



---

# Informe de calidad de Aguas Superficiales

---

## Belén

---

Año 2014

---



Municipalidad de  
*Belén*



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 Observatorio Ambiental del cantón de Belén, bajo la responsabilidad técnica de los siguientes funcionarios:

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: [asistenteambiental@belen.go.cr](mailto:asistenteambiental@belen.go.cr), [jorge.herrera.murillo@una.cr](mailto:jorge.herrera.murillo@una.cr).

## Índice de contenidos

Introducción	4
Aguas Superficiales	6
Metodología	16
Resultados Año 2014	20
Conclusiones	26
Referencias	28

## INTRODUCCION

El acelerado crecimiento económico, demográfico e industrial sucedido en las últimas décadas a nivel mundial, ha desencadenado una serie de alteraciones al ambiente. El medio acuático ha sido uno de los más afectados debido al vertido de desechos líquidos y sólidos, que alteran las características propias del agua superando, en la mayoría de los casos, la capacidad de autodepuración de los sistemas.

Es por ello que tanto las industrias como las zonas residenciales que se encuentran ubicadas en el margen de los ríos tienden a descargar sustancias orgánicas que alteran características físico químicas importantes como la concentración de oxígeno disuelto, aumentando los niveles de compuestos químicos inorgánicos y de sólidos en suspensión, lo que reduce la transmisión de la luz y afecta directamente la actividad fotosintética acuática, generándose así un problema ecológico de consideración.

En Costa Rica, el 96% de las aguas residuales no recibe tratamiento alguno antes de ser vertidas a los ríos, por lo que los problemas de contaminación en la mayoría de las subcuencas se deben a las descargas de desechos líquidos y sólidos provenientes, principalmente, de las descargas domésticas e industriales (Calvo y Mora, 2007). Para el año 2004, se estimaba que de las 3 500 industrias que están ubicadas en las áreas de influencia del río Virilla, solo el 5% poseía una planta de tratamiento (Bustamente et al., 2008).

En el año 1997 entró en vigencia, el Decreto de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, el cual establece las concentraciones máximas de contaminantes que se pueden descargar a los ríos y sistemas de alcantarillado sanitario producto de las distintas actividades humanas. Este instrumento ha exigido a los distintos entes generadores la realización de reportes operacionales destinados a verificar el cumplimiento del mismo. Por otro parte, el país cuenta con un Reglamento de Clasificación de Cuerpos de Agua, el cual permite entre varias cosas, determinar a través de un índice, el estado de la calidad de un cuerpo de agua, establecer si este recurso es apto para un uso determinado en el caso de concesiones a los empresarios, y tomar decisiones en cuanto a la ubicación de nuevas industrias que viertan en un cuerpo de agua. Además busca, a corto o mediano plazo, generar los indicadores requeridos para la formulación de planes orientados a descontaminar los cursos de agua superficiales y sus costas, tratando los efluentes domésticos previamente a su disposición final.

No obstante el modelo regulatorio de aguas residuales en Costa Rica, vigila las emisiones líquidas por concentración y no por tasa, dejando así abierta la masa de contaminante que puede ser vertida en un cuerpo de agua, obviando completamente su capacidad de autodepuración. Esta situación no permite el establecimiento de condiciones mínimas de preservación de ecosistemas acuáticos convirtiendo los ríos en verdaderos drenajes de aguas residuales a cielo abierto.

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.

## AGUAS SUPERFICIALES

El agua superficial es la fracción del agua sobre la superficie de la tierra que se encuentra en quebradas, ríos, lagos, embalses y otras escorrentías. Es producida por la precipitación y por aportes de zonas freáticas expuestas a la atmósfera y sujetas a fluir sobre la superficie. (Solano, 2011)

La calidad del agua superficial es el resultado de un conjunto de factores, ya que tanto el régimen hidrológico de la cuenca hidrográfica como las características hidráulicas del sistema fluvial influyen en su composición. Para definir la calidad del agua, resulta imprescindible anteponer un uso predominante. De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano para uso agrícola, industrial, recreacional, entre otros (Villalobos, 2008).

Un curso se considera contaminado cuando la composición o estado de sus aguas es directa o indirectamente modificado por las actividades del ser humano, en medida tal que disminuyen las posibilidades de uso para todos o algunos de aquellos fines a los que podría servir en estado natural (Stachetti y Moreira 2007). Sin embargo, la contaminación antropogénica no es el único factor incidente sobre la condición del agua superficial, ya que existen causas naturales que traen como consecuencias la delimitación de sus usos, esto, gracias a aspectos como la geología, geomorfología, microbiología y la flora que tienen incidencia sobre la calidad del recurso hídrico (Villalobos, 2008).

