



## **PROGRAMA OBSERVATORIO AMBIENTAL**

Municipalidad de Belén-Universidad Nacional



**Calidad de las Aguas Superficiales  
en Belén**

**Informe 2010 de estado y tendencias**

# Presentación

---

Los ríos son sistemas dinámicos que modifican su naturaleza a lo largo de su curso, debido a cambios en las condiciones físicas tales como las pendientes y la geología de su lecho. La química del agua superficial en cualquier punto refleja importantes influencias: litológicas, atmosféricas, climáticas y antropogénicas, por lo que es fundamental poder identificar y cuantificar estas influencias. En el estudio de ecosistemas naturales, muchas variables cambian simultáneamente con el tiempo y la ubicación con muy pocas oportunidades de controlarlas. En la medida en que se puedan medir tantas variables como sea posible que describan el sistema, es posible que se pueda entender sus interacciones y establecer la sostenibilidad ambiental.

Debido a lo anterior, la importancia que adquieren los programas de seguimiento del estado de las aguas es cada vez mayor debido a la necesidad de contar con información de calidad para gestionar eficazmente un recurso escaso y poder satisfacer los requerimientos legales sobre la materia, cada vez más exigentes. La Municipalidad de Belén, a través de su Programa Observatorio Ambiental, ejecutado bajo un convenio de cooperación con el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, ha desarrollado un programa de vigilancia periódica de la calidad fisicoquímica de los cuerpos de agua superficial que atraviesan el Cantón de Belén.

El principal objetivo de este programa de seguimiento es ofrecer una visión clara del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y de la influencia de las actividades antropogénicas sobre ellas. La información obtenida mediante estos programas permite la conexión entre el estado de las aguas y las necesidades de gestión. Así mismo sirve estudiar la efectividad de las medidas adoptadas por los gestores y el grado de cumplimiento de los objetivos marcados.

---

El presente informe contiene los resultados del programa de seguimiento a los cuerpos de agua superficial del cantón para el año 2010, los cuales serán un insumo valioso para orientar los esfuerzos realizados, tanto a nivel local como regional, por mejorar la calidad del agua superficial en beneficio de los habitantes de Belén

Ing. Horacio Alvarado Bogantes  
Alcalde Municipal

---

# Calidad de las Aguas Superficiales en Belén

## Informe 2010 de estado y tendencias

Ing. Horacio Alvarado Bogantes  
Alcalde Municipalidad de Belén

Licda. Sandra León Coto  
Rectora Universidad Nacional

Lic. Esteban Ávila Fuentes  
Coordinador de la Unidad Ambiental  
Municipalidad de Belén

Dr. Jorge Herrera Murillo  
Coordinador del Laboratorio de Análisis Ambiental  
Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional

Elaborado por el Laboratorio de Análisis Ambiental, Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, en el marco del Programa Observatorio Ambiental, Municipalidad de Belén-Universidad Nacional, con la colaboración de:

Dr. Jorge Herrera Murillo  
Licda. Susana Rodríguez Román  
Licda. Éricka Herrera Delgado  
Lic. José Félix Rojas Marín

---

# 1. Introducción

La contaminación de las aguas superficiales con productos químicos tóxicos y los procesos de eutrofización de los ríos causados por las descargas libres de aguas residuales con alto contenido de nutrientes son los principales problemas presentes en la mayoría de las cuencas en los países en desarrollo (Kowalkowski et al., 2006). La degradación de la calidad del agua debido a la incorporación de estos contaminantes se ha traducido en la disminución de la salud general de las comunidades acuáticas de estos ecosistemas (Campbell et al, 1993).

El concepto de calidad del agua se ha entendido históricamente como la aptitud para satisfacer distintos usos en función de sus características, determinadas generalmente por parámetros fisicoquímicos. La clasificación de la calidad de estas aguas se basa, generalmente, en la comparación de datos de concentración de contaminantes medidos en campo contra valores límite establecidos en instrumentos legales. Los estándares de calidad para ríos y otros cuerpos de agua se definen en base a criterios sobre los posibles usos del agua. El Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales de Costa Rica define cinco clases de pureza del agua, asignando estándares para cada uno de ellos. A continuación se mencionan algunos usos de los cuerpos de agua superficiales que están supeditados a la calidad del agua superficial:

## a) Acuicultura

La acuicultura es la actividad organizada por el hombre que tiene por objeto la producción de recursos hidrobiológicos, cualquiera sea su finalidad. En este acápite se consideran sólo las actividades de acuicultura que se realizan en el cauce mismo (uso del agua in-situ). La acuicultura que se realiza fuera del cauce se incluye como uso extractivo de tipo industrial.

## b) Pesca deportiva y recreativa

Este uso es el que se destina a la actividad realizada con el objeto de capturar especies hidrobiológicas sin fines de lucro y con propósito de deporte, recreo, turismo o pasatiempo.

---

c) Riego

El uso del agua para riego es aquel que incluye la aplicación del agua desde su origen natural o procedente de tratamiento. Se distingue riego irrestricto y restringido. El primero es el que contempla agua, cuyas características físicas, químicas y biológicas la hacen apta para su uso regular en cada una de las etapas de desarrollo de cultivos agrícolas, plantaciones forestales o praderas naturales. En el riego restringido, en cambio, la aplicación se debe controlar, debido a que sus características no son las adecuadas para utilizarlas en todas las etapas de cultivos y plantaciones.

d) Captación para agua potable

El uso para la captación de agua potable es aquel que contempla la utilización en las plantas de tratamiento para el abastecimiento tanto residencial como industrial.

e) Generación de energía eléctrica

f) Actividad industrial

g) Actividad minera

Si bien es cierto que los ríos pueden asimilar y transportar una parte de los residuos generados a partir de fuentes puntuales, tales como descargas de aguas residuales municipales e industriales y fuentes difusas como la escorrentía de las tierras agrícolas y áreas urbanas, no todos poseen la misma capacidad de autodepuración, de forma tal que la calidad del agua dulce refleja los efectos combinados de muchos procesos a lo largo de las vías de agua y está fuertemente influenciado por las características de la cuenca incluyendo litología, aportes atmosféricos, las condiciones climáticas y las aportaciones antropogénicas (Bricker y Jones, 1995; Bhaduri et al., 2001; Ren et al., 2003; Xian et al., 2007).

