

Calidad de aguas superficiales: estudio de la quebrada Estero, ubicada en el cantón de San Ramón, Costa Rica

Surface water quality: study of creek Estero, located in the county of San Ramón, Costa Rica

John Diego Bolaños¹ / Nazareth Montero² / Nazareth Rodríguez³ / Anabelle Sánchez⁴

Recibido: 10/06/2015 / Aprobado: 20/10/2015

Resumen

La quebrada Estero es un afluente del río Grande de San Ramón que recorre gran parte de los distritos Central, San Juan y Alfaro del cantón de San Ramón, provincia de Alajuela y se encuentra en los alrededores del Bosque Demostrativo de la Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente. El presente estudio detalla la calidad de las aguas superficiales de la quebrada, que se realizó en las estaciones seca y lluviosa del 2014. Las tres zonas de muestreo evidencian condiciones de contaminación de origen antropogénico que conllevan un fuerte proceso eutrófico debido a la alta concentración de nitritos, así como por las determinaciones realizadas de Demanda Química de oxígeno, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto en la quebrada, que la clasifican como clase 4 según el Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales, en el Decreto N° 33903 del 9 de marzo 2007, considerando que la calidad del agua superficial tiene una contaminación severa.

Palabras clave: Quebrada Estero (Microcuenca, Costa Rica), eutrofización, aguas superficiales, contaminación de aguas.

Abstract

The Estero creek is a tributary of the River Grande de San Ramon that runs much of the Central districts, San Juan and Alfaro canton of San Ramon, Alajuela province and is located near the Demonstration Forest, University of Costa Rica, Occident Campus. This study details the quality of surface waters of the creek, which was held in the dry and rainy seasons of 2014. The three sampling areas show conditions of anthropogenic pollution which carry a strong eutrophic process due to the high concentration of nitrites, as well as the determinations of chemical oxygen demand, ammonia nitrogen, dissolved oxygen in the stream, which classified as Class 4 according to the Regulations for the evaluation and ranking of the quality of surface water bodies, Decree N° 33903 of March 9, 2007, considering that the quality of surface water has a severe contamination.

Key words: Creek Estero, eutrophication, surface waters, water pollution.

Introducción

El agua es un recurso de suma importancia para el desarrollo de la vida en el planeta; sin ella los seres vivos no podrían subsistir, es además el constituyente principal de todos los organismos vivos, el cual permite el crecimiento de ecosistemas y participa en muchas actividades metabólicas,

biológicas, naturales, entre otras. Frers (2009) considera que el agua es la necesidad más urgente para el ser humano; a pesar de ello, son muy pocas las poblaciones que disponen de este elemento en cantidad suficiente, ya que su distribución en el mundo es desigual.

1 Docente Investigador Depto. Ciencias Naturales, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Bachiller en Laboratorista Químico, Licenciado en Farmacia, Magister en Ciencias con énfasis en Gestión y Estudios Ambientales. Correo electrónico: john.bolanos@ucr.ac.cr

2 Estudiante último año del Bachillerato Laboratorista Químico, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Proyecto de Trabajo Comunal Universitario, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: naza264@hotmail.com

3 Estudiante último año del Bachillerato Laboratorista Químico, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Proyecto de Trabajo Comunal Universitario, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: nazareth9304@gmail.com

4 Estudiante último año del Bachillerato Laboratorista Químico, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Proyecto de Trabajo Comunal Universitario, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico anasanqui@gmail.com

Los avances tecnológicos y la inconsciencia de la humanidad debida al deseo de progreso desmedido, han generado graves daños en el recurso hídrico, causando que gran parte de este se encuentre contaminado. Vargas (2009) menciona que el ambiente se ha visto seriamente afectado en las últimas décadas a causa del inadecuado manejo y disposición de desechos generados en los grandes núcleos de población y centros industriales. Debido a esto, se han creado reglamentos y legislaciones que estipulan parámetros químicos, físicos o microbiológicos que permiten catalogar el grado de contaminación en distintas matrices, del suelo, aire y agua.

En relación con lo anterior, Bolaños (2013) menciona que Costa Rica, un país privilegiado por el abundante recurso hídrico que contiene, se ve actualmente perjudicado por la evidente y lamentable contaminación de muchas de sus

redes hídricas potables, debido al crecimiento desordenado de la población y a las pocas medidas de contención y mitigación encausadas a reducir este tipo de impacto.

En el presente estudio sobre la microcuenca de la quebrada Estero, ubicada en la zona oeste del Bosque Demostrativo en la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica, San Ramón, pretende evidenciar la contaminación en el estero a nivel del agua superficial, en la cual se observa un avanzado proceso de eutrofización, así como materia orgánica en descomposición, que tiene un origen antropogénico principalmente.

Para obtener un análisis integral de la zona se estudiaron tres puntos de muestreo distintos, considerando los cambios en la coloración que sufre la quebrada Estero en varios tramos (Véase Figura 1 y 2).



Fig. 1. Fotografía de la quebrada Estero en el sitio de muestreo número 3, noviembre 2014. Fuente: Los autores, noviembre 2014.

Materiales y métodos

La parte analizada de la quebrada Estero recorre el Bosque Demostrativo, ubicado dentro de la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica, en el distrito de Alfaro, un kilómetro al oeste del centro de San Ramón. Los muestreos

se desarrollaron en dos ocasiones, estación seca y estación lluviosa del 2014. Según Guido (2009) este territorio cuenta con una altitud que oscila entre los 1100 a 1178 m.s.n.m y se distingue por ser una zona de vida de bosque premontano húmedo.

