



INFORME DE LA CALIDAD DE  
AGUAS SUPERFICIALES DEL  
CANTÓN DE BELÉN: AÑO  
2012

**40** AÑOS  
*años*

*Educación Superior por el bien común*

Licda. Sandra León Coto

Rectora Universidad Nacional

Ing. Horacio Alvarado Bogantes

Alcalde Municipalidad de Belén

Publicación de resultados generada en el marco del Programa de Cooperación UNA-Municipalidad de Belén: Observatorio Ambiental del cantón de Belén, bajo la responsabilidad técnica de los siguientes funcionarios:

Licda. Dulcehé Jiménez Espinoza

Lic. Esteban Ávila Fuentes

Unidad Ambiental

Dr. Jorge Herrera Murillo

Coordinador Laboratorio de Análisis Ambiental UNA

Para obtener mayor información sobre el presente documento favor dirigirse a los correos electrónicos: [ambiental@belen.go.cr](mailto:ambiental@belen.go.cr), [jorge.herrera.murillo@una.cr](mailto:jorge.herrera.murillo@una.cr).

## Presentación

El agua de los ríos, es un recurso limitado, esencial para la vida humana, de tal forma que un desarrollo sostenible no es posible sin la adecuada cantidad y calidad de este recurso. El crecimiento de la población, la transformación de los estilos de vida y el modelo de desarrollo económico del país han acentuado la presión sobre los recursos hídricos, especialmente sobre las aguas superficiales, las cuales han venido experimentando un aumento considerable en los niveles de contaminación generados principalmente por la descarga de aguas residuales sin tratamiento.

La polución de cuerpos de agua trae consigo diversos problemas ambientales asociados: reducción del suministro de agua dulce, riesgos en la salud, la inutilización del uso del agua para diversos usos, sobreexplotación de aguas subterráneas, el impacto negativo sobre la vida acuática y la desaparición del valor estético, entre otros.

Ante este panorama la Municipalidad de Belén ha desarrollado, en conjunto con la Universidad Nacional, un sistema de monitoreo de la calidad de las aguas superficiales que atraviesan el cantón, con el fin de identificar el estado de degradación de los ecosistemas acuáticos, orientar la toma de decisiones en materia de política ambiental dirigida a la recuperación sostenida de los mismos y el desarrollo de indicadores ambientales que evalúen la efectividad de los planes formulados.

Este esfuerzo no tendría sentido si no se logra un mayor compromiso e integración entre los diversos actores sociales: gobierno central, municipio, organismos no gubernamentales y la ciudadanía en general. Este proceso deberá realizarse con la participación de las comunidades, fomentando la capacitación de la población y la construcción de una nueva cultura del agua. Con la presentación de este informe, el municipio espera aportar los insumos requeridos para la construcción del tejido social requerido para afrontar el gran desafío que significa la recuperación sostenida de nuestros cuerpos de agua superficial.

Ing. Horacio Alvarado Bogantes

Alcalde Municipalidad de Belén

# Índice

Licda. Sandra León Coto.....	2
Presentación.....	3
Índice.....	4
Introducción.....	5
Área de Estudio.....	9
Metodología:.....	13
RESULTADOS.....	16
CONCLUSIONES.....	26
REFERENCIAS.....	27

## Introducción

El término “calidad del agua” se refiere a las condiciones de pureza o de alteración del agua. Sin embargo, cuando se habla de calidad de agua se debe tener claro que se hace en función del uso o actividad que se planea dar al líquido; ya sea para uso y consumo humano, para uso industrial, para riego agrícola, piscicultura y recreación (Angelier, 2003). Por ello, no es posible hablar de una buena o mala calidad, sino que cada actividad, requiere una calidad de agua específica (Pérez-Ortiz, 2005). En Costa Rica, el uso prioritario es para el consumo humano, pero también se utiliza en la industria, agricultura, el sector pecuario, generación eléctrica.

La cantidad y la calidad del agua varían tanto espacial como temporalmente y de ellas depende la disponibilidad del recurso. La alteración de la calidad del agua, reduce el volumen disponible para uso y consumo humano, así como para su uso por las poblaciones animales, vegetales y de manera general, para el funcionamiento de los ecosistemas. La calidad del agua es un factor determinante de la salud pública y de los ecosistemas, que restringe la oferta de agua y su distribución potencial para los diferentes usos, por eso es muy importante su estudio.

Para evaluar la calidad del agua y establecer las condiciones en la que se encuentran los cuerpos de agua superficial se pueden emplear parámetros físicos, químicos y biológicos. A estos parámetros se les denomina “indicadores de la calidad del agua” (Seoáñez, 1999). Los parámetros fisicoquímicos que se han considerado importantes y son utilizados en diversos países como base para medir la calidad del agua son el pH, la temperatura, la conductividad, el oxígeno disuelto, nutrimentos como el nitrógeno y el fósforo, los sólidos suspendidos y sedimentables, la velocidad de corriente y la descarga del río. Entre éstos uno de los más estudiados en los ríos o sistemas lóticos es la descarga, la cual se refiere al volumen del agua que fluye por unidad de tiempo a través de una sección transversal del canal del río (Hauer y Lamberti, 2006); este factor afecta principalmente la disponibilidad de nutrientes en el sistema.