La evaluación precisa de la clase y extensión de la contaminación del agua es una tarea difícil debido a los diversos procesos y fenómenos complejos que caracterizan a estos ambientes. Sin embargo, es una tarea fundamental, ya que se requiere contar con la información del

---

estado de degradación ambiental de estos ecosistemas para orientar las políticas y planes de intervención orientados a la recuperación de estos ecosistemas.

## **Parámetros fisicoquímicos empleados en la determinación de la calidad de las aguas:**

### ***Temperatura***

Muchos factores afectan directamente la temperatura del agua, pero entre los principales tenemos la ubicación geográfica del cuerpo de agua (en regiones templadas, tropicales o subtropicales) y la época del año. Es de esperarse que un cuerpo de agua localizado en regiones templadas pudiera tener variaciones más amplias a lo largo del año que aquellos ubicados en regiones tropicales donde las variaciones de temperatura son más estrechas. En zonas costeras los máximos alcanzan usualmente valores por arriba de los 32 °C en el agua (Contreras, 2002).

En cuerpos de agua lo suficientemente profundos se presenta una mayor probabilidad de estratificación de temperaturas durante la época seca, llamándosele epilimnion a la capa de agua superior, más cálida que la capa de abajo o hipolimnion, en la cual el agua tiene relativamente poco movimiento. Estas dos capas están separadas por una zona de transición llamada metalimnion. Mientras mayor sea la diferencia de temperatura entre las capas, más difícilmente se pueden mezclar sus aguas. A medida que pasa el año y ayudados por la acción del viento y la disminución de la temperatura, estas capas pueden llegar a circular.

La temperatura afecta directamente muchos de los procesos biológicos y fisicoquímicos, incluyendo a los nutrientes que se encuentran en el agua. En especial, afecta la solubilidad de muchos elementos y principalmente el oxígeno disuelto. En condiciones normales, a medida que aumenta la temperatura, la solubilidad del oxígeno es menor (Chapman, 1992; APHA, 1995).

### ***Oxígeno disuelto***

Muchos autores señalan que la cantidad de oxígeno disuelto es una de las principales características para definir la salud del ecosistema (APHA, 1995). El oxígeno disuelto es vital para la mayoría de los organismos que viven en el agua. El oxígeno proviene del intercambio

---

con la atmósfera y como producto de la fotosíntesis, llevada a cabo por las plantas acuáticas y algas. El oxígeno es usado durante la respiración, incluyendo en ello la de productores, consumidores y descomponedores. Es común observar variaciones diarias y estacionales en los valores de oxígeno en el agua. El oxígeno se mide en partes por millón (ppm) o su equivalente en miligramos por litro (mg/l) y esto puede hacerse con un oxímetro o fijando una muestra de agua para su posterior determinación (Chapman y Kimstach, 1992).

El crecimiento descontrolado de algas y plantas acuáticas y la alta concentración de materia orgánica pueden afectar negativamente los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Cuando estos niveles caen por debajo de 5,0 mg/L, la vida acuática corre riesgo. Al llegar a niveles menores a 2 mg/L los peces y muchos de los invertebrados sufrirán grandes mortalidades, al punto de alcanzar un cuerpo de agua condiciones de virtual anoxia.

La disminución y/o falta de oxígeno se asocia también con áreas, en donde se presentan intensos procesos de descomposición de materia orgánica.

### ***Demanda bioquímica de oxígeno***

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios (principalmente por bacterias y protozoarios). Representa, por tanto, una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente.

Se utiliza para determinar la contaminación de las aguas. Cuando los niveles de la DBO son altos, los niveles de oxígeno disueltos serán bajos, ya que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en gran cantidad. Al haber menos oxígeno disponible en el agua, los peces y otros organismos acuáticos tienen menor posibilidad de sobrevivir.

Relacionado con la DBO, encontramos a la DBO<sub>5</sub>, que es la prueba en el laboratorio en el cual una muestra de agua se alimenta con bacteria y nutrientes, y se hace una incubación a una temperatura de 20°C durante 5 días en la oscuridad (APHA, 1995). El valor de DBO se determina comparando el valor de oxígeno disuelto (OD) de una muestra de agua tomada inmediatamente con el valor de la muestra incubada descrita anteriormente. La diferencia

---



entre los dos valores de OD representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra y es la mejor aproximación del nivel de la DBO. La DBO se mide en ppm o mg/L (Chapman y Kimstach, 1992; APHA, 1995; Bain, 1999).

### ***DQO, demanda química de oxígeno***

Es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se utiliza para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales.