Igualmente, Araúz (2007) menciona que es un sitio representativo de la flora y fauna del cantón, caracterizado por tener un rango de temperatura entre los 16°C y 26°C, con una humedad que oscila entre el 90% y 100%. Su suelo está formado por depósitos de cenizas volcánicas, presenta un relieve montañoso, con pendientes de 30 a 50%, de color oscuro, rico en materiales orgánicos, texturas medias, moderadamente fértiles y es excesivamente drenado.

Por otra parte, la microcuenca de la quebrada Estero es un afluente del río Grande de San Ramón que junto con el río grande de Tárcoles forman el principal drenaje de la Depresión Tectónica Central de Costa Rica, ubicada en el centro del país. Su elevación mínima es de 980 m.s.n.m. y la máxima 1230 m.s.n.m. (Quesada, 2000).

La microcuenca Estero abarca un área de aproximadamente 5 Km² y se ubica en la sección más occidental de la cuenca del río Grande de San Ramón. A pesar de su pequeña extensión, comparada con el área de la cuenca donde se ubica, se ha inundado en repetidas oportunidades en los últimos cuatro años, especialmente en su sector medio y bajo; esta situación ha sido de gran

repercusión social al afectar comercios y casas de habitación, debido a la expansión demográfica de anillo periférico de la ciudad de San Ramón en las inmediaciones.

Para determinar la calidad del agua superficial de la quebrada Estero, se llevaron a cabo una dos muestreos en tres puntos de interés (Véase Figura 2), para un total de seis muestras, a las cuales se le realizaron diferentes determinaciones analíticas, que incluyen los siguientes estudios físicos, químicos y microbiológicos, utilizando procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012): pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos disueltos, DQO, fluoruros, cloruros, nitratos, sulfatos, sodio, amonio, potasio, magnesio, calcio hierro, cobre, arsénico y coliformes totales.

El estudio, se realizó en el Laboratorio de Química del Recinto de Grecia, de la Universidad de Costa Rica, siguiendo la validación de las determinaciones por respectivos análisis de varianza y estandarización de los parámetros establecidos por la legislación costarricense.



Fig. 2. Ubicación de los tres sitios de muestreo en la quebrada el Estero, en el Bosque Demostrativo de la Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente (San Ramón).

Para determinar los puntos de muestreo se observaron los cambios en las propiedades organolépticas del agua de la quebrada Estero (olor y color), describiendo las tres zonas de estudio de la siguiente manera:

Sitio 1: Es una zona que está junto a la malla que rodea el campus principal de la Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente, en la parte suroeste del Bosque Demostrativo; al momento de realizar el primer muestreo, era invierno y el agua estaba poco turbia, de menor profundidad y amplitud respecto a los otros dos sitios. El cuerpo de agua es léntico, pero se observa ligero movimiento en su caudal. El segundo muestreo se realiza durante la estación seca, momento que denota una reducción de caudal evidente.

Sitio 2: Zona que se ubica junto al bosque maduro; muestra un cuerpo de agua superficial más turbio, lo que dificulta observar el fondo del lecho dado que es una zona de mayor profundidad y amplitud respecto al primer punto de muestreo. El cuerpo de agua presenta procesos de descomposición anaerobia, un evidente proceso de burbujeo y una capa de grasas y aceites, que conforman una nata superficial. El fondo tiene una alta carga orgánica con tonalidad entre anaranjada y roja, igualmente el agua presenta un tono rojizo y es evidente la aparición de plantas dentro del cuerpo de agua.

Sitio 3: El sitio se encuentra junto al Bosque Demostrativo en donde hay un sendero y se realizan los recorridos a los visitantes; en el primer muestreo la zona poseía un agua muy turbia, igualmente había materia orgánica en el fondo, las partes en las que se observa agua son muy reducidas debido a la presencia de plantas por el avanzado proceso de eutrofización; en la parte más amplia, al otro lado de la quebrada se observa la urbanización los Tucanes. En el segundo muestreo, correspondiente a la estación seca su aspecto es más pantanoso y el agua superficial es léntica.

Los análisis físicos y químicos se realizaron por triplicado para cada muestra de agua recopilada,

el transporte de las mismas se realizó bajo cadena de frío hacia los respectivos Laboratorios de Química y Biotecnología del Recinto de Grecia. Las determinaciones específicas realizadas a las muestras de agua fueron los siguientes:

Análisis de campo (*in situ*): Sólidos disueltos, turbidez, conductividad, pH, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto (utilizando los equipos portátiles marca Hanna Instrument, debidamente calibrados con estándares certificados).

Demanda química de oxígeno (DQO): Se tomó una alícuota de 10 mL de la muestra y se agregó a un balón aforado de 100 mL con agua destilada, a partir de este se tomó una alícuota de 20 mL y se trasvasó a un matraz aforado con cuello esmerilado de 250 mL con unión (24/40); para eliminar interferencias en el análisis por cloruros se añadió una punta de espátula de sulfato de mercurio II (HgSO_4). Se agregó 10 mL de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,250 N y 30 mL de disolución de sulfato de plata (Ag_2SO_4) preparada en ácido sulfúrico. Se colocó en reflujo el matraz con la muestra por dos horas, luego se trasvasó a un erlenmeyer de 250 mL y se hicieron tres lavados con 10 mL de agua destilada y se transfirieron al erlenmeyer que contenía la muestra. Al enfriarse, se agregaron 3 gotas de ferroína, se agitó y se valoró con solución de sal de Mohr (0,2500 N). Se preparó además un blanco reactivo, con el mismo tratamiento descrito.

Demanda biológica de oxígeno (DBO): Se calculó de forma indirecta utilizando una fórmula matemática que involucra el resultado de la demanda química de oxígeno $F_b = \frac{(\text{DBO}/\text{DQO})}{0,65}$; donde F_b es la fracción biodegradable de la materia orgánica presente en los puntos de muestreo y donde se le asigna un valor de 1, que es equivalente a que el 100% de la materia orgánica presente es biodegradable. Destacar que el valor tabulado representa el valor esperado para aguas superficiales de origen natural, dado que la DQO siempre incluye a la DBO.