El agua superficial es una fuente de abastecimiento que la población aprovecha en forma directa sobre la tierra, sin embargo, paralelamente, es también un recurso que está expuesto a una mayor contaminación por la descarga de aguas residuales al cuerpo de agua, las cuales consisten en descargas domiciliarias e industriales, además de los vertidos de diversas fuentes no permitidas. (Davis y Masterns, 2005)

El ingreso de contaminantes a los cuerpos de agua se puede dar de dos maneras (Davis y Masterns, 2005):

- **Fuentes puntuales (localizadas o puntiformes):** en general se recolectan mediante una red de tubos o canales y se conducen hasta un solo punto de descarga en el agua receptora.

- **Fuentes no puntuales:** el agua contaminada pasa sobre la superficie del terreno, o a lo largo de canales de drenado natural y llega hasta el cuerpo de agua más cercano por medio de la escorrentía o infiltraciones.

Según Stachetti y Moreira (2007) la "Calidad del agua" puede definirse en base tres aspectos: caracterización física (sabores, olores, colores, temperatura y la turbidez), parámetros químicos (pH, oxígeno disuelto, amonio, nitritos y nitratos y fósforo), y parámetros biológicos (coliformes fecales, Demanda Biológica de Oxígeno).

### **Parámetros Físicos**

En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con características físicas como lo son sabores, olores, colores, temperatura y la turbidez del agua que se brinda. Los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición, y el color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias (Orellana, 2005).

La turbidez mide el grado en que la luz es absorbida o reflejada por el material suspendido, por lo que la podemos considerar como una medida del efecto de los sólidos suspendidos en el cuerpo de agua. El efecto causado por este parámetro en el agua es que interfiere con la penetración de la luz, por lo que afecta el proceso de la fotosíntesis (Campos, 2003).

La temperatura se define como una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Ésta no depende del número de partículas en un objeto y, por lo tanto, de su tamaño. Esta posee gran importancia por el hecho de que los organismos requieren determinadas condiciones para sobrevivir. Este indicador influye en el comportamiento de otros parámetros de la calidad de agua, como lo son: el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas. (Torres, 2009).

### **Parámetros Químicos**

Los parámetros químicos están relacionados con la capacidad de solvencia del agua. Entre los más importantes se destacan: el pH, oxígeno disuelto, amonio, nitritos y nitratos y fósforo (Campos, 2003).

El pH del agua comprende un parámetro fundamental pues define, en parte, la capacidad de autodepuración de una corriente y, por ende, su contenido de materia orgánica, además de la presencia de otros contaminantes, como metales pesados. También, es una propiedad de

carácter química de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática ya que tiene influencia sobre ciertos procesos químicos y biológicos (Torres, 2009). Según Davis y Cornwell (1998) citado por Torres (2009), el pH es un indicador de la acidez o basicidad de una sustancia y se define como la concentración del ión hidrógeno en el agua, el cual en agua puede variar entre 0 y 14.

Otro parámetro que debe ser controlado es la presencia de contenido de nitratos en el agua, ya que con frecuencia, la contaminación por nitratos procede, principalmente, de fuentes no puntuales o difusas y está asociado a riesgos en la salud humana cuando es reducido a nitrito ( $\text{NO}_3$ ). El nitrato es; un compuesto inorgánico combinado por un átomo de nitrógeno y tres átomos de oxígeno (Torres, 2009).

El Oxígeno Disuelto (OD) se refiere a la cantidad de oxígeno presente en el agua y que es esencial para los ríos y lagos saludables. El OD puede ser un indicador de cuán contaminada y de cuánto sustento puede dar está a la vida animal y vegetal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica una mejor calidad asociada. Si los niveles son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir (Torres, 2009). Según la UNESCO (1996) citado la Universidad del Valle, para garantizar la diversidad biológica en los cuerpos de agua se debe tener como mínimo 5 mg/l de OD.

El fósforo es un nutriente requerido por todos los organismos para sus procesos básicos de vida. No obstante, es utilizado extensivamente en fertilizantes y en otros químicos, por lo que puede ser hallado con concentraciones altas en áreas de actividad humana. Consecuentemente, su exceso en el agua puede provocar eutrofización (Torres, 2009).

### **Parámetros Biológicos**

Todos los seres vivos del agua son, en alguna medida, indicadores de la calidad del medio, ya sea por su presencia o ausencia. Muchos de los patógenos presentes en los cuerpos de agua provienen de la contaminación fecal. De allí surgen los indicadores del grupo de coliformes fecales, especialmente *Escherichia coli* (Campos, 2003).

Otro parámetro biológico importante de mencionar es la Demanda Biológica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), la cual representa una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica. Esta prueba consiste en una prueba usada en la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y residuales. Su aplicación permite calcular los efectos de las



descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores (Torres, 2009).

### ***Procesos químicos y físicos en el agua***

#### **Ciclo del Nitrógeno**

El contaminante inorgánico más común identificado en agua subterránea es el Nitrógeno disuelto en la forma de nitrato, debido a que es la forma más estable en la que se puede encontrar. Su presencia se debe en gran medida a rellenos sanitarios, desechos de ganadería y plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentra circundantes a los cuerpos de agua y en concentraciones no deseables es potencialmente peligrosa en los sistemas acuíferos (Pacheco y otros, 2002).