### ***Potencial de hidrógeno (pH)***

El pH es una medida de la acidez o naturaleza básica (alcalina) de una solución. Es también una medida del balance de los iones de hidrógeno  $[H^+]$  y los iones hidroxilo negativo  $[OH^-]$  en el agua. Los valores de pH van de 0 a 14, considerándose neutral el valor de 7. El agua que contiene más iones de hidrógeno es ácida (valores menores a 7), mientras que el agua que tiene más iones hidroxilo es básica (valores mayores a 7). La escala de pH es una escala logarítmica de base 10, lo que significa que cada número sucesivo de pH es 10 veces mayor que el anterior. Un intervalo de pH de 6,0 a 9,0 parece brindar protección a la vida de los peces de agua dulce y a los invertebrados que habitan en el fondo. El impacto medio ambiental más significativo del pH comprende efectos sinérgicos (Chapman y Kimstach, 1992). La sinergia comprende la combinación de dos o más sustancias que producen efectos mayores a su simple adición. Este proceso es importante en aguas superficiales. El escurrimiento de áreas agrícolas, residenciales e industriales puede contener hierro, aluminio, amoníaco, mercurio u otros componentes. El pH del agua puede determinar los efectos tóxicos, si los hubiere, de estas sustancias.

En el caso de sistemas acuáticos, Conteras (2002) señala que los valores de pH están dados por el intercambio de  $CO_2$  atmosférico y el agua, el cual genera ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ). La inestabilidad de este compuesto hace que forme sales, las cuales quedan disueltas en el agua

---

como carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) asociados a iones de carga positiva ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ).

El agua de origen continental tiende a valores neutros de 7,0. Las variaciones de pH hacia la alcalinidad (valores mayores de 8,5) se deben principalmente a la actividad de organismos que intervienen en el ciclo del  $\text{CO}_2$ , tales como moluscos y bivalvos que, a su muerte, liberan cantidades significativas de carbonatos. Otra causa es la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  a partir de suelos calcáreos y su resuspensión. En cambio los pH bajos (menores a 7) se localizan íntimamente relacionados con procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de ácidos.

La introducción de sustancias tóxicas provenientes de la industria generalmente hace bajar los valores de pH. Se han detectado valores bajos, cercanos a 5, frecuentemente asociados a desechos provenientes de actividades industriales.

### ***Turbidez y transparencia***

La turbidez (o turbiedad) es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Las algas, los sedimentos en suspensión (arcillas, limos, partículas de sílice) y la materia orgánica en el agua pueden aumentar la turbidez hasta niveles peligrosos para ciertos organismos (Chapman y Kimstach, 1992). La turbidez aumenta con la erosión de las orillas, con el crecimiento excesivo de las algas y con los cambios en el flujo del río. También crece por la actividad de algunos organismos bentívoros, que resuspenden los sedimentos (Lindig-Cisneros y Zambrano, en este volumen). Las partículas en suspensión dispersan la luz, lo que provoca una disminución de la actividad fotosintética en plantas y algas, que trae como consecuencia una baja en la concentración de oxígeno.

La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Para aguas potables, la turbidez no debe de pasar las 5 NTU. El instrumento usado para su medición es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada, a 90 grados, cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua (Chapman y Kimstach, 1992).

---

## ***Nitratos***

El nitrógeno es uno de los elementos más abundantes. Es también uno de los dos nutrientes más importantes (el otro es el fósforo) para el crecimiento de algas y plantas acuáticas. El nitrógeno inorgánico puede existir en estado libre como un gas  $[N_2]$ , o como nitrato  $[NO_3^-]$ , nitrito  $[NO_2^-]$ , o amonio  $[NH_4^+]$ .

El nitrógeno orgánico se encuentra en las proteínas y es continuamente reciclado por plantas y animales (Chapman y Kimstach, 1992; Bain, 1999). Muchas sustancias que llegan al agua contienen nitrógeno y actúan como nutrientes para la vida vegetal. Las reacciones de los nitratos  $[NO_3^-]$  en el agua dulce pueden causar el agotamiento del oxígeno. En tal caso, los organismos acuáticos que dependen del suministro de oxígeno en el curso de agua morirán.

Las principales rutas de ingreso de nitrógeno a las masas de agua son las aguas residuales de la industria y los municipios, tanques sépticos, descargas de corrales de engorda de ganado, residuos animales (incluyendo aves y peces).

Las bacterias presentes en el agua rápidamente convierten los nitritos  $[NO_2^-]$  en nitratos  $[NO_3^-]$ . Los nitratos en el agua potable son medidos ya sea en términos de la cantidad de nitrógeno presente como de oxígeno. El estándar máximo aceptado para el nitrato en agua potable es de 10 mg/L nitrato-N, o 50 mg/L nitrato- $NO_3$ , cuando el oxígeno es medido a la vez que el nitrógeno. A menos que se especifique de otra forma, normalmente los niveles de nitrato se refieren solamente a la cantidad de nitrógeno presente, y el estándar normal, por lo tanto, es de 10 mg/L. En general, los peces empiezan a morir cuando los niveles alcanzan los 90 mg/L de nitratos en el agua.

## ***Fosfatos***

El fósforo es uno de los elementos clave necesarios para el crecimiento de plantas y animales, y en forma elemental es muy tóxico. Los fosfatos  $[PO_4^{3-}]$  se forman a partir de este elemento. Su presencia puede provenir de la separación de pesticidas orgánicos que contienen fosfatos. Pueden existir en solución, como partículas, como fragmentos sueltos, o en los cuerpos de organismos acuáticos. El agua de lluvia puede provocar que distintas cantidades de fosfatos se filtren de los suelos agrícolas a los cursos de agua próximos. El fosfato estimulará el

---

crecimiento del plancton y de plantas acuáticas que proveen alimento para los peces. Este mayor crecimiento puede provocar un aumento en la población de peces y mejorar la calidad general del agua. Sin embargo, si un exceso de fosfato ingresa en el curso de agua, las algas y plantas acuáticas crecerán demasiado, llegando a saturar el curso de agua y a utilizar grandes cantidades de oxígeno.