Aniones (fluoruros, cloruros, nitratos y sulfatos, por medio de cromatografía iónica): A

partir del coctel aniónico estándar se preparó una curva de calibración de concentraciones entre los 0,4 ppm hasta los 14,0 ppm para el caso del cloruro, bromuro, nitrato y sulfato; y una de 0,08 ppm hasta 2,80 ppm para el flúor. Se filtraron cada una de las muestras y los patrones y se colocaron en los viales previamente rotulados, para su cuantificación por cromatografía de iones (ICS).

Cationes (sodio, amonio, potasio, calcio y magnesio, por medio de cromatografía iónica): Se preparó una curva de calibración con siete patrones que se filtraron al igual que muestras (las cuales no se diluyeron) y se llevaron a los viales de forma directa y se fueron cuantificadas.

Arsénico se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica (AA), acoplado al equipo de generador de hidruros. Se preparó en método en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica y posteriormente se obtuvieron los resultados de las absorbancias de los patrones para así realizar la curva de calibración. Se tomó una cantidad de cada muestra y se leyeron en el equipo.

Hierro y cobre fue cuantificado por AA: A partir una disolución madre, se preparó una curva de calibración con siete patrones con

concentraciones entre 1,00 ppm hasta 10,00 ppm. Se tomó una cantidad de la muestra de agua sin diluirla y se leyó todo en el equipo.

Coliformes totales por medio de la prueba Colilert: Se colocó la muestra de agua en un frasco de plástico especial de 100 mL (no fluorescente) para la determinación de ambos parámetros y se mantuvo en una hielera hasta ser llevada al Laboratorio. Se programó la incubadora por 24 horas a una temperatura de 39,0°C, se agregó el reactivo de Colilert a cada muestra y se agitaron suavemente. Se colocaron las seis muestras en la incubadora y pasadas las 24 horas se retiraron para verificar el color con una lámpara ultravioleta de 6 vatios, 365 nm a una distancia de unas 5 pulgadas de la muestra, en un entorno oscuro.

Resultados

A partir de las determinaciones analíticas realizadas se obtuvieron los siguientes resultados promedio para cada parámetro, en las muestras de agua superficial, durante estación lluviosa (Véase cuadro 1) y para la estación seca (Véase cuadro 2).

CUADRO 1: Informe de análisis físico, químico y microbiológico, del primer muestreo en la quebrada Estero para los tres puntos de muestreo (Invierno 2014).

Parámetro	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Clase*
pH	5,74 ± 0,01	5,75 ± 0,01	5,81 ± 0,01	4
Conductividad S/cm	99,9 ± 0,1	115,2 ± 0,1	203,0 ± 0,1	---
Temperatura °C	21,3 ± 0,1	20,1 ± 0,1	20,5 ± 0,1	---
Turbidez UNT	7,70 ± 0,01	61,5 ± 0,1	110 ± 1	2
Oxígeno disuelto %	24,4 ± 0,1	17,0 ± 0,1	13,0 ± 0,1	---
Sól. disueltos Tot. mg/L	52,1 ± 0,1	57,8 ± 0,1	109 ± 1	1
DQO mg/L	344 ± 10	335 ± 10	835 ± 10	5

DBO mg/L	224 ± 8	218 ± 8	218 ± 8	---
Fluoruros ppm	Detectable	Detectable	Detectable	1
Cloruros ppm	1,7 ± 0,1	1,8 ± 0,1	4,0 ± 0,1	1
Nitratos ppm	1,0 ± 0,1	0,8 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1
Sulfatos ppm	0,85 ± 0,07	1,25 ± 0,07	2,20 ± 0,07	1
Sodio ppm	3,48 ± 0,04	4,70 ± 0,04	8,62 ± 0,04	---
Amonio ppm	Detectable	Detectable	Detectable	1
Potasio ppm	1,32 ± 0,03	1,82 ± 0,03	2,14 ± 0,03	---
Magnesio ppm	1,99 ± 0,01	2,70 ± 0,01	2,59 ± 0,01	1
Calcio ppm	5,38 ± 0,03	7,50 ± 0,03	8,24 ± 0,03	---
Hierro ppm	1,5 ± 0,1	1,2 ± 0,1	3,1 ± 0,1	---
Cobre ppm	No detectable	No detectable	No detectable	1
Arsénico ppm	No detectable	No detectable	No detectable	1
Coliformes totales	Presencia	Presencia	Presencia	3

Fuente: Elaboración propia, octubre 2014. *Según Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, Decreto N° 33903, marzo 2007.

Importante destacar que el pH se considera ácido, la turbidez es elevada, el oxígeno disuelto es muy bajo, la DQO es elevada al igual que la DBO, la concentración de nitratos es considerable y existen indicadores de contaminación microbiológica importante. En el próximo apartado se analizará integralmente los resultados y las implicaciones ambientales.

CUADRO 2: Informe de análisis físico, químico y microbiológico, del segundo muestreo en la quebrada Estero para los tres puntos de muestreo (Verano 2014).