Es por esta razón, que es de suma importancia el conocimiento del ciclo del nitrógeno y la formación de nitratos, la cual está asociada a efectos tóxicos como la metahemoglobinemia. Estos compuestos de nitrógeno pueden moverse a través del suelo como gases y en forma solutos en soluciones acuosas. El nitrógeno en la materia orgánica insoluble o en forma mineral puede ser transportado a través del perfil del suelo por organismos (a través de excreción o transporte mecánico) o por suspensión de partículas en suelo y agua (Pacheco y otros, 2002).

#### **Proceso de aireación y reaireación**

La aireación es un método para purificar el agua, mediante un proceso por el cual esta se lleva a un contacto íntimo con el aire. Este logra aumentar el contenido del agua, reducir el contenido de dióxido de carbono y la remoción de metano, sulfuros de hidrogeno y otros compuestos volátiles, responsables de conferir al agua olor y sabor. Durante el proceso de aireación, el oxígeno convierte los compuestos ferrosos y manganosos disueltos, en hidróxidos férricos y mangánicos insolubles, los cuales pueden ser removidos por filtración o sedimentación (Valera y otros, 2012).

Por otra parte, el proceso de reaireación atmosférica constituye uno de los principales fenómenos relacionados con el balance de Oxígeno ( $O_2$ ) en un cuerpo de agua. La reaireación en los ríos es el proceso físico de absorción del  $O_2$  de la atmósfera, en donde este es

consumido en la biodegradación de la materia orgánica (proveniente de las descargas de aguas residuales) (Universidad de Valle. S.f.).

Las tasas de reaireación, se emplean principalmente para cuantificar los procesos de reaireación en los modelos matemáticos de calidad del agua. Estos modelos, que simulan el intercambio de Oxígeno entre la superficie del agua y la atmósfera, permiten establecer los niveles de remoción requeridos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, la ubicación y la máxima carga contaminante posible a verter en el recorrido de los ríos, sean o no provenientes de plantas de tratamiento, con el fin de garantizar una concentración mínima de oxígeno disuelto (Universidad de Valle. S.f.).

### **Bases Teóricas: modelos**

Los modelos de calidad de agua son relaciones matemáticas, que posibilitan la comprensión y cuantificación de las relaciones causa-efecto de los procesos físicos, químicos y biológicos de los compuestos descargados en los cuerpos de agua receptores, tales como ríos, lagos y estuarios. Más importante aún, estos modelos pueden ser utilizados en la evaluación de las distintas alternativas para mejorar la calidad del agua (Torres, 2009).

### ***Modelos para la evaluación de la calidad de agua***

En el mundo ha surgido la necesidad de evaluar la calidad del agua, por lo que se han desarrollado una serie de índices para el conocimiento de su estado y así aplicar medidas para su tratamiento. Entre los más importantes se destaca: Los Índices de Calidad de Agua (ICA), los cuales expresan la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros representados por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color (Torres y otros, 2008). Otro modelo utilizado es el Biological Monitoring Working Party (BMWP), el cual establece un método simple de puntaje para todos los grupos de macroinvertebrados identificados hasta nivel de familia, al cual se le asigna un puntaje del 1 al 10 de acuerdo con su tolerancia a la contaminación orgánica (Roldán, s.f.). Este ha sido adaptado a las condiciones de fauna presente en los países que utilizan la metodología.

En Costa Rica, los criterios y metodologías que se utilizan para evaluar la calidad de los cuerpos de agua superficiales están establecidos en el “Reglamento para la evaluación y

clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales” (MINAE, 2007) (Calvo, 2012). En este reglamento se establecen dos metodologías: el Índice de Clasificación Holandés de Valoración y el Índice Biológico (BMWP-CR) (La Gaceta. 2007).

El Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los Cuerpos de Agua Superficiales, aprobado como índice de referencia en la normativa costarricense, permite sintetizar en palabras y mediante un código de colores, la información de tres parámetros de importancia en la valoración de la contaminación del agua, los cuales son:

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** es una medida aproximada de la concentración de materia orgánica biodegradable presente en un cuerpo de agua. Es definida por la concentración de oxígeno requerida por microorganismos aerobios para oxidar la materia orgánica en una forma inorgánica más estable.
- **Oxígeno Disuelto (O.D):** expresado como porcentaje de saturación de oxígeno. Este se obtiene de la relación entre el O.D real obtenido el sitio de medición y el O.D teórico correspondiente a la condición de agua limpia a la presión atmosférica y la temperatura en el mismo sitio de medición. (Orozco. et al, 2008).
- **Nitrógeno Amoniacal:** se encuentra naturalmente en los cuerpos de agua por procesos de degradación de nitrógeno orgánico y por la materia orgánica presente en el agua y en el suelo, por la reducción de nitrógeno gaseoso por microorganismos y la excreción animal. Es un parámetro de importancia ya que en su forma libre como amoníaco, es tóxico para los peces, toxicidad que depende del pH del agua y la temperatura.