A diferencia de lo que sucede en los lagos interiores, donde el fósforo es considerado como el elemento limitante por excelencia, los sistemas costeros son levemente eutróficos debido principalmente a la presencia de cantidades significativas de fósforo (Contreras, 2002). La relación entre la clorofila *a* y el fósforo ha sido demostrada (Contreras y Kerekes, 1993). Las eventuales entradas de fósforo deben ser vigiladas que la cantidad de nitrógeno o fósforo individual, es la relación entre ellos, conocida como relación N: P (Redfield *et al.*, 1963), la causante de las peculiaridades de los procesos de productividad primaria y/o eutroficación (Rhee, 1978).

---

## 2. Metodología

### 2.1. Sitios de Monitoreo:

El programa de seguimiento 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 la tabla 1.

**Tabla I. 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 entre el Aeropuerto Juan Santamaría y el centro Recreativo Ojo de Agua
	<b>R2</b>	Puente localizado contiguo a la Cervecería Costa Rica
<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 Radial
	<b>R8</b>	Puente Pekiss
	<b>R9</b>	Puente contiguo a la industria Kimberly Clark
	<b>R10</b>	Puente ubicado en Calle Los Tilianos
	<b>R11</b>	Puente Los Golfistas

---

## 2.2. Muestreo y análisis químico:

En cada uno de los sitios de muestreo, se colectaron muestras compuestas formadas por submuestras obtenidas durante un lapso de tiempo de 4 horas, para lograr un total de 3 litros de agua. Se realizaron seis campañas de muestreo con una frecuencia bimestral.

A las muestras colectadas se les analizaron un total de 28 parámetros fisicoquímicos: pH (25°C), grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, demanda química de oxígeno, nitrato, sulfato, cloruro, fósforo total, amonio, nitrito, sustancias susceptibles al azul de metileno, sodio, potasio, turbiedad, zinc, calcio, magnesio, cromo, níquel, manganeso, hierro, cobre, plomo, aluminio, temperatura y oxígeno disuelto. La metodología empleada para cada uno de ellos se muestra en la tabla 2. El control de calidad sobre las mediciones analíticas se aseguró mediante distintas herramientas tales como análisis de muestras enriquecidas y duplicados.

**Tabla 2. Metodología analítica empleada en la determinación de los parámetros de calidad de agua evaluados**

Variable	Unidades	Métodos Analíticos
Temperatura	°C	Termómetro de Mercurio (Method 2550 Standard Methods)
pH	Unidades de pH	Electrométrico (Method 4500-H <sup>+</sup> B Standard Methods)
Demanda Química de Oxígeno	mg O <sub>2</sub> /l	Espectrofotométrico (Method 5220 D Standard Methods)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O <sub>2</sub> /l	Respirométrico (Method 5210 D Standard Methods)
Sólidos Sedimentables	ml/l	Volumétrico (Method 2540 Standard Methods)
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	Gravimétrico (Method 2540 D Standard Methods)
Cloruro	mg/l	Cromatografía de Intercambio Iónico (Method 4110B Standard Methods)
Sulfato	mg/l	Cromatografía de Intercambio Iónico

---

		(Method 4110B Standard Methods)
Nitrato	mg/l	Cromatografía de Intercambio Iónico (Method 4110B Standard Methods)
Sodio	mg/l	Fotómetro de Llama (Method 3500-Na B Standard Methods)
Potasio	mg/l	Fotómetro de Llama (Method 3500-K B Standard Methods)
Oxígeno Disuelto	mg/l	Electrodo de membrana (Method 4500-O G Standard Methods)
Turbiedad	NTU	Nefelométrico (Method 2130 B Standard Methods)
Fósforo Total	mg/l	Espectrofotométrico (Method 4500-P C Standard Methods)
Amonio	µg/l	Espectrofotométrico (Method 4500-NH <sub>3</sub> Standard Methods)
Nitrito	µg/l	Espectrofotométrico (Method 4500 NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B Standard Methods)
Grasas y Aceites	mg/l	Gravimétrico (Method 5520 D Standard Methods)
SAAM	mg/l	Espectrofotométrico (Method 5540 C Standard Methods)
Metales pesados	µg/l	Espectrofotometría de Absorción Atómica (Method 3113A y 3113B Standard Methods)

---

### 3. Análisis de los resultados

Las variables físico-químicas (media y desviación estándar) medidas, en cada sitio de muestreo, durante el año 2010 se resumen por cuerpo de agua superficial en las tablas 3,4 y 5. La clasificación de calidad del agua superficial generalmente se basa en una comparación de los datos de concentración de los contaminantes medidos en el campo contra los valores límite establecidos en los instrumentos jurídicos. Las normas de calidad para los ríos y otros cuerpos de agua están definidos en base a los usos potenciales del agua. Las normas para la evaluación y clasificación de calidad del agua superficial en Costa Rica (Decreto 33903 MINAE-S) definen cinco clases de uso del agua. Sin embargo, hay métodos alternativos para la evaluación de la calidad de los patrones de las aguas superficiales, ya que en este decreto se establecen criterios diferentes dependiendo del tipo de variable fisicoquímica a ser analizada.

La evaluación global Fuzzy (FCA de acuerdo a sus siglas en inglés) se puede utilizar para mejorar la comprensión de los diversos procesos y fenómenos complejos relacionados con los estudios ambientales. El FCA evalúa la importancia de cada componente del 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 comparada con otras técnicas de evaluación similares (Guleda et al., 2004).

