

Componente	Contenido
Organismo de cuenca	Miembros de la Asada, Asociación Integral de Desarrollo y Escuela de Curubandé, ICE
Coordinador del plan	Asada de Curubandé
Objetivos	Objetivo a largo plazo: garantizar la sostenibilidad de la calidad del recurso hídrico de la microcuenca. Objetivo del plan: promover la cogestión participativa en el planteamiento de soluciones a los problemas relacionados con los recursos hídricos en la microcuenca.
Estrategias	Desarrollar e implementar un plan de ordenamiento territorial participativo en la microcuenca, con visión de largo plazo y con viabilidad social. Desarrollo de alianzas estratégicas entre instituciones y organizaciones afines para la implementación de las diferentes acciones tendientes al logro de los objetivos del plan de manejo del recurso hídrico de la microcuenca. Promoción de la participación de los diferentes grupos de interés de la comunidad y beneficiarios. Fortalecimiento de las capacidades locales para la gestión integral de los recursos naturales de la microcuenca a través de programas de educación ambiental en los centros educativos, productivos y comerciales. Gestión de los recursos financieros con los entes cooperantes.

Cuadro 7. Componentes de los programas del plan de acción de la microcuenca de la quebrada Victoria

Componente	Programa			
	Educación ambiental	Mejoramiento del acueducto	Protección de nacientes y afluentes	Monitoreo y seguimiento de la calidad del agua
Coordinador	Director de la escuela de Curubandé	Asada de Curubandé	Asada de Curubandé	Asada de Curubandé
Problema a resolver	Falta de conciencia y sensibilidad sobre los problemas asociados con los recursos hídricos y la problemática de la microcuenca	Poca capacidad local de la Asada y falta de apoyo del AyA	Contaminación de las aguas superficiales de la quebrada Victoria por escorrentía superficial	Falta de monitoreo de los impactos de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua
Beneficios	Valorar y manejar responsable y sosteniblemente los recursos hídricos y los recursos naturales de la microcuenca	Agua de mejor calidad físico-química y bacteriológica	Agua de mejor calidad físico-química y bacteriológica; un mayor bienestar social por cantidad y calidad de agua de una manera equitativa sin comprometer la conservación de los ecosistemas vitales	Estar a tiempo para actuar ante cualquier posible contaminación del agua
Proyectos	Concientización y sensibilización a los usuarios del agua	Implementación de una planta de tratamiento, que incluya un sedimentador y filtros lentos en el acueducto	Protección de las nacientes y afluentes	Monitoreo y seguimiento a la calidad físico-química del agua
	Divulgación sobre la calidad del agua para consumo humano y la problemática de los recursos hídricos	Desinfección del agua Implementación del Programa Bandera Azul del AyA	Protección de las áreas destinadas al pastoreo Implementación de prácticas sostenibles para la conservación y protección de los recursos hídricos	Monitoreo y seguimiento a la calidad bacteriológica del agua


los parámetros de temperatura, conductividad y cloruro deben ser monitoreados antes y durante la perforación y producción de pozos geotérmicos para la vigilancia de su calidad.

- Los parámetros de color, turbiedad, oxígeno disuelto, coliformes fecales y *Escherichia coli* deben ser evaluados en las épocas de muestreo: seca, lluviosa y de transición seca a lluviosa, según el análisis estadístico, en los programas de seguimiento de la calidad del agua de la quebrada Victoria.

■ La evaluación de la calidad del agua de la quebrada Victoria (2007-2008) sirvió como base cuantitativa para elaborar, conjuntamente con los actores locales, la propuesta del plan de acción para la gestión del recurso hídrico de la microcuenca, para que estos actores sean los vigilantes y gestores de su implementación y garanticen la sostenibilidad de su calidad.

Recomendaciones

Se recomienda implementar el plan de acción para la gestión del recur-

so hídrico de la microcuenca, con la finalidad de asegurar la calidad del agua para consumo humano a corto, mediano y largo plazo. 