Para determinar la clasificación del agua de un tramo particular del río en una clase específica es necesario sumar los puntos correspondientes, con base en los ámbitos de concentración para cada uno de los parámetros medidos (**Cuadro 1**).

**Cuadro 1.** Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores (Villalobos, 2008)

Puntos	PSO (%)	DBO (mg/l)	N-NH <sub>4</sub> (mg/l)
1	91-110	<=3	<0,50
2	71-90 111-120	3,1-6,0	0,50-1,0
3	51-70 121-130	6,1-9,0	1,1-2,0
4	31-50	9,1-15	2,1-5,0
5	<=30 y >130	>15	>5,0

Fuente: MINAE, 2007

El puntaje obtenido se traduce a un código de colores (**Cuadro 2**), con el que se clasifica la calidad del agua de acuerdo al grado de contaminación:

**Cuadro 2.** Código de colores del Índice Holandés para la asignación de clases de calidad del agua.

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

Fuente: MINAE, 2007

De acuerdo al puntaje obtenido y la asignación de color, queda definido el estado de calidad del agua. Finalmente, los usos potenciales para cada una de las clases, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Aguas Superficiales, se pueden ver en la siguiente **Cuadro 3**.

**Cuadro 3.** Clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo a su uso potencial y tratamiento necesario.

Usos	Código de uso*	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
<b>Abastecimiento de agua para uso y consumo humano</b>	A	Con tratamiento simple con desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
<b>Abastecimiento de agua para actividades industriales destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano</b>	B	Sin tratamiento previo o con tratamiento simple de desinfección.	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
<b>Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias</b>	C	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Con limitaciones	No utilizable
<b>Actividades recreativas de contacto primario</b>	D	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
<b>Acuicultura</b>	E	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
<b>Fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas</b>	F	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable
<b>Generación Hidroeléctrica</b>	G	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable con limitaciones	Utilizable con limitaciones
<b>Navegación</b>	H	No utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable
<b>Riego de especies arbóreas cereales y plantas forrajeras</b>	I	Utilizable	Utilizable	Utilizable		Utilizable

Usos	Código de uso*	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de cáscara	J	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

\*Código utilizado para simplificación de la información en el presente trabajo.

Fuente: MINAE, 2007

A diferencia del monitoreo químico de la calidad del agua, la cual evidencia una contaminación puntual, se hace cada vez más útil el empleo de organismos acuáticos como los macro invertebrados los cuales ofrecen mayor información respecto a las variaciones que sufre la calidad del agua a través del tiempo (Aguilla, 2005).

Los macro invertebrados bentónicos son considerados indicadores de calidad debido a que algunos organismos pueden sobrevivir en un rango de variantes de condiciones ambientales y son más tolerantes a la contaminación, mientras que otros son más sensibles e intolerantes a la contaminación. Es así, como cambios en la composición y estructura de comunidades acuáticas pueden indicar evidencias de algún tipo de contaminación. (Murphy y Giller.2000)

Se conoce como macro invertebrados bentónicos a los organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, cuyos principales representantes pertenecen al phylum Insecta, además, su tamaño es suficiente para ser observado sin necesidad de equipo óptico de aumento. (MINAE, 2003)

El Índice BMWP-CR es un método de valoración de la calidad biológica de un cuerpo de agua y fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método rápido para evaluar la calidad del agua, usando los macro invertebrados como indicadores. Con base en investigaciones realizadas en Costa Rica, se adaptó el índice de acuerdo a los macro invertebrados existentes en ríos y quebradas del país. (Aguilla.2005)

Para clasificación la calidad de agua el índice BWMP-CR asigna un valor, del uno a nueve, a cada familia de macro invertebrados encontrado en el cuerpo de agua evaluado, basándose en

la sensibilidad de estas a las alteraciones y niveles de tolerancia a la contaminación en el agua (Cuadro 4).

Cuadro 4. Puntajes para las familias de macro invertebrados identificados en Costa Rica

Puntos	Orden*	Familias
9	O	Polythoridae
	D	Blephariceridae; Athericidae
	E	Heptageniidae
	P	Perlidae
	T	Lepidostomidae; Odontoceridae, Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	E	Leptophlebiidae
	O	Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae
	T	Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae
	B	Blaberidae
7	C	Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrociidae
	O	Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae; Plastysticidae
	T	Philopotamidae
	Cr	Talitridae; Gammaridae
6	O	Libellulidae
	M	Corydalidae
	T	Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae
	E	Euthypliciidae; Isonychidae
5	L	Pyralidae
	T	Hydropsychidae; Helicopsycidae
	C	Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae
	E	Leptophyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baeitdae
	Cr	Crustacea
	Tr	Turbellaria
4	C	Chrysomelidae; Curcolionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae
	D	Dixidae; Simulidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae
	H	Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae
	O	Calopterygidae, Coenagrionidae
	E	Caenidae
	Hi	Hidracarina
3	C	Hydrophilidae
	D	Psychodidae
	Mo	Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae Bythinellidae; Sphaeridae
	A	Hirudinea; Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae
	Cr	Asellidae
2	D	Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	D	Syrphidae
	A	Oligochatea (todas las clases)