En el monitoreo realizado en los cuerpos de agua superficial del cantón de Belén, la FCA se utilizó para estimar las variables relevantes para la calidad del agua basadas en la transformación difusa y el principio del grado máximo de afiliación. Para aplicar este método se utilizaron los cinco niveles de calidad del agua incluidos en el Decreto 33903-MINAE-S: Clase 1 (sin contaminación), Clase 2 (contaminación incipiente), Clase 3 (contaminación moderada), Clase 4 (contaminación severa), y la clase 5 (contaminación muy severa). Cada uno de los 11 sitios de monitoreo se asociaron con una clase de la contaminación sobre la base de los grados máximos de afiliación de evaluación difusa (Tabla 6). De acuerdo con el 33903-MINAE-S, las normas y la información actual sobre la calidad ambiental del área de estudio, la calidad del agua de la Clase 1 se considera limpia o de la condición de baja

---



Tabla 3. Resultados de monitoreo de calidad de agua superficial en los sitios ubicados en el Río Segundo, Año 2010.

Sitios	pH (25°C)	DBO (mg O <sub>2</sub> /l)	DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	Sól Sed (ml/l)	SST (mg/l)	Turbiedad (NTU)	Cloruro (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Grasas (mg/l)	SAAM (mg/l)
<b>RIO SEGUNDO</b>											
R-01	6,82 (0,55)	17 (10)	44 (18)	0,16 (0,13)	18,2 (7,9)	12,2 (3,7)	17 (20)	12,2 (8,7)	5,2 (3,4)	27 (30)	0,15 (0,05)
R-02	6,88 (0,43)	12 (4)	66 (57)	0,10 (0,01)	4,1 (2,7)	4,35 (1,32)	6,40 (2,41)	16 (10)	8,20 (1,7)	12 (7,2)	0,11 (0,02)
	<b>Amonio (µg/l)</b>	<b>Nitrito (µg/l)</b>	<b>Sodio (mg/l)</b>	<b>Potasio (mg/l)</b>	<b>Calcio (mg/l)</b>	<b>Magnesio (mg/l)</b>	<b>Zinc (mg/l)</b>	<b>Cromo (µg/l)</b>	<b>Níquel (µg/l)</b>	<b>Cobre (µg/l)</b>	<b>Oxígeno Disuelto (mg/l)</b>
R-01	279 (357)	258 (341)	14,4 (8,6)	3,0 (1,8)	4,4 (2,8)	5,5 (1,6)	0,09 (0,07)	14 (12)	6,2 (3,7)	7,4 (5,8)	3,32 (1,06)
R-02	193 (166)	61 (24)	8,60 (4,51)	2,42 (1,31)	4,60 (1,82)	8,20 (8,3)	0,09 (0,07)	8,2 (4,9)	6,20 (2,8)	11,5 (9,5)	5,54 (2,8)

El dato indicado entre paréntesis en las tablas corresponde a la desviación estándar registrada para ese parámetro.

Tabla 4. Resultados de monitoreo de calidad de agua superficial en el Río Quebrada Seca, Año 2010

Sitios	pH (25°C)	DBO (mg O <sub>2</sub> /l)	DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	Sól Sed (ml/l)	SST (mg/l)	Turbiedad (NTU)	Cloruro (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Grasas (mg/l)	SAAM (mg/l)
R-03	6,88 (0,16)	32 (26)	83 (46)	1,02 (1,68)	18,7 (21,9)	15,3 (5,7)	16,4 (8,0)	22 (7,1)	9,6 (2,4)	55 (15)	1,18 (0,46)
R-04	7,26 (0,31)	36 (37)	74 (31)	0,62 (1,05)	17,8 (9,2)	14,8 (3,7)	26,2 (18,9)	24 (14)	6,9 (4,1)	47 (24)	1,14 (0,47)
R-05	7,24 (0,23)	20 (11)	91 (64)	0,26 (0,23)	177 (312)	166 (278)	14,6 (7,2)	14 (5,8)	15,5 (4,5)	34 (28)	0,51 (0,37)
R-06	7,29 (0,20)	17 (11)	52 (24)	0,26 (0,26)	29,5 (43,1)	11,8 (9,8)	16,4 (9,9)	14,7 (6,3)	15,0 (5,4)	46 (36)	0,56 (0,17)
	<b>Amonio (µg/l)</b>	<b>Nitrato (µg/l)</b>	<b>Sodio (mg/l)</b>	<b>Potasio (mg/l)</b>	<b>Calcio (mg/l)</b>	<b>Magnesio (mg/l)</b>	<b>Zinc (mg/l)</b>	<b>Cromo (µg/l)</b>	<b>Níquel (µg/l)</b>	<b>Cobre (µg/l)</b>	<b>Oxígeno Disuelto (mg/l)</b>
R-03	4840 (1765)	1304 (428)	37 (26)	7,1 (4,4)	5,60 (3,4)	7,6 (5,2)	0,09 (0,07)	13 (11)	7,4 (4,0)	19 (14)	3,78 (3,32)
R-04	4318 (3093)	1772 (1229)	35 (29)	6,9 (4,8)	8,2 (3,1)	11,9 (12,5)	0,08 (0,08)	18 (15)	8 (6)	15 (6)	3,95 (3,45)
R-05	1194 (1073)	1640 (1725)	21 (11)	8,2 (5,4)	8,8 (1,8)	7,1 (2,7)	0,16 (0,03)	13 (14)	5,6 (3,6)	14 (4,9)	4,55 (3,92)
R-06	961 (744)	1751 (1600)	22 (12)	4,7 (2,7)	6,0 (2,2)	6,8 (2,3)	0,09 (0,07)	14 (15)	7,2 (4,3)	10,2 (7,1)	4,61 (3,97)

El dato indicado entre paréntesis en las tablas corresponde a la desviación estándar registrada para ese parámetro.