Parámetro	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Clase*
pH	6,51 ± 0,01	6,56 ± 0,01	6,83 ± 0,01	4
Conductividad S/cm	164,5 ± 0,1	133,7 ± 0,1	151,3 ± 0,1	---
Temperatura °C	20,5 ± 0,1	21,3 ± 0,1	19,0 ± 0,1	1
Turbidez UNT	13,5 ± 0,01	38,1 ± 0,1	39 ± 1	2
Oxígeno disuelto %	15,0 ± 0,1	17,5 ± 0,1	12,2 ± 0,1	---
Sól. disueltos Tot. mg/L	89,9 ± 0,1	70,7 ± 0,1	84,2 ± 1	1
DQO mg/L	780 ± 45	764 ± 45	695 ± 45	5
DBO mg/L	468 ± 27	459 ± 27	417 ± 27	---

Fluoruros ppm	Detectable	Detectable	0,14 ± 0,01	1
Cloruros ppm	Detectable	Detectable	2,91 ± 0,03	1
Nitratos ppm	Detectable	Detectable	0,68 ± 0,02	1
Sulfatos ppm	Detectable	0,68 ± 0,01	0,85 ± 0,01	1
Sodio ppm	4,0 ± 0,1	4,03 ± 0,08	8,7 ± 0,1	---
Amonio ppm	Detectable	Detectable	Detectable	1
Potasio ppm	0,94 ± 0,02	1,03 ± 0,02	1,26 ± 0,05	---
Magnesio ppm	2,46 ± 0,04	3,01 ± 0,06	3,57 ± 0,03	1
Calcio ppm	7,2 ± 0,2	8,0 ± 0,2	11,3 ± 0,3	---
Hierro ppm	20,0 ± 0,8	24,6 ± 0,8	24 ± 1	---
Cobre ppm	No detectable	No detectable	No detectable	1
Arsénico ppm	No detectable	No detectable	No detectable	1
Coliformes totales	Presencia	Presencia	Presencia	3

Fuente: Elaboración propia, diciembre 2014. *Según Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, Decreto N° 33903, marzo 2007.

El pH sigue siendo ligeramente ácido, empeoran los valores de oxígeno disuelto, DQO, DBO y el de Coliformes totales, debido principalmente a la reducción del caudal dado el bajo índice de precipitaciones y al elevado proceso de descomposición anaerobia.

Discusión

La calidad del agua en la zona está afectada por diversos factores entre los que se pueden citar: tipo de usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el escaso o nulo tratamiento que se le da a los efluentes antes de ser vertidos nuevamente a los cuerpos de agua, la explosión demográfica y la cantidad misma del agua del cauce del Estero, que por el tipo de relieve en la zona, no tiene capacidad de encausarse adecuadamente, y de este último factor depende su capacidad de dilución y purificación de la contaminación.

Se puede apreciar en los resultados, que el valor medido para el pH de las muestras de agua definen la quebrada como un agua superficial ácida a lo largo del año, situación que favorece procesos de dilución de materiales inorgánicos como los metales; Marín

(2006) asegura que la concentración relativa de iones hidrógeno (H^+) en el agua, provoca reacciones de disolución de las sales presentes en rocas y minerales, sobre todo en condiciones ácidas, como las descritas.

Tal situación promueve que en diversas partes de la quebrada se observe una coloración rojiza y anaranjada en el fondo, incluso en algunos trayectos el agua se torna con una coloración rojiza, debido a acomplejamiento del mineral hierro, que se solubiliza a ese pH en el agua y que le permite superar los 24 mg/L. Esta concentración elevada de hierro es considerada como dosis tóxica para la mayoría de organismos acuáticos; el bajo pH del agua favorece su proceso de disolución, lo que a su vez genera un aumento también de los óxidos de hierro y por consiguiente se produzca un cambio en la tonalidad del agua, tiñéndola de rojo.

Otros elementos metálicos como el sodio, potasio, calcio, magnesio, cobre y arsénico, mantienen una concentración baja, que no provocan alertas importantes, debido a las propiedades del suelo en la zona de estudio, pero que si favorecen los procesos de absorción de nutrientes en plantas hidrófilas y algunas macrófitas emergentes que sin duda coadyuvan en la aceleración del proceso de eutrofización en la quebrada.

En relación con lo anterior, se logró apreciar que el tercer punto de muestreo presentó resultados más elevados en turbidez, lo cual favorece un mayor crecimiento de plantas (Véase Figura 1) y está estancada, pues no se evidencia movimiento en comparación con el primer punto de muestreo, donde se observa que el agua presenta un mayor caudal.

La turbidez y la cantidad de sólidos disueltos alta reduce la penetración de la luz en los cuerpos de agua; al disminuir la cantidad de luz, se afecta la fotosíntesis que realizan los organismos fitoplanctónicos, al igual que la vegetación que se encuentra sumergida. La productividad de los peces depende totalmente de la vida de las plantas y de la fauna del fondo. Si la turbidez es muy elevada, el sistema ecológico estará en peligro (Borbolla, 2006). A partir de lo anterior y analizando los resultados del tercer punto muestreado, se puede afirmar que presenta un mayor peligro para la biodiversidad y la vida acuática del lugar, ya que en períodos de invierno alcanzó 110 ± 1 UNT y en período de verano superó los 39 ± 1 UNT, valor que sigue siendo extremadamente alto e incompatible con la vida de los organismos acuáticos, según Borbolla (2006).

Desde la óptica puramente físico-química la conductividad eléctrica del agua pura es muy baja, del orden de $0,05 \cdot 10^{-6} \text{ Ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, pero cualquier electrólito disuelto en ella la hace ser más conductora entre más existan disociados en el medio. En este sentido, la conductividad, y por tanto, el contenido salino de un agua natural fluyente (arroyos, ríos) suele ir incrementándose a través de su recorrido sobre el terreno, integrando cada vez más cantidad de sales en su seno (Marín, 2006).