\*Nota: **D:** Diptera; **E:** Ephemeroptera; **P:** Plecoptera; **T:** Trichoptera; **O:** Odonata; **C:** Coleoptera; **M:** Megaloptera; **H:** Hemiptera; **L:** Lepidoptera; **B:** Blattodea; **Tr:** Tricladida; **Cr:** Crustacea; **A:** Annelida; **M:** Molusca **Fuente:** (MINAE, 2007)

Posteriormente estos valores son utilizados para calcular la calidad del agua de acuerdo al siguiente Cuadro 5:

Cuadro 5. Calidad de agua según el Índice BMWP-CR (Decreto No. 33903-2007)

Nivel de calidad	BMWP	Color
Aguas de excelente calidad	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas	<15	Rojo

**Fuente:** MINAE, 2007



## METODOLOGÍA

El programa de monitoreo de la calidad de los 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 6.

**Cuadro 6. 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

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 4 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 2014.

#### **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 7.

**Cuadro 7. 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	-	

Variable	Método	Límite de Detección	Unidades
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
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 el cuadro 8.

De acuerdo con el decreto 33903-MINAE-S, los límites establecidos para aguas naturales de clase 1 y 2 deben encontrarse entre 6,50 a 8,50, es decir entre neutra y ligeramente alcalina. Los pH registrados para las unidades de muestreo en todos los cuerpos de agua evaluados, se encontraron dentro de los límites que establece la norma.

En aguas naturales y residuales el fósforo puede existir en forma de fosfatos, siendo los ortofosfatos los más comunes. En todos los cuerpos de agua evaluados, el fósforo total y los ortofosfatos generalmente tuvieron concentraciones más altas en la época seca (32 a 45% mayores) que en lluvias. Los ortofosfatos tuvieron el mismo comportamiento que el fósforo total. Los valores presentes en los cuerpos de agua del cantón fluctuaron entre 6,7 mg/L en lluvias y 20,1 mg/L en época seca, debido a que los residuos de plantas, los fertilizantes comerciales, los abonos de animales, los desechos industriales, domésticos y agrícolas son vías de introducción adicionales del fósforo a los ecosistemas. El decreto de clasificación de cuerpos de agua no establece el límite máximo permisible de fósforo total en ríos con uso para riego agrícola, pero en normas internacionales como la mexicana (NOM-001-ECOL-1996) se fija este valor como 20 mg/L, mientras que para la protección de la vida acuática de 5 mg/L.

Para Metcalf y Eddy (1991) una concentración de 4 mg/L de fósforo es considerada una concentración débil, 8 mg/L una concentración media y 15 mg/L concentración fuerte. Por lo tanto las concentraciones de fósforo a lo largo de todos los sistemas presentaron una concentración entre media y fuerte.

**Cuadro 8. Resultados obtenidos del muestreo de los cuerpos de agua superficial que atraviesan el cantón de Belén, Año 2014.**

Punto Muestreo	pH	DBO	DQO	SST	SSed	SAAM	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P total	Hidrocarburos Totales	Turbiedad	Na	K	Ca	Zn
		mg/l	mg/l	mg/l	ml/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>RIO SEGUNDO</b>																		
R-01	7,02	29	115	47,8	0,85	0,22	16,7	9,8	13,0	336	1364	14,0	32,5	35,2	19,4	4,0	8,6	0,10
R-02	7,13	12	81	10,7	0,15	0,20	7,4	8,4	12,8	54	258	7,4	25,0	7,52	6,6	3,9	34,4	0,10
<b>RIO QUEBRADA SECA</b>																		
R-03	6,92	35	112	48,1	0,20	1,06	23,1	11,1	25,4	1663	6970	12,8	36	45,9	40,4	8,25	7,99	0,10
R-04	6,71	37	173	24,4	0,10	1,15	25,7	8,1	29,6	1727	2687	12,6	34,1	26,0	51,3	10,2	6,93	0,10
R-05	6,92	19	95	28,3	0,40	0,54	19,8	18,5	18,3	1194	1515	9,5	37,0	43,0	29,4	6,55	7,41	0,10
R-06	7,04	41	104	60,9	0,30	0,48	21,9	17,7	20,1	1452	1203	17,7	34,5	51,1	30,6	6,30	11,8	0,10
<b>RIO BERMUDEZ</b>																		
R-07	6,97	31	139	42,2	0,75	0,87	19,8	3,3	20,3	280	5526	12,8	46	52,0	29,3	6,62	9,81	0,10
R-08	7,00	63	183	50,7	0,78	1,36	14,8	2,0	18,7	213	5117	13,0	41	45,9	32,3	6,94	8,14	0,10
R-09	6,89	77	211	68,3	1,24	1,86	18,8	3,0	20,7	216	8545	7,7	39	59,1	36,1	7,16	8,24	0,10
R-10	6,83	94	279	74,0	1,42	1,80	18,6	0,5	22,8	285	1648	8,6	27	54,6	32,3	6,61	6,7	0,10
R-11	6,68	163	286	87,9	3,77	3,16	30,4	nd	25,2	186	10093	10,9	29	75,6	38,8	7,68	7,28	0,10