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados; al Instituto Costarricense de Electricidad; a la Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados, a la Asociación de Desarrollo Integral, a la escuela y vecinos de Curubandé por su apoyo a este proyecto de investigación.

Literatura citada

- APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WPCF (Water Pollution Control Federation). 1995. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid, España, Díaz de Santos. 1816 p.
- Borrego, J; Morales, JA; De la Torre, ML; Grande, A. 2002. Geochemical characteristics of heavy metal pollution in surface sediments of the Tinto and Odiel River estuary (Southwestern Spain). *Environmental Geology* 41: 785-796.
- Eaton, AD; Clesceri, LS; Rice, EW; Greenberg, AE. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington, Estados Unidos, Centennial Edition. 167 p.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 2003. A compilation of laboratory procedures for the chemical analysis of geothermal water samples. Vienna, Austria, Isotope Hydrology Section. 148 p.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2005. Estudio de impacto ambiental, Proyecto Geotérmico Las Pailas. Tomo I. San José, Costa Rica, Expediente de la SETENA No. 788-04. Cap. 3. 129 p.
- IGNCR (Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica). 1991. Hoja de Curubandé 3148-III. 3 ed. San José, Costa Rica. Escala 1:50000. 1 p. Color.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, Costa Rica). 2002. IX Censo Nacional de Población: Características Sociales y Demográficas. 9 ed. San José, Costa Rica. p. 307.
- Mora, R; Mora, R. 2005. Contaminación por metales pesados en sedimentos de Quebrada Azul (Río Azul, Costa Rica). *Ciencias Ambientales* (Junio): 63-75.
- Oliver, DM; Heathwaite, L; Haygarth, PM; Clegg, CD. 2005. Transfer of *Escherichia coli* to water from drained and undrained grassland after grazing. *Journal of Environmental Quality* 34: 918-925.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. Agua, saneamiento y salud: enfermedades relacionadas con el agua. (en línea). Consultado el 20 oct. 2006. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/index.html
- OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2004. Salud y agua. Washington, Estados Unidos. 28 p.
- Gobierno de Costa Rica. 2007. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. La Gaceta No. 178. 7 p.
- Sánchez, M. 2007. Comentario meteorológico de noviembre del 2007. San José, Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional. Boletín Meteorológico (Costa Rica) no. 6: 2-21.
- Stolz, W; Chinchilla, G. 2008. Tormenta tropical Alma y sus efectos en Costa Rica (28 y 29 de mayo del 2008). San José, Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional. Boletín Meteorológico (Costa Rica) no. 11: 17-26.
- Tassi, F; Vaselli, O; Capaccioni, B; Giolito, C; Duarte, E; Fernández, E; Minissale, A; Magro, G. 2005. The hydrothermal-volcanic system of Rincon de la Vieja Volcano (Costa Rica): A combined (inorganic and organic) geochemical approach to understanding the origin of the fluid discharges and its possible application to volcanic surveillance. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 148: 315-333.
- Valiente, C. 1999. Vigilancia sanitaria del agua: un nuevo enfoque para municipalidades de Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública* 8(15): 73-85.
- Valiente, C; Mora, D. 2002. El papel del agua para consumo humano en los brotes de diarrea reportados en el período 1999 - 2001 en Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública* 11(20): 26-40.
- WHO (World Health Organization). 2001. WHO highlights global impact of unsafe water. Reuters Health Information (en línea). Consultado el 5 jun. 2007. Disponible en <http://id.medscape.com/reuters/prof/2001/03/03.23/20010322publ002.html>
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos). 2003. Primer informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: "Agua para todos, agua para la vida". Resumen Ejecutivo. París, Francia, UNESCO. 106 p.
- Zhen-Wu, B. 2009. Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008. Tesis Mag. Sc. San José, Costa Rica, UNED. 204 p.