En general la fuente principal de los nutrientes hacia los cuerpos de acuáticos son: la lluvia, los escurrimientos y los procesos biogeoquímicos proveniente de la vegetación y de las zonas aledañas (De la Lanza et al., 2000). Los nutrientes que se encuentran en los cuerpos de agua son básicamente compuestos nitrogenados (urea, amonio, nitritos y nitratos) y fosfatados (varias formas de fosfatos). La carencia de éstos para el buen desarrollo del fitoplancton, son limitantes primordiales de producción primaria. En aguas templadas se considera al fósforo como limitante para el desarrollo de los organismos acuáticos (Wetzel, 2001) y en aguas tropicales el nitrógeno suele ser el limitante ya que este no es tan soluble y se encuentra en menor concentración.

Sin embargo, en Costa Rica es baja la probabilidad de no tener aporte de nutrientes a los cuerpos de agua, así cantidades inusuales de compuestos como el amonio son indicativos de eutrofización o inclusive condiciones anóxicas que puede ser naturales o inducidas por la actividad humana. Los compuestos nitrogenados tienen dos tipos de fuentes: una externa o alóctona (importado de otro ecosistema) y otra interna o autóctona (producido dentro del mismo sistema). La primera se refiere a los compuestos inorgánicos disueltos como nitratos o amonio, los cuales son utilizados por las plantas, mientras que los compuestos de origen autóctono son el resultado de procesos de fijación llevado a cabo por bacterias y algas. El nitrógeno en forma de amonio se encuentra de forma naturales en aguas superficiales y es producto de las hidrólisis de la urea (APHA, 2005); además es producto de desechos domésticos y agrícolas y de los procesos industriales. Los nitratos son un estado de oxidación final del nitrógeno y es un elemento disponible para los organismos acuáticos.

El fósforo total puede presentarse en los cuerpos acuáticos del arrastre natural de las partes elevadas de una cuenca, y en concentraciones muy elevadas debido a las descargas de aguas residuales domésticas y agrícolas porque son compuestos primordiales de los fertilizantes (APHA, 2005).

El índice de calidad del agua (ICA), se define como el valor numérico que indica el estado actual del agua analizada y su posible uso en función de este valor, es decir como: agua potable, en actividades de riego, industriales y usos recreativos. El criterio de calidad del agua, es una relación cuantitativa entre la densidad del indicador en el agua y el riesgo potencial que puede ejercer sobre los seres vivos. El índice de calidad del agua, es una

manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Para que este índice de calidad sea práctico deben considerarse sólo una selección de parámetros representativos.

Durante el monitoreo de un río el cual tenga por objetivo detectar el grado de deterioro del agua, se genera una gran cantidad de datos proporcionados por la medición de diversos parámetros dimensionalmente distintos, esto dificulta detectar los patrones de contaminación. Con el propósito de integrar la información generada por estos parámetros surge la necesidad de crear los sistemas de índices de calidad. Los índices de calidad deben cumplir con los siguientes criterios:

- Uso de parámetros representativos de los objetivos de calidad.
- Sensibilidad a las variaciones de los parámetros de importancia para los objetivos de calidad y uso.
- Capacidad de representar adecuadamente las variaciones en las condiciones reales del curso de agua.
- Correlación con otros índices.
- Potencialidad de determinación automática, mediante el uso de parámetros medibles en tiempo real.
- Factibilidad de reproducción

Así los primeros intentos para generar una metodología unificada para el cálculo de un índice de calidad del agua se refieren a los realizados por Dinius. Los parámetros a determinar varían de acuerdo al país y al sistema de clasificación utilizado. Distintos sistemas.

El índice adoptado 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”. Mediante este sistema la calidad del agua puede estimarse por medio de la asignación de puntajes. Los parámetros de este sistema son: el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto (PSO), la demanda bioquímica de oxígeno de 5 días ( $DBO_5$ ) y el nitrógeno amoniacal ( $NH_4^+$ ). La suma obtenida de puntos se traslada seguidamente a un código de colores con el cual queda clasificada la calidad del agua del cuerpo receptor de acuerdo al

grado de contaminación propio. Finalmente, para cada clase desde la 1 a la 5 y su asignación correspondiente de color queda definida desde el estado de calidad no contaminada hasta aquel totalmente contaminado, según el cuadro 1.

Cuadro 1. Asignación de clases de calidad del agua según el sistema Holandés de codificación por colores.

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



## Área de Estudio

### **Geografía:**

Belén es el cantón sétimo de la provincia de Heredia, ubicado entre las coordenadas geográficas medias 09° 59' 14" latitud norte y 84° 00' 38" longitud oeste. Posee una extensión territorial de 11.81 km<sup>2</sup> y según el último censo, Belén posee una población de 19 834 habitantes de los cuales un 49.4% son hombres y 50.6% mujeres. Su densidad es de 1632 habitantes por kilómetro cuadrado. Se localiza al norte del río Virilla y al sur del río Segundo, separado por una distancia aproximada de 10 km de la ciudad de San José, capital de Costa Rica, y a 4 km del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. Belén limita al este con los cantones de Heredia y Flores, al norte y al oeste con el cantón de Alajuela, al sur con los cantones de Santa Ana, Escazú y San José.