Tabla 5. Resultados de monitoreo de calidad de agua superficial en el Río Bermúdez, Año 2010

Sitios	pH (25°C)	DBO (mg O <sub>2</sub> /l)	DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	Sól Sed (ml/l)	SST (mg/l)	Turbiedad (NTU)	Cloruro (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Grasas (mg/l)	SAAM (mg/l)
R-07	7,11 (0,25)	42 (20)	128 (54)	1,6 (1,9)	35 (21)	18,9 (6,2)	19,2 (2,2)	21,6 (8,0)	2,1 (1,9)	66 (20)	1,77 (0,59)
R-08	7,00 (0,30)	80 (45)	197 (58)	3,1 (2,7)	61 (23)	26,6 (12,5)	21,2 (10,5)	21,6 (9,0)	2,2 (2,6)	95 (42)	2,33 (0,86)
R-09	6,72 (0,09)	155 (37)	211 (80)	3,9 (4,4)	66 (21)	37,9 (2,9)	20,3 (17,7)	22,9 (9,4)	0,55 (0,21)	80 (33)	2,65 (0,92)
R-10	6,77 (0,27)	139 (86)	253 (133)	4,7 (5,4)	68 (31)	31,1 (12,2)	20 (11,6)	16,3 (8,3)	1,67 (1,04)	188 (64)	2,87 (0,78)
R-11	6,60 (0,37)	180 (58)	366 (110)	4,1 (2,4)	89 (21)	35,1 (10,6)	26 (13)	18,7 (5,9)	1,02 (0,60)	222 (57)	4,00 (1,15)
	Amonio (µg/l)	Nitrato (µg/l)	Sodio (mg/l)	Potasio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Magnesio (mg/l)	Zinc (mg/l)	Cromo (µg/l)	Níquel (µg/l)	Cobre (µg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)
R-07	2903 (3810)	306 (279)	28 (16)	7,1 (4,3)	8 (3,1)	6,2 (1,4)	0,09 (0,07)	17 (10)	8,2 (4,9)	14 (12)	2,55 (2,87)
R-08	1693 (2283)	650 (927)	29 (18)	7,1 (4,2)	7,8 (2,9)	9,4 (2,9)	0,08 (0,07)	14 (9)	7 (4)	20 (9,5)	4,21 (2,25)
R-09	1869 (2260)	115 (127)	17 (3)	9,6 (10,4)	6 (4,2)	7,0 (2,8)	0,05 (0,01)	34 (26)	10,2 (17,8)	8,6 (4,1)	1,87 (3,15)
R-10	2770 (1983)	612 (758)	24 (17)	9,3 (6,5)	6,8 (1,9)	6,6 (2,4)	0,09 (0,08)	17 (16)	15 (18)	12 (5)	1,74 (2,61)
R-11	5400 (4292)	349 (322)	27 (19)	9,6 (6,6)	6,6 (3,0)	9,6 (2,6)	0,13 (0,01)	19 (18)	18 (4,01)	15 (11)	3,06 (2,67)

El dato indicado entre paréntesis en las tablas corresponde a la desviación estándar registrada para ese parámetro

contaminación (LP), la calidad del agua de la Clase 2 y 3 corresponde a la contaminación moderada (MP), y la calidad del agua de las clases 4 y 5 se considera alta contaminación (HP). Como resultado de la FCA, de los 11 sitios de monitoreo tres fueron clasificados como HP; cuatro sitios como MP, y cuatro sitios como LP.

Al comparar los resultados obtenidos para las tres grandes categorías (LP, MP y HP) se encontraron diferencias significativas, entre las tres categorías, para cuatro variables químicas: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ).

**Tabla 6. Resultados de la evaluación global Fuzzy y la clasificación de los 11 sitios de muestreo ubicados en los cuerpos de agua superficial del cantón de Belén, 2010.**

Sitio de muestreo	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
<b>R-01</b>	0.775	0.192	0.033	0	0
<b>R-02</b>	0.654	0.242	0.104	0	0
<b>R-03</b>	0.478	0.289	0.233	0	0
<b>R-04</b>	0.353	0.344	0.286	0,017	0
<b>R-05</b>	0.230	0.312	0.376	0.072	0
<b>R-06</b>	0.145	0.237	0.451	0.167	0
<b>R-07</b>	0	0.122	0.377	0.301	0,188
<b>R-08</b>	0	0.289	0.556	0.103	0.052
<b>R-09</b>	0	0.063	0.166	0.375	0.394
<b>R-10</b>	0	0	0.101	0.387	0.512
<b>R-11</b>	0	0.089	0.207	0.296	0.408

Para identificar las principales fuentes de contaminación que afectan la calidad química del agua superficial, se realizó un análisis de factor de los datos normalizados establecidos en las tres zonas de contaminación. El análisis de factor es un método estadístico multivariado que

---

se puede utilizar para describir la varianza entre las variables observadas en términos de un menor número de variables no observadas llamadas factores (Tabachnick y Fidell, 2001). El análisis de factor ha sido 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 fuente probables se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7. Resultados del análisis de factores aplicados a los datos de monitoreo de calidad del agua superficial en el cantón de Belén 2010.**