La conductividad obtenida en el primer sitio de muestreo fue de $99,9 \pm 0,1$ S/cm, para el segundo $115,2 \pm 0,1$ S/cm y para el tercer punto fue de $203,0 \pm 0,1$ S/cm, para período de invierno, el comportamiento en el muestreo de verano, presenta un comportamiento más homogéneo, pero que supera en todos los sitios los 130 S/cm, este aumento de la conductividad conforme se avanza en el punto de muestreo, permite suponer que agua superficial aumenta su concentración de electrolitos disueltos, debido al fuerte proceso de descomposición orgánica, así como a la disminución del pH.

Para estimar la contaminación orgánica, se realizó la determinación de materia oxidable presente en el agua, la cual es susceptible de oxidar a partir del oxígeno del medio. Para dicho análisis actualmente son usados los siguientes métodos: la demanda química de oxígeno (DQO) que es la medida de las materias oxidables por el dicromato de potasio en medio ácido y la demanda biológica de oxígeno (DBO) que es la medida de las materias orgánicas biodegradables (Aguilera, Rodríguez & Pérez, 2009). Además, según Pérez (2009) ambos índices fisicoquímicos pueden ser un instrumento más confiable para determinar el ingreso de agentes contaminantes.

Se obtuvieron valores de DQO de 344 ± 10 mg/L, 335 ± 10 mg/L y 335 ± 10 mg/L para los puntos de muestreo 1, 2 y 3 respectivamente en el período de invierno y de 250 ± 10 mg/L, 244 ± 10 mg/L, 216 ± 10 mg/L, para el período de verano, según el decreto N° 33903, todas de las muestras superan el valor máximo permitido que es de 50 mg/L, lo que significa que el agua superficial en la quebrada Estero se puede clasificar como agua de clase 4, que equivale a un río con contaminación severa, según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.

Para encajar en esta categoría se debió considerar entonces, la concentración del oxígeno disuelto (OD) y la concentración de amonio, que

como se aprecia en los cuadros 1 y 2, el OD no supera en período de invierno el 18% en promedio y en período de verano el 15% en promedio. Dichos valores favorecen el crecimiento de organismos anaerobios y facultativos según Kiely (1999) que aceleran los procesos de descomposición anaerobia y que por ende incrementa la liberación de gases incompatibles con los organismos de un sistema acuático aerobio e imposibilita la vida a organismos oxígeno dependientes como los peces.

Para clasificar el agua superficial de la quebrada se requiere sumar los puntos correspondientes en cada uno de los ámbitos respectivos según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del agua para cuerpos receptores, que le permiten la asignación de puntaje.

En los análisis realizados en la quebrada Estero se obtuvo un valor promedio anual de los 3 puntos de muestreo para el PSO (porcentaje de

oxígeno disuelto) de 18,1%, asignándole 5 puntos, un DBO promedio de 173 mg/L, que se taran con 5 puntos más y el nitrógeno amoniacal como amonio, aun cuando fue detectable, no se logró cuantificar con la técnica utilizada, por ende se le asignó un valor de 1 punto; para un total de 11 puntos.

En el Decreto, la suma obtenida de puntos se traslada a un código de colores con el cual queda clasificada la calidad del agua superficial (Véase cuadro 3), obteniendo como grado de contaminación la quebrada Estero la asignación de un código de color anaranjado, se interpreta en términos de calidad como clase 4, es decir agua con contaminación severa.

CUADRO 3: Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.

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

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica (MINAE & MINSA, 2007).

De acuerdo dicha clasificación y según lo establece dicho decreto, el agua de la quebrada Estero no es utilizable, por su grado de contaminación, para:

- el abastecimiento de agua para uso y consumo humano,
- el abastecimiento de agua para actividades industriales destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano,
- actividades recreativas de contacto primario,
- acuicultura,
- fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas,
- fuente para la protección de las comunidades acuáticas,
- riego de especies arbóreas, cereales y plantas forrajeras,

- riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara.

Por otro lado, autores como Kiely (2006) recomiendan el uso de agua con este tipo de características para el abastecimiento de un abrevadero y actividades pecuarias, así como para la generación hidroeléctrica; sin embargo, aún para dichos usos existen ciertas limitaciones y se deberá tomar en cuenta el análisis de los parámetros complementarios, recomendados según los decretos vigentes.

Los resultados vistos de manera integral, evidencian el riesgo para el ecosistema y debe servir como una alerta, para reducir el impacto que significa la alteración antropogénica en el ecosistema de la quebrada Estero; asimismo, el fango activo ubicado en el fondo del agua, es un indicador más del fuerte proceso de eutrofización que sufre la quebrada, debido al elevado proceso de descomposición que genera una alteración del cuerpo de agua natural.

Mejía (2006) señala que un agua con un DBO mayor a 120 mg/L y un DQO mayor a 200 mg/L son clasificadas como fuertemente contaminadas y se consideran como aguas superficiales con un fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales. Asimismo, Brown (2009) agrega que las cantidades excesivas de materiales orgánicos biodegradables en agua son perjudiciales debido a que eliminan del agua el oxígeno necesario para sustentar la vida animal normal. Entre las fuentes de esos materiales que demandan oxígeno, se incluyen las aguas negras, los desechos industriales [...].

Por otra parte, Pérez (2009) añade que el oxígeno disuelto es una variable que define en gran parte la biodiversidad y la supervivencia de la comunidad biótica. La mayoría de los peces toleran una concentración baja de oxígeno disuelto por cierto período de tiempo. Sin embargo, reducciones por debajo del 50% generan efectos

negativos sobre la biodiversidad, el crecimiento, la reproducción y la actividad de estos. El oxígeno disuelto determina si en los procesos de degradación dominan los organismos.