La topografía del cantón es plana, el sistema fluvial del cantón de Belén, pertenece a la cuenca del río Grande de Tárcoles, es drenado por el río Bermúdez y su afluente la Quebrada Seca; así como por los ríos Segundo y Virilla, que son límites cantonales; posee una altitud promedio de 915 metros sobre el nivel del mar. Geológicamente esta formado por materiales de origen volcánico.

### **Condiciones Climatológicas:**

Anualmente y en promedio para la zona se tienen pluviosidades de 2059 milímetros, en donde se refleja un marcado periodo seco que va de diciembre a marzo, con un promedio de precipitaciones para esos meses de 17,6 milímetros, para los meses de mayo y junio se presenta el primer pico fuerte de lluvias arriba de los 250 milímetros mensuales y ya en los meses de septiembre y octubre se presenta el periodo de mayores lluvias con promedios mensuales arriba de los 335 milímetros.

Los promedios mensuales de temperaturas, no presentan mayores rangos de diferenciación, así se tiene que la temperatura media mensual fluctúa entre los 22,4 y 24,0 °C, la mínima entre los 17,5 y 18,4 y la máxima entre los 27,1 y 29,7. Evidentemente, los menores rangos

de temperatura tienen una relación directa con los vientos alisios provenientes del hemisferio Norte en época de invierno.

Los promedios mensuales de velocidades de vientos, igualmente guardan una relación directa con la influencia de los vientos alisios provenientes del hemisferio Norte, es así como se encuentran velocidades de 12,1 Km/h en el mes de septiembre y 26,1 Km/h en el mes de febrero.

Los promedios mensuales de humedad relativa son altos y van desde un 65% en la época seca hasta un 86%, en el mes de septiembre (Cubero, 2009).

### **Geología:**

El cantón de Belén se localiza en el Arco Interno de Costa Rica; en el Valle Central; con base en Denyer y Arias (1991); las formaciones del subsuelo corresponden a unidades de roca de origen volcánico efusivo, las cuales estratigráficamente se han dividido en las siguientes formaciones geológicas:

- ***Formación Lavas Intracañón***

Se trata de por lo menos siete coladas de lava andesíticas que cerca del Puente de Mulas presenta una intercalación de 35 metros de un depósito de un flujo de bloques y cenizas, afloran solamente en los profundos valles de los ríos Virilla y Tiribí. Localmente presenta una intercalación de una toba de flujo brechosa (Miembro Puente de Mulas), el espesor total de la Formación Lavas Intracañón es de casi 100 m; (Kussmaul, 1994).

- **Formación Avalancha Ardiente**

Encima de las lavas intracañón yace una capa de pómez con un espesor máximo de 3 metros, producto de una gran explosión volcánica, seguido por depósitos de flujos piroclásticos con un espesor promedio de 45 metros. La base de esta formación está compuesta por una capa de pómez de caída de hasta 3 m de espesor, seguida por flujos de ceniza ricos en bombas escoriáceas, lapilli y clastos líticos.

- **Formación Lavas Pos-avalancha**

Con este nombre se denomina a varias coladas de lava y depósitos piroclásticos que se originaron en la Cordillera Volcánica Central y forman parte del grupo Volcánico Central; se considera que la mayor parte de los materiales de esta formación provienen del macizo del volcán Barba; (Echandi, 1981, en Denyer & Arias, 1991). Está compuesta por coladas de lava andesíticas y andesíticas basálticas con espesores que van desde los 10 m hasta los 80 con intercalaciones que van de aproximadamente 10 metros de ceniza volcánica y ocasionalmente lapilli, (Denyer y Arias, 1991). La sección tipo está al sureste de la población de Barba de Heredia, en la margen izquierda de la quebrada Barba, (Gómez, 1984). Esta formación geológica se localiza en la parte norte del cantón de Belén; en donde afloran los frentes de coladas de lavas andesíticas de la parte inferior (Miembro Bermúdez); las cuales están cubiertas por tobas y cenizas meteorizada.

#### **Aspectos Socioeconómicos:**

El uso de la tierra en Belén es bastante variado. Se encuentran zonas de residenciales, zonas industriales y hasta zonas de protección. Dentro de sus actividades económicas están la industrial, la turística y la comercial. Según datos de la Municipalidad de Belén, el cantón cuenta con 73 industrias, de las cuales 33 tienen un rango de empleados que va desde 250 hasta 2500. Además cuenta con al menos 326 comercios, varios hoteles grandes y pequeños, clubes privados y centros de recreación.

De acuerdo a la estructura productiva del cantón de Belén, se puede mencionar que de las empresas ubicadas en este municipio; el sector de comercio y servicios ocupa el 62,20% en comparación con el sector Industrial con un 30,71% y por último el sector agropecuario con un 7,09%; según información de la CCSS del 2006 (Municipalidad de Belén, 2007).

El cantón de Belén cuenta con la mayoría de servicios públicos. Además posee, según la Municipalidad, 7 398 km de carretera pavimentada y 2 km de carreteras lastreadas. La mayoría de su infraestructura vial se encuentra en buen estado, así como el alcantarillado pluvial. Entre los servicios públicos se encuentra el alcantarillado pluvial, acueducto municipal, recolección y tratamiento de basura, servicio de limpieza de vías y servicio de cementerio (Municipalidad de Belén, 2007).