Parámetro	Contaminación Baja		Contaminación Moderada		Contaminación Alta	
	VF1	VF2	VF1	VF2	VF1	VF2
pH	-0.074	0.234	0.055	0.302	0.090	-0.122
Turbiedad	0.743	0.108	0.211	0.795	0.275	0.285
Sól. Sed	0.011	0.001	-0.189	0.887	0.006	0.044
Sól. Sus. T	0.173	0.824	0.112	0.934	0.844	-0.284
DQO	0.093	0.899	0.344	0.807	0.955	-0.090
DBO	0.155	0.916	0.567	0.710	0.913	0.430
Cl <sup>-</sup>	0.909	0.242	0.924	0.105	0.122	0.948
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.734	0.090	0.855	0.293	0.044	0.831
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.201	0.811	0.842	-0.090	-0.102	0.333
Na <sup>+</sup>	0.934	0.102	0.883	0.035	0.307	0.974
K <sup>+</sup>	0.900	0.055	0.611	0.455	0.234	0.988
P Total	0.563	0.117	0.297	0.507	0.955	0.089
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.889	0.089	0.523	0.584	0.678	0.512
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.601	0.611	0.399	0.707	0.894	0.090
OD	0.090	0.309	0.092	0.194	-0.504	0.034
% Varianza Explicada	60.3%	32.6%	52.2%	38.4%	55.7%	21.1%

En la zona de LP, se obtuvieron dos varifactores que explican el 82,9% de la varianza total. El primer varifactor (VF1) representa el 60,3% de la varianza total, y presenta una fuerte correlación entre  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , los cuales están relacionados con factores naturales, tales como la litología y el tipo de suelo predominante. El segundo varifactor (VF2) explica un 32,6% de la varianza total e incluye la demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Este factor representa múltiples fuentes de contaminación y puede ser considerado fundamentalmente como la escorrentía urbana y las aguas residuales industriales.

En la zona de MP, el VF1 explica el 52,2% de la varianza total y considera las siguientes especies químicas: sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ . Este factor representa la contaminación generada por fuentes no puntuales asociadas con la producción agrícola y la influencia de los distintos tipos de suelos. El VF2 explicó 38,4% de la varianza total e incluye DQO, DBO, Sólidos Sedimentables (SS), SST, Fósforo Total (PT),  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_2^-$ . Las correlaciones de 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 explica el 55,7% de la varianza total y correlaciona la DQO, DBO, SST, PT,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_2^-$ . Este factor podría ser interpretado como la influencia de la contaminación generada por fuentes puntuales, como por ejemplo descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales y efluentes industriales.

Las contribuciones de las distintas fuentes a cada una de las variables de calidad del agua, en los distintos sitios durante el tiempo de muestreo, se calcularon utilizando UNMIX. Lo anterior debido a que el análisis de factor puede ofrecer valiosa información cualitativa sobre las fuentes de contaminación potencial, pero no puede proporcionar datos adecuados sobre la contribución cuantitativa relativa a cada fuente de contaminación a las variables de calidad de agua.

Como se puede observar en la tabla 8, la DBO, DQO y SST fueron influenciados principalmente por la contaminación de fuentes no puntuales mientras que el  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  fueron influenciados principalmente por factores naturales.

---

**Tabla 8. Porcentaje de contribución de las distintas fuentes a cada variable fisicoquímica, en las tres categorías de sitios de monitoreo de los cuerpos de agua en Belén 2010**

Variab	Fuente	Fuente	Fuente	No	Relación	Fuente	Fuente	Fuente	No	Relación	Fuente	Fuente	Fuente	No	Relación
	1	2	3	expl.	P/O	1	2	3	expl	P/O	1	2	3	expl	P/O
	LP					MP					HP				
<b>pH</b>	21.4	13.8	-	63	1.105	18.2	24.5	-	57.3	1.090	18.7	32.5	-	48.8	1.104
<b>DBO</b>	19.5	80.5	-		1.088	10.4	89.6	-		1.121	9.5	90.4	-		0.985
<b>DQO</b>	22.1	77.9	-		0.982	18.1	81.9	-		0.985	5.3	94.7	-		1.116
<b>SST</b>	13.5	65.4	21.1	-	0.977	13.5	86.5	-		0.994	5.7	94.3	-		0.995
<b>Turb</b>	60.9	35.5	3.2		0.942	22.4	77.6	-		1.099	10.5	89.5	-		1.102
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	84.4	9.9	-	5.1	0.988	70.4	29.6	-		1.102	72.3	27.7	-		0.994
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	30.2	52.8	17		1.077	20.5	79.5	-		1.196	17.5	82.5	-		1.129
<b>Cl<sup>-</sup></b>	90.1	10.9	-		1.006	84.8	15.2	-		1.074	81.7	18.3	-		1.101
<b>Na<sup>+</sup></b>	94.7	5.3	-		0.988	90.9	9.1	-		1.101	85.1	14.9	-		0.988
<b>K<sup>+</sup></b>	92.5	7.5	-		0.956	85.2	14.8	-		0.967	88.5	11.5	-		0.984
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	91.4	5.6	-	3.0	0.993	87.5	12.5	-		0.993	86.3	13.5	-		0.966
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	65.4	22.0	12.6		0.974	69.1	30.8	-		1.015	83.1	16.9	-		0.983
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	60.0	15.6	24.4		1.070	31.2	68.8	-		1.178	11.4	88.6	-		1.099
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	65.3	22.8	12.1		0.926	36.2	63.8	-		0.985	20.3	79.7	-		0.992
Fuente 1: Factores naturales tales como litología y tipo de suelos. Fuente 2: Descargas de aguas residuales industriales y domésticas. Fuente 3: Fuentes no puntuales asociadas con la producción agrícola.															

Los parámetros en la zona de MP fueron influenciados principalmente por la contaminación de fuentes múltiples de la escorrentía urbana y las aguas residuales industriales (89,6% para la DBO y 81,9% para la DQO). Los contaminantes en esta zona provienen típicamente de fuentes mixtas. En la zona de HP, las contribuciones pertinentes se deben principalmente a los contaminantes generados en las actividades industriales y urbanas (90,4%, 94,7%, 94,3% y 88,6% de la DBO, DQO, SST, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, respectivamente).