En general, para las especies tropicales, el porcentaje ideal para muchos peces es mayor a 67%, mientras que las concentraciones de oxígeno disuelto menores a 55%, afectan adversamente la biodiversidad y la supervivencia de la comunidad biótica (Pérez & Rodríguez, 2009). Tal y como se aprecia en los resultados, los porcentajes de oxígeno disuelto en todos los puntos nunca se superó el 25% y dependiendo del período de muestreo son aún más bajos; con lo cual se puede afirmar que esto afecta la vida acuática del sitio así como su biodiversidad. Es importante destacar que en la quebrada no se observó ningún tipo de vida acuática, en ninguno de los tramos muestreados.

En presencia del oxígeno, el carbono, nitrógeno, azufre y fósforo contenidos en la materia biodegradable, terminan en el medio ambiente como especies de CO_2 , HCO_3^- , H_2O , NO_3^- , SO_4^{2-} y fosfatos. Dicha formación de productos de oxidación, reduce la cantidad de oxígeno disuelto de manera que las bacterias aerobias no pueden sobrevivir, por ende las bacterias anaerobias llevan a cabo el proceso de descomposición, y forman nuevas especies como: CH_4 , NH_3 , H_2S , PH_3 , entre otros productos, muchos de los cuales contribuyen a los desagradables olores de algunas aguas contaminadas (Brown, LeMay, Burten & Murphy, 2009).

Según lo anterior, se esperaría que la descomposición del material orgánico se lleve cabo por bacterias anaerobias, las cuales evidentemente están liberando dichos gases, que se constatan *in situ*, al observar burbujas y mal olor sobre la superficie del agua (véase Figura 3).



Fig. 3. Fotografía de la quebrada Estero, en el punto de muestreo 2, en donde se aprecia la liberación de gases debido a la descomposición de la materia orgánica del fondo. Fuente: Los autores, noviembre 2014.

El tema de la eutrofización de aguas superficiales Leyton (2007) lo define como el abastecimiento excesivo de los nutrientes nitrógeno y fósforo a los cuerpos de agua, con el consecuente crecimiento acelerado de microalgas, que puede producir la muerte de peces al despojarlos del oxígeno que necesitan para vivir.

Necesariamente ello implica la presencia excesiva de materia orgánica en el fondo del agua, que favorece la descomposición de la biomasa y por consiguiente un consumo del oxígeno desmedido, empobreciendo el medio de dicho elemento vital. Asimismo, el crecimiento rápido de algas y otras plantas causan que se recubra la superficie del agua, lo que impide el paso de luz solar a las capas inferiores.

Respecto a la concentración de nitratos en el agua superficial de sitio de estudio, su existencia puede tener diversos orígenes; según Pacheco, et al. (2006) relacionados con actividades humanas como la agricultura y la disposición de los desechos de humanos y de animales.

Las concentraciones de nitratos en el agua superficial investigada en términos generales es baja según el decreto aplicable, pues en promedio se obtuvo $1,0 \pm 0,1$ ppm; incluso notándose una considerable reducción de casi el 50% de la concentración en el período de verano, debido a la disminución de lixiviados y escorrentía normales en estación seca, así como al incremento en las necesidades de absorción de las plantas y otros organismos que lo utilizan como nutriente para asegurar su crecimiento.

No obstante, varios autores señalan que un sistema biótico que tenga aguas superficiales con una concentración de nitrógeno de 0,30 a 0,65 ppm, se pueden considerar eutrófico; Henry & Heinke, (1999) incluso, señalan que esas concentraciones de nitratos estimulan el crecimiento algáceo; según los resultados la quebrada ya se puede considerar eutrófica, pues las concentraciones obtenidas de nitratos sobrepasan por mucho el límite máximo señalado.

Agravando la situación si consideramos en el factor de contaminación la concentración de sulfatos; los niveles encontrados en las muestras fueron $0,85 \pm 0,07$ ppm, $1,25 \pm 0,07$ ppm y $2,20 \pm 0,07$ ppm, para los puntos de muestreo 1, 2 y 3 respectivamente; el aumento progresivo de la concentración de sulfatos observado desde el punto 1 y hasta el punto 3. Según López (2013) el sulfato (SO_4^{2-}) se encuentra en casi todas las aguas naturales y la mayor parte de los compuestos sulfatados se originan a partir de la oxidación de los minerales de sulfato y la existencia de residuos industriales. Autores como Rapal (2010) aseguran que los sulfatos son sustancias que igualmente favorecen los procesos de eutrofización en cuerpos de agua.

Por todo lo expuesto se puede asegurar que existe un proceso de eutrofización acelerado, debido a la gran cantidad de plantas que existen sobre el lecho de la quebrada, así como a la excesiva capa de materia orgánica en el fondo del río, que provocan junto a los cambios en la composición

química de nitratos y fosfatos modificaciones de las características bióticas y abióticas, que son percibidas por los pobladores como cambios en el paisaje en el lapso de años, al beneficiar los procesos eutróficos citados que colaboran como se mencionó con el desarrollo de plantas y algas que reducen el cauce de la quebrada.

En cuanto a la determinación de coliformes totales (CT), se analizó la microbiología del agua, utilizando la prueba con el reactivo de Colilert, la cual permite evaluar su presencia o ausencia. Importante señalar que una coloración amarilla es indicativa su presencia, pues se metaboliza el indicador ONPG (orto-nitrofenil- β -galactósido), un nutrientes microbiológico (Torres, 2006). El agua analizada resultó tener CT (Véase figura 5), lo que aumenta el riesgo de contaminación microbiológica en el lecho de la quebrada con determinados grupos bacterianos patogénicos, que sin duda agravan los problemas de contaminación y el uso que pueda tener el agua superficial para actividades como el riego o la agricultura, entre otras.



Fig. 4. Fotografía de los resultados de la prueba Colilert para coliformes totales, en los 3 puntos de muestreo, noviembre, 2014. Fuente: Los autores, noviembre 2014.