De acuerdo con la Municipalidad de Belén, el cantón cuenta con un índice de desarrollo social del 94,9%, ocupando el segundo lugar en el país. Al compararlo con el resto de cantones de la provincia de Heredia se encuentra una diferencia de 23,5%. Su índice de pobreza, sin embargo, se encuentra en aumento.

## Metodología:

El programa de monitoreo de cuerpos de agua superficiales que atraviesan el cantón de Belén consta de once sitios de monitoreo, los cuales se distribuyen de acuerdo con lo indicado en el cuadro 2.

**Cuadro 2. Descripción de los sitios de muestreo utilizados en el monitoreo de los cuerpos de agua del cantón de Belén**

Nombre del cuerpo de agua	Código del sitio	Descripción del sitio de muestreo
<b>Río Segundo</b>	<b>R1</b>	Puente localizado contiguo a la Cervecería Costa Rica
	<b>R2</b>	Puente localizado entre el Aeropuerto Juan Santamaría y el centro Recreativo Ojo de Agua
<b>Río Quebrada Seca</b>	<b>R3</b>	Puente localizado frente a la empresa HP en Zona Franca American Free Zone
	<b>R4</b>	Puente localizado contiguo a la empresa UNILEVER
	<b>R5</b>	Puente localizado contiguo a la industria Rodillos Industriales, San Antonio
	<b>R6</b>	Puente La Amistad, carretera Belén-Santa Ana
<b>Río Bermúdez</b>	<b>R7</b>	Puente Los Golfistas
	<b>R8</b>	Puente contiguo a la industria Kimberly Clark
	<b>R9</b>	Puente Pekiss
	<b>R10</b>	Puente ubicado en Calle Los Tilianos
	<b>R11</b>	Puente Radial

Los sitios de muestreo fueron seleccionados con el fin de incluir los lugares antes y después de los principales asentamientos humanos, y de acuerdo a importantes cambios en los patrones de uso de suelo y pendientes dentro de cada cuerpo de agua superficial.

Durante cada campaña de muestreo se colectaron muestras de agua compuestas, las cuales fueron generadas al mezclar, en forma proporcional al caudal registrado en el cuerpo de

agua, muestras simples tomadas a lo largo de un período de 6 horas. Las muestras se recolectaron usando botellas de polietileno de alta densidad de 3 l y se conservaron a 4°C en hieleras para ser transportadas al laboratorio. Las muestras se tomaron a 0,5-1 m de distancia de la orilla del río y a una profundidad promedio de 20 cm. Para el análisis de metales pesados se utilizaron botellas adicionales, las cuales se colocaron al menos 24 h en un baño de ácido nítrico al 10% y luego se enjuagaron varias veces con agua desionizada antes del muestreo.

Se realizaron un total de 6 campañas de muestreo entre enero -diciembre 2012.

### **Análisis Químico:**

Las mediciones de los siguientes parámetros fisicoquímicos se llevaron a cabo in situ: temperatura del agua, pH y el oxígeno disuelto. El pH se midió utilizando un instrumento portátil OAKTON PH5 Ac, el oxígeno disuelto con un oxímetro marca Thermo Orion 3 y la temperatura del agua con un termómetro de mercurio sumergido bajo el agua durante 5 minutos. Tanto el oxímetro como el pHmetro se calibraron antes de cada evento de muestreo y se comprobaron varias veces durante el día. Los análisis químicos realizados a las muestras colectadas se indican en el cuadro 3.

**Cuadro 3. Métodos analíticos empleados en la evaluación de las muestras de agua colectadas.**

<b>Variable</b>	<b>Método</b>	<b>Límite de Detección</b>	<b>Unidades</b>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	5220 D Standard Methods	6	mg O <sub>2</sub> /l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	5210 D Standard Methods	3	mg O <sub>2</sub> /l
pH	4500-H <sup>+</sup> B Standard Methods	-	pH units
Oxígeno Disuelto	4500-O Standard Methods	0,10	mg O <sub>2</sub> /l
Sólidos Sedimentables	2540 Standard Methods	0,1	ml/l
Sólidos Suspendidos Totales	2540 D Standard Methods	0,6	mg/l
Turbiedad	Nefelométrico	Na	NTU
Fósforo Total	4500-P C Standard Methods	0,7	mg/l
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> Standard Methods	8	µg/l

<b>Variable</b>	<b>Método</b>	<b>Límite de Detección</b>	<b>Unidades</b>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	4500-NH <sub>3</sub> Standard Methods	14	µg/l
Cl <sup>-</sup>	4110 Standard Methods	0,10	mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4110 Standard Methods	0,14	mg/l
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4110 Standard Methods	0,05	mg/l
Na	3111 Standard Methods	0,11	mg/l
K	3111 Standard Methods	0,07	mg/l
Ca	3111 Standard Methods	0,8	mg/l
Mg	3111 Standard Methods	0,01	mg/l
Al	3113 Standard Methods	1,1	µg/l
Fe	3113 Standard Methods	4	µg/l
Cr	3113 Standard Methods	3	µg/l
Cu	3113 Standard Methods	1,5	µg/l
Ni	3113 Standard Methods	2,4	µg/l
Pb	3113 Standard Methods	1,8	µg/l
Mn	3113 Standard Methods	2	µg/l