Informe de calidad de las Aguas Superficiales de Belén: Año 2014

Punto Muestreo	Cd	As	Co	Mn	Cu	Cr	Pb	Al	Ni	Oxígeno Disuelto	Temperatura	N total
	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	mg/l	°C	mg/l
<b>RIO SEGUNDO</b>												
R-01	20	5,0	21	547	0,085	9	88	1805	10	5,52	22,1	14
R-02	19	6,0	2	476	0,085	5	27	568	3	7,50	21,7	25
<b>RIO QUEBRADA SECA</b>												
R-03	8	4,0	nd	391	0,060	5	167	1109	3	6,87	23,6	14
R-04	8	6,5	6	336	0,060	12	14	1479	nd	6,38	23,7	14,5
R-05	10	3	15	417	0,090	24	79	838	16	6,98	24,7	15,0
R-06	12	3	6	357	0,060	13	29	734	16	7,33	25,2	21,0
<b>RIO BERMUDEZ</b>												
R-07	24	5	4	452	0,060	11	25	859	19	5,31	23,7	16,5
R-08	85	3	8	612	0,065	16	50	604	12	3,89	23,6	19,0
R-09	5	11	3	430	0,060	20	16	1799	15	4,23	23,1	23,0
R-10	6	6	3	600	0,055	30	11	1433	30	4,91	23,3	17,0
R-11	nd	6	13	480	0,065	18	42	1930	10	5,22	23,6	25,8

El nitrato es la forma principal del nitrógeno que se presenta en las aguas naturales, representa la fase más oxidada del ciclo y se encuentra generalmente a nivel de trazas en el agua de superficie, mientras que en las aguas subterráneas no contaminadas pueden alcanzar niveles de nitrato de 2 mg/L (Colín, 2001). Para los cuerpos de agua evaluados se registró aumento en la concentración de nitratos durante la época de lluvia.

La WHO (2001), define que en aguas superficiales la concentración de nitrato de manera natural es normalmente baja (0-18 mg/L), pero puede llegar fácilmente a varios cientos de mg/L como resultado de la escorrentía agrícola, descargas o contaminación con desechos humanos o animales. En el caso de los sistemas estudiados, se encuentran dentro de lo establecido por la WHO.

Para el caso del amonio, la mayoría de los sitios de muestreo tuvieron concentraciones entre 0,3 y 10 mg/L. En todos los cuerpos de agua, las concentraciones de amonio en la época seca fueron superiores a las encontradas durante las lluvias. A lo largo de los sistemas evaluados, las concentraciones de amonio se encontraron por encima de lo establecido por Dieter y Möller (1991), ellos consideran que la concentración de amonio en aguas naturales generalmente se encuentra por debajo de 0,2 mg/L. Tanto el amonio como los nitratos tienen una correlación significativa en los cuerpos de agua evaluados ( $p < 0,0001$ ,  $r = 0,87$ ).

Si se utiliza la técnica de evaluación global Fuzzy (FCA por sus siglas en inglés) partiendo 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 18 sitios de monitoreo se asoció con una clase de contaminación basada en los grados de pertenencia máximos derivados del FCA (Cuadro 4).

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 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 como LP; 4 sitios como MP, y 7 sitios como HP. Este resultado presenta un descenso con respecto a lo obtenido en años anteriores, ya que un sitio MP redujo su calidad a HP.

**Cuadro 4. 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	0,076	0,406	0,2	0,318	0
R. Segundo R02	0,087	0,212	0,315	0,386	0
R. Q Seca R03	0,059	0,144	0,253	0,401	0,143
R. Q Seca R04	0,069	0,178	0,391	0,295	0,067
R. Q Seca R05	0,103	0,256	0,374	0,254	0,013
R. Q Seca R06	0,099	0,285	0,317	0,248	0,051
R.Bermudez R07	0	0	0,412	0,434	0,154
R.Bermudez R08	0	0	0,357	0,368	0,275
R.Bermudez R09	0	0	0,258	0,392	0,35
R.Bermudez R10	0	0	0,172	0,403	0,425
R.Bermudez R11	0	0	0,098	0,471	0,431

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una herramienta de estadística multivariada que permite la síntesis de información y la reducción de la dimensión (número de variables). El objetivo es que ante una base de datos con muchas variables se debe seleccionar una menor cantidad (Terrádez, 2013). Las componentes principales son variables correlacionadas, que puedan explicar la mayor parte de la variabilidad, además que son independientes entre sí (Cuadras, 2012).