Se cuantificaron los cationes más comunes presentes en el agua son: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y NH_4^+ . Según Beita (2008) el sodio está en el agua en mayor concentración que el potasio; tanto las concentraciones de ion sodio y el ion potasio en aguas naturales superficiales varían de manera considerable dependiendo de las condiciones geológicas locales y las descargas de aguas residuales. En aguas naturales las concentraciones de potasio son elementos esenciales, para la nutrición de las plantas, su presencia en el agua es beneficiosa. La concentración de sodio promedio anual para la quebrada fue de 7,44 ppm y la de potasio fue 1,25 ppm, considerándose valores normales. El magnesio está presente en las aguas como ion Mg^{2+} y se encuentra también en la clorofila, en diferentes compuestos organometálicos, en materia orgánica y es un elemento también esencial para los seres vivos. La concentración promedio anual de magnesio no superó los 2,9 ppm y el calcio uno de los cationes más abundantes en aguas superficiales, apenas superó en uno de los puntos de muestreo los 11 mg/L.

En general, las concentraciones de los cationes obtenidas se encontraron dentro de los ámbitos de concentraciones naturales y no representan ningún impacto en la conservación y preservación de la vida del ecosistema acuático.

La concentración de cloruros cuantificada fue de $1,7 \pm 0,1$ ppm en el sitio 1, $1,8 \pm 0,1$ ppm en el sitio 2 y $4,0 \pm 0,1$ ppm en el sitio 3. La presencia de esta sustancia puede deberse a aguas de desecho sin tratar provenientes de casas, que están llegando a la quebrada y que posean detergentes u otros productos de limpieza como los champúes.

La toxicidad del cloruro es afectada por diferentes variables, entre ellas: la concentración de oxígeno disuelto, la temperatura, así como el tiempo de exposición y la presencia de otros contaminantes (Beita, 2008). Sin embargo, en la actualidad no se han encontrado referencias de estudios sistemáticos que evalúen con precisión la influencia de estas variables sobre su toxicidad en un ecosistema como el estudiado.

Respecto a la concentración de amonio y fluoruros en las muestras de agua se obtuvo que estas sustancias son detectables pero no cuantificables. Además, los metales cobre y arsénico no fueron detectables por el método de absorción atómica implementado.

Conclusiones

A partir del estudio físico, químico y microbiológico realizado en la quebrada Estero, durante la estación seca y lluviosa de 2014, se concluye lo siguiente:

- El crecimiento de plantas en el lecho del río, se explica como un proceso de eutrofización de origen antropogénico, ya que se provee el ecosistema de elevados niveles de nutrientes (nitratos y sulfatos), los cuales exceden los límites naturales.
- La quebrada se considera eutrófica, pues las concentraciones obtenidas de nitratos sobrepasan el límite de 0,3 ppm, el cual propicia el crecimiento algáceo.
- Los porcentajes de oxígeno disuelto en la quebrada son bastante bajos, lo cual dificulta la vida de diversas especies acuáticas.
- La degradación de la materia orgánica está siendo llevada a cabo por bacterias anaerobias que liberan ciertos gases como el metano, que empeoran la situación de restauración natural de la quebrada.
- La presencia de coliformes totales además de servir como indicador de contaminación, ofrece un índice racional del contenido bacteriano del agua, el cual es necesario considerar si se llega a utilizar el agua de la quebrada en alguna actividad productiva.
- Existe una relación de incremento en la conductividad eléctrica del agua respecto al pH ácido de esta, aun cuando los niveles de acidez son bajos, estos valores desencadenan diversos desequilibrios que conllevan procesos de dilución de metales pesados, entre otros procesos altamente

contaminantes, que cambian las propiedades organolépticas del agua.

- El agua de la quebrada Estero tiene a partir del presente estudio una asignación de color anaranjado, que la clasifica como clase 4, quedando determinada su calidad como agua con contaminación severa, según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica, publicado en el Decreto N° 33903 del 9 de marzo 2007.

Recomendaciones

Una vez analizadas las variables de estudio y obtenidas las conclusiones, para asegurar una mejora sustantiva e integral en la calidad del cuerpo de agua superficial en la Quebrada el Estero, se propone lo siguiente:

- Que la Municipalidad y la UCR a nivel de sus Programas de Acción Social, realicen un proceso escalonado y continuo de concientización sobre la población que está en las zonas superiores y cercanas a la quebrada, que forme con conocimientos ambientales a dichos pobladores; que les permita comprender la problemática que generan sus actuaciones y modifiquen o eviten el agregado de aguas grises, aguas negras y cualquier tipo de contaminante que altere la calidad del cuerpo receptor, con el fin de mejorar sustancialmente la vida de la quebrada.
- A nivel Municipal y privado, se debe asegurar un adecuado tratamiento a las aguas residuales antes de ser lanzadas a un cuerpo de agua superficial como la quebrada Estero, con el fin de evitar agravar los problemas de contaminación que significan para el ambiente, así como para su futura utilización y respetando los decretos y normativa vigente.
- Se recomienda a la comunidad propiciar -en el corto plazo- un dragado de la quebrada Estero, con el fin de remover la gran cantidad

de materia orgánica del fondo, con ello se mejora la oxigenación del agua, el ingreso de la luz solar, así como una mejor relación de descomposición natural de la materia orgánica y la posible restauración del cuerpo de agua natural.

- El material extraído del dragado, puede someterse a compostaje por parte de agricultores de la misma comunidad que estén interesados, utilizando sistemas biológicos como fangos activos o lechos bacterianos que favorezcan su posterior uso como abono en sitios cercanos dedicados a la agricultura, una vez estabilizados, para lo cual la UCR, desde sus proyectos de acción social puede colaborar con la realización del este.
- Se recomienda ampliar el cauce de la quebrada eliminando la maleza, controlando el crecimiento de plántulas colonizadoras, así como modificaciones en el relieve para que el flujo del agua sea menos léntico y con ello reducir el avanzado proceso de eutrofización en la quebrada.