El análisis de metales trazas se efectuó en muestras sin filtrar (totales) y en muestras filtradas con filtros de nitrato de celulosa de 0,45 micras (disueltos). Antes de las mediciones, las muestras de agua fueron digeridas por acidificación con HNO<sub>3</sub> (2,5 ml de ácido a 25 ml de la muestra). Los valores típicos registrados en los blancos de campo y de laboratorio, para todos los metales medidos, se encontraban por debajo del límite de detección o eran insignificantes en comparación a las mediciones efectuadas en aguas naturales.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas evaluadas en cada cuerpo de agua se resumen en los cuadros 4 y 5. La clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficial generalmente se basa en la comparación de los datos de concentración de diversos contaminantes medidos en el campo, contra los valores límite establecidos en instrumentos legales (cuadro 6). Las normas de calidad de los ríos y otros cuerpos de agua se definen en función de los usos potenciales de agua. El reglamento para la evaluación y clasificación de calidad del agua superficial en Costa Rica define cinco clases de uso del agua. Sin embargo, existen métodos alternativos para realizar la evaluación de la calidad de los patrones de la superficie del agua.

Uno de estos métodos es el de evaluación global Fuzzy (FCA por sus siglas en inglés). Este método puede mejorar la comprensión de los diversos procesos y fenómenos que están involucrados en las matrices ambientales. La FCA evalúa la significación de cada componente de un sistema en términos de pesos predeterminados y disminuye la complejidad (o falta de claridad) por medio de funciones de pertenencia (Chen et al., 2005) que conducen a una mayor sensibilidad analítica en comparación con técnicas de evaluación similares (Guleda et al., 2004). También resuelve los problemas de contorno borroso y controla los efectos de error de seguimiento (Wang, 2002). En el presente estudio, el FCA se utilizó para estimar las variables relevantes que determinan la calidad del agua basados en la transformación difusa y el principio de máximo grado de pertenencia. Para utilizar este método, se partió del establecimiento de cinco clases de calidad de agua, las cuales corresponden con las indicadas en el Decreto 33903-MINAE-S: Clase 1 (sin contaminación), Clase 2 (contaminación incipiente), Clase 3 (contaminación moderada), Clase 4 (contaminación alta), y Clase 5 (contaminación muy alta). Cada uno de los 11 sitios de monitoreo se asoció con una clase de contaminación basada en los grados de pertenencia máximos derivados del FCA (Cuadro 7). De acuerdo con el decreto 33903-MINAE-S y la información sobre la calidad ambiental del área de estudio, la calidad del agua de la clase 1 se considera limpia o de condición de baja contaminación (LP), la calidad del agua de clase 2 y 3 corresponde a contaminación



Cuadro 4. Resultados de monitoreo de calidad de agua superficial en los sitios ubicados en los ríos de Belén, Año 2012.

Sitios	pH 25°C	DBO (mg O <sub>2</sub> /l)	DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	Sól Sed (ml/l)	T (°C)	SST (mg/l)	Turb (NTU)	Cloruro (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Fósforo (mg/l)	Amonio (µg/l)	Nitrito (µg/l)	SAAM (mg/l)	O <sub>2</sub> dis (mg/l)
<b>RIO SEGUNDO</b>															
R-01	6,49	12	62	0,10	20,2	5,4	9,1	4,8	12,6	7,8	12,1	319	45,4	0,19	5,85
R-02	6,35	14	77	0,14	21,5	16,2	9,7	8,0	11,6	6,8	9,2	332	162	0,26	5,13
<b>RIO QUEBRADA SECA</b>															
R-03	6,25	19,8	107	0,18	22,7	10,4	19,8	26,2	19,2	7,4	12,5	15 702	732	1,06	2,25
R-04	6,50	18,8	75	0,32	23,2	14,4	23,3	20,8	30,4	6,2	11,9	4 334	646	0,95	3,08
R-05	6,64	13,2	62	0,14	23,0	4,8	6,96	14,4	15,4	15,6	10,3	7 282	893	0,53	5,15
R-06	6,73	10	75	0,20	24,0	6,2	7,5	14,6	15	14,8	8,9	1 654	1218	0,38	5,61
<b>RIO BERMUDEZ</b>															
R-07	6,13	204	308	5,5	23,1	78,2	68,3	21,4	24	2	11,1	11 258	946	1,64	0,32
R-08	6,32	157	286	4,2	23,2	60	61,4	19,6	16,8	3	10,5	5 723	466	1,61	0,83
R-09	6,59	72	220	2,3	23,3	48,4	45,2	19,2	16,4	4	10,4	1 139	643	1,28	0,60
R-10	6,19	183	392	5,9	22,7	76,6	63,9	18,2	17,4	3,4	11,0	1 274	242	1,48	0,34
R-11	6,50	35	122	1,3	22,8	42,6	32,8	16,4	18,2	3,8	9,8	1 492	208	0,97	1,14

**Cuadro 5. Resultados de monitoreo de calidad de agua superficial (metales) en los sitios ubicados en los ríos de Belén, Año 2012.**