Sabiendo esto, de los resultados obtenidos en el análisis de correlaciones múltiples se seleccionaron las variables con coeficientes de correlación mayores a 0,5 para realizar el ACP, las cuales fueron: temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitratos, nitrito, sodio, potasio, amonio y fósforo total.

Se obtuvieron 8 componentes, de los cuales los primeros cuatro explican la variabilidad del sistema en un 97,4% como se indica en el Cuadro 5.

**Cuadro 5. Resultado del análisis de componentes principales a la base de datos de los sitios monitoreados durante el año 2014.**

Número de componente	Eigenvalor	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
1	10,308	51,28	55,34
2	4,952	24,95	80,29
3	2,725	10,73	91,02
4	1,329	6,12	97,14
5	0,3871	0,54	97,68
6	0,2774	0,17	97,85

El primer componente está definido por variables que presentaron correlaciones negativas, asociando principalmente nitrato, amonio, fósforo total y la DQO con las propiedades amortiguadoras del sistema, contraponiéndose con el oxígeno disuelto. Resultados similares a este fueron los registrados por Soledad (2013), en donde especifica una correlación entre el fósforo, el nitrógeno, la materia orgánica y la concentración de cationes del sistema acuático. El segundo componente manifestó la asociación del sodio con el potasio, la turbiedad y los sólidos suspendidos totales, estas últimas variables representan la caracterización hidrológica del sistema. Las variables que se contraponen a esto son el pH del agua y la temperatura.

Al analizar la evolución de los contaminantes evaluados en el período 2010-2014 (Cuadro 6), se puede notar que para algunos ríos como Segundo, Quebrada Seca y Bermúdez se mantiene una tasa de crecimiento anual de 10,8 -16,1% para DQO y 2,3-9,3% para turbiedad.

**Cuadro 6. Evolución de los parámetros evaluados en los cuerpos de agua superficial del cantón de Belén, 2010-2014.**

Parámetro	Río Segundo	Río Quebrada Seca	Río Bermúdez
DQO	10,8%	12,3%	16,1%
DBO	8,1%	9,3%	11,9%
Turbiedad	2,3%	4,8%	9,3%
SST	3,7%	6,9%	10,1%
Cloruro	3,1%	5,5%	7,6%
Sulfato	1,8%	6,2%	9,3%

## CONCLUSIONES

- La distribución de los sitios de monitoreo en los tres niveles de contaminación establecidos (LP, MP, HP) presentó durante este año variaciones con respecto a lo generado durante el 2013. Adicionalmente, muchos de ellos redujeron el aporte de las clases 1 y 2 con el consecuente aumento de la contribución de niveles de mayor contaminación.

- El deterioro reflejado en el incremento de la contribución de las clases 3,4 y 5 se evidenció con mayor fuerza para sitios que se encuentran localizados en el Río Bermúdez y en la parte baja del cantón.
- Las actividades que se desarrollan en las áreas por donde circulan los cuerpos de agua no modifican de forma significativa el pH del agua, ya que se encontró dentro de los límites establecidos para aguas naturales, con excepción de un sitio de medición.
- Las concentraciones de los parámetros medidos resultaron ser menores durante la época lluviosa que en la seca por un factor de dilución. Sin embargo la concentración de sólidos suspendidos y turbiedad no obedeció esta tendencia debido a la influencia de los procesos de erosión y arrastre de sólidos.
- Las principales fuentes que explican las variaciones en la composición química de los cuerpos de agua son las características hidrológicas de los cuerpos de agua y la descarga de aguas residuales sin tratamiento que aportan importantes cantidades de nitrógeno, carbono y fósforo a los sistemas acuáticos
- Los niveles de contaminación en los cuerpos de agua han venido experimentado tasas positivas de crecimiento en los últimos 5 años que varían dependiendo de la variable analizada, entre un 2,5 a 20,5% anual. Las tasas de incremento resultan ser mayores para aquellos parámetros que están asociados a la descarga de aguas residuales sin tratamiento, como lo son: DBO, DQO y SST.
- 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.
- Resulta de vital importancia reforzar las labores de monitoreo y vigilancia del cumplimiento del Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales en el sector industrial localizado en el cantón, debido a la importante concentración de estas actividades en el municipio.