Si se analiza la evolución de la contribución de cada una de las fuentes entre 2008-2010 (Tabla 9) se puede apreciar que para las microcuencas del Río Quebrada Seca, Bermúdez y Segundo se mantiene una tasa de incremento del 9,2% anual del aporte de las fuentes provenientes del vertido de aguas residuales tanto industriales como domésticas. Para este caso, los parámetros de calidad de agua más afectados corresponden a DQO, DBO, SST y amonio los cuales presentan un incremento que varía del 11 a 16% anual.

**Tabla 9. Evolución de los porcentajes de contribución de cada fuente a la calidad de las aguas en las diferentes microcuencas del cantón de Belén 2008-2010.**

Microcuenca	2008		2009		2010	
	Fuente 1	Fuente 2	Fuente 1	Fuente 2	Fuente 1	Fuente 2
Bermúdez	22.8	71.2	20.7	74.3	19.0	76.6
Segundo	30.3	56.9	28.5	59.2	26.1	62.7
Quebrada Seca	39.7	60.3	34.4	63.1	31.2	66.9



## 4. Conclusiones

Del presente informe se desprenden las siguientes conclusiones:

1. De los sitios monitoreados en los cuerpos de agua del cantón de Belén: tres fueron clasificados como alta contaminación; cuatro sitios como contaminación media, y cuatro sitios con baja contaminación durante las evaluaciones de seguimiento correspondientes al año 2010. Lo anterior implica, según el decreto de clasificación de cuerpos de agua de Costa Rica, que los usos potenciales del recurso hídrico están limitados en estos cuerpos de agua, imposibilitando el aprovechamiento de los mismos y por ende ejerciendo más presión sobre el uso de aguas subterráneas.
2. Los tres sitios de mayor contaminación se encuentran ubicados en la microcuenca del río Bermúdez, en donde se evidencia el aporte de la zona urbana del cantón de Belén, ya que parámetros como DQO, SST y amonio entre otros llegan a incrementarse hasta en un 35% luego de pasar por esta porción del cantón.
3. Cuatro variables químicas: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) definen las principales diferencias significativas entre los sitios de baja, media y alta contaminación en los cuerpos de agua del cantón de Belén.
4. Para las microcuencas del Río Quebrada Seca, Bermúdez y Segundo se mantiene una tasa de incremento del 9,2% anual del aporte de las fuentes provenientes del vertido de aguas residuales tanto industriales como domésticas. Para este caso, los parámetros de calidad de agua más afectados corresponden a DQO, DBO, SST y amonio los cuales presentan un incremento que varía del 11 a 16% anual.
5. Mientras que en los sitios de contaminación moderada, los parámetros fisicoquímicos fueron influenciados principalmente por la contaminación de fuentes múltiples de la escorrentía urbana y las aguas residuales industriales, en la zona de alta contaminación, las contribuciones

pertinentes se deben principalmente a los contaminantes generados en las actividades industriales y urbanas.

6. Es fundamental, desarrollar planes de intervención para cada una de las microcuencas comprendidas en el cantón de Belén, que además de contener acciones a nivel local y regional (mediante coordinación con otros municipios) implemente un sistema de indicadores que puedan ser monitoreados con el fin de evaluar la efectividad de las medidas a ser desarrolladas.
7. Es importante considerar la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua, de forma tal que se deben realizar inventarios de las descargas de aguas residuales y fuentes dispersas a cada río, con el fin de desarrollar modelos de regulación que busquen la restauración ecológica de estos ecosistemas acuáticos.

## 5. Rerefencias

American Public Health Association. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Nueva York.

Bhaduri. B.. Minner. M.. Tatalovich. S.. Harbor. J.. 2001. Long-term hydrologic impact of urbanization: A table of two models. *Journal of Water Resources Planning and Management* 127 (1). 13–19.

Campbell. D.. Bergman. M.. Brody. R.. Keller. A.. Livingston-Way. P.. Morris. F.. Watkins. B.. 1993. SWIM Plan for the Lower St. Johns River Basin. St. River Water Management District. Palatka. Florida.

Chapman, D. 1992. *Water quality assessments*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme, E & FN Spon, Londres.

Chapman, D. y V. Kimtsach. 1992. Selection of water quality variables. En: D. Chapman (ed.). *Water quality assessments*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme, E & FN Spon, Londres. Pp. 59-126.

Contreras E. F., 1994. La clorofila *a*, como base para índice trófico en lagunas costeras. *Anales del Instituto Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 21(1-2): 55—  
—. 2002. Los humedales costeros mexicanos. Capítulo 4. En: F. J. Abarca y M. Herzig (eds.). *Manual para manejo y la conservación de los humedales de México*. Tercera Edición. Publicación especial bajo colaboración de la Dirección General de Vida Silvestre-SEMARNAT.

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.

Kowalkowski. T.. Zbytniewski. R.. Szpejna. J.. Buszewski. B.. 2006. Application of chemometrics in river water classification. *Water Research* 40 (4). 744–752.

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.

Ren. W.. Zhong. Y.. Meligrana. L.. Anderson. B.. Watt. W.E.. Chen. J.. Leung. H.L.. 2003. Urbanization. land use. and water quality in Shanghai 1947-1996. *Environment International* 29 (5). 649–659.

Spellerberg, I. F. 1991. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, New York. 374 p.

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

Xian. G.. Crane. M.. Junshan. S.. 2007. An analysis of urban development and its environmental impact on the Tampa Bay watershed. *Journal of Environmental Management* 85 (4). 965–976.

Ward, J. V. 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 8:2-8.