Sítios	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	Zn (mg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)	Cu (µg/l)	Cr (µg/l)	Ni (µg/l)	Co (µg/l)	Al (µg/l)	Cd (µg/l)	As (µg/l)	Pb (µg/l)
<b>RIO SEGUNDO</b>															
R-01	11	5,06	6,0	4,2	0,14	16	76	10	11	5	2	1508	11	8	24
R-02	16	3,42	6,1	15,6	0,14	10	133	7	9	9	2	3094	9	8	55
<b>RIO QUEBRADA SECA</b>															
R-03	26	9,90	8,0	18,1	0,12	14	170	9	10	19	2	1359	9	8	53
R-04	39	7,74	6,4	15,8	0,13	9	230	10	9	4	3	1603	nd	nd	48
R-05	26	4,60	8,9	15,1	0,12	10	147	6	9	10	2	1459	nd	8	31
R-06	27	6,44	8,7	8,7	0,14	10	201	8	9	9	2	2294	11	8	36
<b>RIO BERMUDEZ</b>															
R-07	29	9,36	7,1	7,0	0,13	4	390	14	14	10	6	3014	nd	nd	33
R-08	32	13,9	6,8	8,7	0,12	323	515	16	14	9	7	2318	9	nd	37
R-09	32	7,14	7,0	14	0,14	374	437	11	12	8	10	1279	9	8	36
R-10	32	10,0	6,8	8,8	0,12	422	378	14	13	6	7	1491	nd	nd	36
R-11	31	12,5	6,7	10,9	0,12	202	357	12	13	20	6	6299	11	nd	40

**Cuadro 6. Guías para la clasificación de los cuerpos de agua superficial de Costa Rica**

Parámetro	Guías Decreto 33903-MINAE-S				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
Turbiedad (NTU)	< 25	25 a <100	100 a 300		
SST (mg/l)	< 10	10 a 25	25 a 100	100 a 300	> 300
DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	< 20	20 a <25	25 a <50	50 a <100	100 a 300
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	< 100	100 a 200	NA	NA	NA
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	> 150	150 a 250	>250	>250	>250
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	< 22	22 a < 44	44 a < 66	66 a < 88	> 88
Mg (mg/l)	<8,6	8,6 a 14,4	> 14,4	> 14,4	> 14,4
Cr (µg/l)	< 50	50	200	500	> 500
Cu (µg/l)	< 500	500 a 1000	1000 a 1500	1500 a 2000	2000 a 2500
Ni (µg/l)	< 50	50	100	200	300
Pb (µg/l)	< 30	30 a <50	50 a < 100	100 a <200	200

moderada (MP), la calidad del agua de las clases 4 y 5 se considera como contaminación alta (HP). Como resultado del FCA, ningún sitio de monitoreo de los cuerpos de agua fueron clasificados 2 como LP; 4 sitios como MP y 5 sitios como HP, la mayoría de ellos estaban ubicados en los ríos y afluentes de las zonas urbanas de alta densidad. La caracterización estadística de los sitios de muestreo estudiados se presenta en el cuadro 8. De las variables fisicoquímicas evaluadas en las muestras colectadas en los cuerpos de agua superficial solamente el pH, Ca, K, y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> muestran una distribución normal. Para estas variables, se

utilizó el análisis de varianza (ANOVA) con mínima diferencia significativa (LSD) para detectar aquellos parámetros que determinan las diferencias existentes entre las tres zonas de contaminación (LP, MP y HP). En forma alternativa, para las variables que no presentan una distribución no normal se empleó una prueba no paramétrica (U de Mann-Whitney)

**Cuadro 7. Resultados de la Evaluación Integral Fuzzy (FCA) y clasificación de los sitios de muestreo de contaminación.**

Sitios Muestreo	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
R. Segundo R01	0,315	0,261	0,247	0,177	0
R. Segundo R02	0,195	0,203	0,382	0,21	0,01
R. Q Seca R03	0,078	0,154	0,264	0,399	0,105
R. Q Seca R04	0,061	0,146	0,421	0,312	0,06
R. Q Seca R05	0,065	0,135	0,274	0,37	0,156
R. Q Seca R06	0	0,094	0,186	0,395	0,325
R. Bermudez R07	0	0,058	0,396	0,365	0,181
R. Bermudez R08	0	0	0,098	0,432	0,47
R. Bermudez R09	0	0	0,213	0,412	0,375
R. Bermudez R10	0	0	0,241	0,344	0,415
R. Bermudez R11	0	0	0,284	0,35	0,366

para detectar posibles diferencias (véase el cuadro 9). Al aplicar las pruebas anteriores se encontró que solamente cuatro variables: sólidos suspendidos totales (SST), nitrato, amonio y la demanda química de oxígeno (DQO) determinan la diferencia entre los sitios de baja y alta contaminación.