## REFERENCIAS

- Álvarez, J. Panta, J. Alaya, C. Acosta, E. 2008. Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica de Río Amajac. Consultado el día 11 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v19n6/art04.pdf>
- Brenez, M. 2010. Percepciones Ambientales de la calidad de agua superficial de la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. Consultado el día 11 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://www.colef.mx/fronteranorte/articulos/FN43/6-f43.pdf>
- Campos, I. 2003. Saneamiento Ambiental. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Belén, Costa Rica. 49 p.
- Calvo, G. 2012. Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha. 26(2):9-19.
- Calvo, G.; Mora, J. Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón, Parte III: Calidad de cuerpos receptores de agua, según el Sistema Holandés de Valoración. *Tecnología en Marcha*, 2007, 20(4), pp 59-67.
- Fagundo, JR. González, P. s.f. Aguas naturales, minerales y Mineromedicinales. Consultado el día 11 de Marzo de 2015. Disponible en línea: <http://www.sld.cu/sitios/mednat/docs/aguas.pdf>
- Hernández, L. Chamizo, H. Mora, D. 2011. Calidad del agua para consumo humano y salud: dos estudios de caso en Costa Rica. Revista Costarricense de Salud Pública. 2(1):21-26. Consultado el día 16 de febrero de 2015. Disponible en línea: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-14292011000100004](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292011000100004)
- IFAM (Instituto de Fomento y Asesoría Municipal). 2010. Plan Maestro de los sistemas de abastecimiento de agua potable de Belén de Heredia. Consultado el día 16 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://www.ifam.go.cr/docs/planesmaestros/4%20Bel%C3%A9n%20Plan%20Maestro%20DEFDEF.pdf>

- INEBASE (Instituto Nacional de Estadística).2008. Estadísticas e indicadores del agua: La información estadística, instrumento necesario para una mejor gestión del agua. Consultado el día 15 de Marzo de 2015. Disponible en línea: <http://www.ine.es/revistas/cifraine/0108.pdf>
- La Gaceta. 2007. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Consultado el día 16 de febrero de 2015. Disponible en línea:[http://www.cimar.ucr.ac.cr/PDFS/Reglamento\\_Evaluacion\\_y\\_Clasificacion\\_Calidad\\_Agua\\_Superficial.pdf](http://www.cimar.ucr.ac.cr/PDFS/Reglamento_Evaluacion_y_Clasificacion_Calidad_Agua_Superficial.pdf)
- Muñoz, A. 2008. Caracterización y tratamiento de las aguas residuales. Consultado el día 15 de Marzo de 2015. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/231104/514/1/Caracterizacion%20y%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf>
- Orellana, J. 2005. Características del agua potable. Consultado el día 15 de febrero de 2015. Disponible en línea: [http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_03\\_Caracteristicas\\_del\\_Agua\\_Potable.pdf](http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf)
- Pacheco, J. Pat, R. Cabrera, A. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. Consultado el día 17 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen6/analisis.pdf>
- Roldán, G. s.f. Los macroinvertebrados y su valor como indicador de la calidad de agua. Consultado el día 17 de febrero de 2015. Disponible en línea: [http://www.accefyn.org.co/revista/Vol\\_23/88/375-387.pdf](http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_23/88/375-387.pdf)
- Rosegrant, M. Cai, X. Cline, S. 2002. Panorama global del agua hasta el año 2015: Cómo impedir una crisis inminente. Consultado el día 15 de Marzo de 2015. Disponible en línea: <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/pr14sp.pdf>
- Ruibin, Z. Xin, Q. Huiming, L. Xingcheng, Y, Rui, Y. 2012. Selection of optimal river water quality improvement programs using QUAL2K: A case study of Taihu Lake Basin, China. Available from SciVerse Scencedirect.

- Solano, E. 2011. Foro del Agua: Manejo y protección del recurso Hídrico en el cantón de Belén. Consultado el día 15 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://www.senara.or.cr/documentos%20de%20interes/Experiencia%20en%20el%20manejo%20y%20proteccion%20de%20recursos%20hidricos,%20acueducto%20municipal%20de%20Belen-%20Eduardo%20Solano.pdf>
- Stachetti, G. Moreira, A. 2007. Manual de Valoración de Impacto Ambiental de actividades rurales. Montevideo, Uruguay. Consultado el día 11 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://www.aguaparaproducir.uy/images/pdf/9-manual-de-evaluacion-de-impacto-ambiental-de-actividades-rurales.pdf>
- Torres, F. 2009. Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos en Puerto Rico (Order No. 1468715). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (305071499). Tesis. Msc. Consultado el día 15 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://search.proquest.com/docview/305071499?accountid=37045>
- Torres, P. Cruz, C. Patiño, P. 2008. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales Utilizadas en la producción de agua para Consumo humano: Una revisión crítica. Consultado el día 16 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- Universidad de Valle. S.f. Estudio del proceso de aireación en el Rio Cauca. Consultado el día 18 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://www.cvc.gov.co/cvc/Mosaic/dpdf3/volumen11/2-antecedentesmcv11f3.pdf>
- Universidad de Valle. S.f. Modelación matemática del Rio Cauca. Consultado el día 18 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://www.cvc.gov.co/cvc/Mosaic/dpdf1/volumen8/7-modelacioncarcv8f1.pdf>
- Valera, B. Calpanini, Y. Chirinos, A. 2012. Aireación. Consultado el día 18 de febrero de 2015. Disponible en línea: <http://es.slideshare.net/guillermo150782/aireacin>
- Varó, P. Segura, B. 2009. Curso de manipulador de agua de consumo humano. Publicaciones de la Universidad Alicante. 118,119 p.