Referencias

- Aguilera, I.; Rodríguez, S.; & Pérez, R. (2009). Validación de la determinación de la DQO en la unidad analítica del CEBI. *Revista Cubana de Química*, 15(2), 2003. Cuba: Editorial Universitaria. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10306899&p00=demanda%20quimica%20ox%C3%ADgeno>
- Álvarez, J.; Panta, J.; Ayala, C. & Acosta, E. (2008). Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica del Río Amajac. *Información Tecnológica*, 19 (6), 21-32. Recuperado de: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642008000600004.

- Araúz, M. et. al (2007). Guion ilustrativo del Bosque Demostrativo. Trabajo Comunal Universitario Bosque Demostrativo de la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica.
- Beita, W. (2008). Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Trabajos Finales de Graduación para optar por el grado de Licenciado en Química.
- Bolaños, J. (2013). Implicaciones del monitoreo periódico de la calidad del agua potable en el cantón de Grecia, Alajuela, Costa Rica. *Revista Intersedes*, 14 (28), 39-53. Recuperado de: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/viewFile/12121/11407>.
- Borbolla, M. (2006). Calidad del agua en Tabasco. México: Red Salud en Tabasco. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10113047&p00=sulfatos>
- Brown, T.; LeMay, E.; Burten, B. & Murphy, P. (2009). *Química la ciencia central*. 11ª ed. México: Pearson Educación. pp 786.
- Frers, C. (2009). Aguas que lloran por los humanos. Argentina: El Cid Editor. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10317413&p00=contaminacion%20aguas>.
- Guido, I. & Rodríguez, C. (2009). Avifauna del bosque municipal José Figueres Ferrer, San Ramón, Alajuela, Costa Rica (Noviembre 2006 a Mayo 2009). *Zeledonia*, 13 (1), 20-27. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4043050>.
- Gómez, A.; Villalba, A. & Acosta, G. (2006). Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro durante 1997 y 1999. México: Red Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10121631&p00=conductividad%20agua%20superficial>
- Henry, G. & Heinke, G. (1999). *Ingeniería ambiental*. 2ª edición. México: Pearson Education.
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. 3ª edición. España: Mc Graw Hill.
- Leyton, H. & Parra, A. (2007). Proposición de un plan de gestión ambiental para minimizar el proceso de eutrofización en la cuenca de la laguna de Aculeo, región metropolitana Chile. Chile: B - Universidad de Santiago de Chile. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10552785&p00=eutrofizaci%C3%B3n>
- López, B.; Ramos, J.; Moran, J.; Benavides, A. & García, G. (2013). Origen de la calidad del agua del acuífero colgado y su relación con los cambios de uso de suelo en el Valle de San Luis Potosí. *Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana*, 65(1), 9-26. Recuperado de: <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=a9a7bf6995c74647818427e9efcc0fbd%40sessionmgr4003&vid=15&hid=4102>
- Marín, R. (2006). Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas. España: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10139992&p00=ph%20aguas%20r%C3%ADos>

- Mejía, E.; Rosales, F.; Rojas, J. & Molina, M. (2006). Atlas de la cuenca Lerma-Chapala construyendo una visión conjunta. México: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de: http://www2.inecc.gob.mx/emapas/download/lch_calidad_del_agua.pdf
- Pacheco, J.; Cabrera, A. & Pérez, R. (2006). Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. México: Red Ingeniería Revista Académica. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10118664&p00=sulfatos%20nitratos>
- Pérez, A. & Rodríguez, A. (2009). Índice físico-químico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Costa Rica: B - Universidad de Costa Rica. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/docDetail.action?docID=10327546&p00=de manda%20quimica%20ox%C3%ADgeno>
- Pullés, M.; Mayarí, R. & Martínez, V. (2006). Criterios para la acreditación de laboratorios que realizan ensayos microbiológicos según NC-ISO/IEC 17025:00. Revista CENIC Ciencias Biológicas, 37(1), 32-36. Recuperado de: <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=a9a7bf69-95c7-4647-818427e9efcc0fbd%40sessionmgr4003&vid=31&hid=4102>
- Quesada, M. (2000). Transformación en el uso de la tierra: un estudio de la microcuenca quebrada Estero, San Ramón. Revista Geografía de América Central, 1 (38), 43-59. Recuperado de: <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/1722>.
- Quesada, M. (2003). Análisis cronológico de los desbordamientos de la Quebrada Estero, San Ramón. Revista Pensamiento Actual, 4 (5), 35-41. Recuperado de: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/viewFile/8306/7861>
- Rapal Uruguay. (2010). Contaminación y eutrofización del agua: Impactos del modelo de agricultura industrial. Recuperado de: <http://www.rapaluruguay.org/agrotoxicos/Uruguay/Eutrofizacion.pdf>
- Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales Decreto N° 33903 del 9 de marzo 2007.
- Torres, C. (2006). Procedimiento para la Medición de Coliformes Totales y *E. Coli* (Colilert). Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá. Recuperado de: <http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/PCUTP-CIHH-LSA-222-2006.pdf>
- Vargas, E.; Gómez, M. & Rodríguez, J. (2009). Procesos industriales: manual de laboratorio para el análisis químico y control de calidad. Heredia. EUNA. 154 p.
- Wiki. (2007). Ingeniería de aguas residuales. España. Wiki. pag 4. Recuperado de: <http://site.ebrary.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/lib/sibdilibrosp/reader.action?docID=10179597>