**Cuadro 8. Características estadísticas de los parámetros evaluados en las muestras de agua superficial en los cuerpos de agua superficial del cantón de Belén, año 2012**

Parámetro	Valor Coeficiente Skewness	Valor Coeficiente Kurtosis	Estadístico Shapiro-Wilk	Distribución Normal
pH	0,024	0,046	0,982	X
Turbiedad	3,973	18,108	0,452	
SS	2,605	10,320	0,727	
SST	5,130	34,81	0,109	
DQO	2,773	11,64	0,740	
DBO	2,879	21,65	0,549	
Cl <sup>-</sup>	1,39	2,836	0,897	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,959	0,968	0,947	X
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,700	3,954	0,862	
Na <sup>+</sup>	2,150	5,280	0,746	
K <sup>+</sup>	0,911	0,823	0,977	X
P total	3,140	4,150	0,605	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6,520	2,318	0,788	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	4,052	13,044	0,600	

**Cuadro 9. Medias registradas para los sitios de cada una de las categorías de contaminación en los cuerpos de agua superficial del cantón de Belén.**

Variables	Zona	Media	Variables	Zona	Media

<b>DQO (mg O<sub>2</sub>/l)</b>	LP	27,5	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	LP	3,73
	MP	59,1		MP	3,70
	HP	88,4		HP	5,15
<b>SST (mg/l)</b>	LP	11,43	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l)</b>	LP	9,59
	MP	43,05		MP	13,29
	HP	112,74		HP	13,75
<b>Turbiedad (NTU)</b>	LP	4,29	<b>Na<sup>+</sup> (mg/l)</b>	LP	6,22
	MP	7,26		MP	8,42
	HP	15,64		HP	8,69
<b>DBO (mg O<sub>2</sub>/l)</b>	LP	16,0	<b>K<sup>+</sup> (mg/l)</b>	LP	2,54
	MP	21,6		MP	2,95
	HP	19,6		HP	2,74
<b>Cl (mg/l)</b>	LP	4,98	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (µg/l)</b>	LP	65,4
	MP	7,36		MP	116,4
	HP	8,01		HP	268,7
<b>SS (ml/l)</b>	LP	0,10	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (µg/l)</b>	LP	210
	MP	0,25		MP	619
	HP	0,30		HP	947

### Principales fuentes de contaminación:

Para identificar las principales fuentes de contaminación se realizó un análisis de factor sobre los datos normalizados obtenidos para las tres zonas de contaminación. El análisis de factor es un método estadístico multivariado que se puede utilizar para describir la variabilidad entre los parámetros observados en términos de un menor número de mensurandos no observadas llamados factores

(Tabachnick y Fidell. 2001). El análisis de factor se ha utilizado para evaluar una serie de indicadores de calidad del agua y su variación espacial (Wunderlin et al., 2001). Los resultados del análisis de factor junto con los tipos de fuentes probables se presentan en la Tabla 9. Según Liu et al. (2003), cargas factoriales  $> 0,75$ ,  $(0,5-0,75)$  y  $(0,3-0,5)$  se consideran como fuertes, moderadas y débiles, respectivamente.

En la zona de LP, se obtuvieron dos varifactores (Cuadro 10). El primer varifactor (VF1) representa el 44,4% de la varianza total, y presenta una fuerte correlación entre  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$  que relaciona los factores naturales como la litología y tipos de suelo. El segundo varifactor (VF2) explicó el 16,6% de la varianza total e incluyó la DQO, DBO y SST. Este factor representa múltiples fuentes de contaminación y puede ser generado principalmente por la escorrentía urbana y aguas residuales industriales.

En la zona de MP, el VF1 explicó el 32,9% de la varianza total y presentó cargas fuertes en  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y una carga débil en  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ . Este factor representa la contaminación difusa de origen asociado con la producción agrícola y la influencia del tipo de suelo. El VF2 explicó el 24,4% de la varianza total y tenían cargas fuertes de DBO, Sólidos Sedimentables, SST, y moderados en el fósforo total,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_2^-$ . Las correlaciones de dichos nutrientes apoya el argumento de que la eutrofización es un problema de calidad del agua en esta zona debido a la escorrentía de las aguas residuales urbanas.

En la zona de HP, el VF1 explicó sobre el 39,9% de la varianza total y tenía cargas fuertes en DQO, DBO, SST, TP,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_2^-$ . Este factor podría ser interpretado como la influencia de la contaminación de fuente puntual, como los vertidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y efluentes industriales. El VF1 presentó una carga negativa muy fuerte para el oxígeno disuelto, lo que indica que la calidad del agua en la zona de HP ha sido seriamente degradada por la presencia de extensas

**Cuadro 10. Resultados del análisis de factor aplicados a los datos del monitoreo**

Parámetro	Contaminación Baja		Contaminación Media		Contaminación Alta	
	VF1	VF2	VF1	VF2	VF1	VF2
<b>pH</b>	-0,099	0,181	-0,043	0,269	-0,187	-0,202
<b>Turbiedad</b>	0,719	0,424	0,400	0,664	-0,164	0,332

<b>S. Sediment</b>	0,043	0,038	-0,122	0,858	0,133	0,006
<b>SST</b>	0,115	0,734	-0,030	0,897	-0,193	0,516
<b>DQO</b>	0,088	0,859	0,291	0,568	-0,146	0,947
<b>DBO</b>	0,114	0,835	0,368	0,652	0,339	0,874
<b>Cloruro</b>	0,900	0,296	0,847	0,242	0,925	-0,006
<b>Sulfato</b>	0,681	0,117	0,765	0,212	0,852	0,044
<b>Nitrato</b>	0,244	0,765	0,730	-0,295	-0,281	-0,027
<b>Sodio</b>	0,860	-0,067	0,786	0,067	0,886	0,298
<b>Potasio</b>	0,915	-0,041	0,573	0,372	0,907	0,059
<b>Fósforo Total</b>	0,492	0,152	0,364	0,520	0,123	0,928
<b>Nitrito</b>	0,836	0,088	0,428	0,579	0,466	0,702
<b>Amonio</b>	0,644	0,504	0,426	0,641	0,247	0,824
<b>Varianza</b>	<b>44,4%</b>	<b>16,6%</b>	<b>32,9%</b>	<b>24,4%</b>	<b>22,9%</b>	<b>39,9%</b>

condiciones anaeróbicas causadas por el agotamiento de oxígeno debido a la descomposición de material orgánico. El VF2 explicó 22,9% de la varianza total y tenían cargas fuertes en  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ .

Al analizar la evolución de los contaminantes evaluados en el período 2010-2012 (Cuadro 11), se puede notar que para algunos ríos como Segundo, Quebrada Seca y Bermúdez se mantiene una tasa de crecimiento anual de 17,5-21,7% para DQO y 6,6-12,5% para turbiedad.



**Cuadro 11. Evolución de los parámetros evaluados en los cuerpos de agua superficial del cantón de Belén, 2010-2012.**

<b>Parámetro</b>	<b>Río Q. Seca</b>	<b>Río Segundo</b>	<b>Río Bermúdez</b>
<b>DQO</b>	<b>17,5%</b>	<b>18,3%</b>	<b>21,7%</b>
<b>DBO</b>	<b>11,8%</b>	<b>10,3%</b>	<b>11,8%</b>
<b>Turbiedad</b>	<b>12,5%</b>	<b>7,4%</b>	<b>6,6%</b>
<b>SST</b>	<b>11,6%</b>	<b>19,3%</b>	<b>12,5%</b>
<b>Cloruro</b>	<b>3,2%</b>	<b>4,0%</b>	<b>4,9%</b>
<b>Sulfato</b>	<b>2,5%</b>	<b>3,3%</b>	<b>5,5%</b>

## CONCLUSIONES

- Un 82% de los sitios de muestreo monitoreados en los cuerpos de agua del cantón de Belén, presentan niveles de contaminación de moderado a severo.
- Los sitios con contaminación de moderada a severa se caracterizan por presentar concentraciones elevadas de DQO (122-308 mg O<sub>2</sub>/l), SST (42,6-78,2 mg/l), nitrito y amonio.
- Las principales fuentes que explican las variaciones en la composición química de los cuerpos de agua son la incorporación de minerales presentes en los suelos, arrastre de sólidos generados por fuentes de área dispersas y la descarga de aguas residuales sin tratamiento.
- Los niveles de contaminación en los cuerpos de agua han venido experimentado tasas positivas de crecimiento en los últimos 3 años que varían dependiendo de la variable analizada, entre un 5 a 25% anual. El incremento ha sido provocado por un mayor aporte de fuentes antropogénicas de descarga de aguas residuales.
- A partir de los resultados generados se debe revisar el modelo de regulación de la descarga de aguas residuales a cuerpos de agua existente en el país, con el fin de considerar la capacidad de autodepuración del río.
- Se deben desarrollar inventarios de vertidos en los cuerpos receptores con el fin de identificar la naturaleza e impacto de las descargas de aguas residuales sobre la composición de los ríos, además de verificar el cumplimiento de la normativa nacional en esta materia.
- Resulta de suma importancia desarrollar modelos de cálculo de arrastre de sólidos por escorrentía para cada cuerpo de agua superficial con el fin de identificar las áreas de intervención prioritarias.
- Se debe fortalecer los modelos de gestión de cuenca a nivel del municipio con la incorporación de inventarios de emisiones a cuerpos de agua, como mecanismos para definir las prioridades de intervención en las mismas.

## REFERENCIAS

Angelier, E. 2003. Ecology of streams and rivers. Science Publishers, Inc. USA, Enfield, Nuevo Hemisferio. 218 pp.

Chen, H.W., Chang, N.B., Shaw, D. (2005). Valuation of in-stream water quality improvement via fuzzy contingent valuation method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 19 (2): 158–171.

Guleda, O.E., Ibrahim, D., Halil, H. (2004). Assessment of urban air quality in Istanbul using fuzzy synthetic evaluation. *Atmospheric Environment* 38 (23): 3809–3815.

Liu, C.W., Lin, K.H., Kuo, Y.M. (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan. *Science in the Total Environment* 313 (1-3): 77–89.

Pérez-Ortiz, G. 2005. Diagnóstico Ambiental como base para la rehabilitación de las ciénegas del Lerma, Estado de México. Tesis de maestría. Instituto de Ecología. UNAM, México.

Tabachnick, B.G., Fidell, L.S. (2001). Using Multivariate Statistics. Allyn and Bacon. Boston. MA.

Wang, H.Y. (2002). Assessment and prediction of overall environmental quality of Zhuzhou City, Hunan Province, China. *Journal of Environmental Management* 66 (3): 329–340.

Wunderlin, D.A., Diaz, M.P., Ame, M.V., Pesce, S.F., Hued, A.C., Bistoni, M.A. (2001). Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquia river basin (Cordoba, Argentina). *Water Research* 35 (12): 2881–2894.