



Informe de Calidad de las Aguas Superficiales



Cantón de Belén: Año 2013

Contenido

	Página
Contenido	2
Calidad del agua superficial: introducción	3
Monitoreo de la calidad del agua superficial: características	15
Estado de la calidad de las aguas superficiales en el año 2013: Resultados	18
Conclusiones	24
Referencias	25

Calidad del Agua Superficial: Introducción

La calidad del agua comprende una serie de parámetros de comparación, en la cual una determinada masa de agua debe de cumplir una serie de requisitos físicos, químicos y biológicos, con el fin de darle un uso específico, el cual varía según la actividad (Cortés, 2009); dentro de estas clases se puede encontrar, el abastecimiento de las actividades industriales destinada a la producción de alimentos de consumo humano, agua potable, acuicultura, protección de comunidades acuáticas, navegación, irrigación de especies arbóreas, entre otros (Sánchez, 2007).

Para garantizar que un determinado cuerpo de agua este cumpliendo con lo normado en la legislación nacional o estándares de calidad de una normativa internacional, es necesario realizar un monitoreo continuo de las aguas superficiales, que incluye la elaboración de un plan de acción que incorpora entre otros aspectos el aporte de contaminantes de focos puntuales tanto en zonas bajas, medias, altas y áreas de mezcla; afectación de la época seca y lluviosa, biodiversidad, caudal máximo, mínimo y el promedio, el cual permite conocer la capacidad de disolución que tiene un determinado cuerpo de agua sobre los contaminantes que le son vertidos (Cortés, 2009).

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 quien tiene incidencia sobre la calidad del recurso hídrico, principalmente por el aporte de materia orgánica como las hojas que pueden entrar en contacto con el cloro disuelto en el agua y generar compuestos tóxicos para la salud humana, esto principalmente en terrenos salinos (Vargas, 2004).

Parámetros Físicos del Agua y su Calidad

Las características físicas del agua son aquellas que nos brindan información sobre las condiciones estéticas del agua, mediante el uso de los cinco sentidos, y son de vital importancia, pues el simple hecho de que la coloración del agua no sea apetitosa puede hacer que no sea consumida aunque sus propiedades químicas y biológicas demuestren su potabilidad (Alfayate, 2008), por ello es fundamental realizar análisis sobre los componentes de los parámetros físicos.

Turbiedad

La turbiedad de las aguas superficiales se debe principalmente a la acción de la materia inerte como el material producto de la erosión de las rocas, quienes dan un gran aporte a su desarrollo, y esto se aprecia por la presencia de partículas de arcilla, lima, arena, así como su mezcla; que al

acumularse genera una serie de sistemas coloidales que no permiten el paso de la luz, reduciendo de esta manera la transparencia del agua (Vargas, 2004); sin embargo la turbiedad no sólo se desarrolla por la acción de agentes externos al cauce ya que la misma se puede generar por la resuspensión del lecho del río debido a la acción de las lluvias, que aumentan la velocidad y el caudal del río (Montoya, *et all*, 2011).

Al igual que la materia inerte los microorganismos también cumplen un papel fundamental en el desarrollo de la turbidez del agua ejemplo de ello es el fitoplancton, el cual es una planta de proporciones microscópicas que al momento de entrar en la etapa de floración puede generar una gran población que es capaz de impedir el ingreso de la luz a estratos inferiores de las capas del líquido, provocando una serie de afectaciones a la salud de los ecosistemas acuáticos; hasta el momento, no se ha relacionado la turbidez con algún problema de salud humana, sin embargo el aspecto físico que este parámetro tiene sobre la percepción de los consumidores es vital pues implica la aceptación o rechazo de este bien ecosistémico (Sánchez, *et all*, 2007).

Sólidos Totales y Disueltos

Las partículas que se encuentran en los cuerpos de agua tienen una variedad de tamaños, formas y composición química, sin embargo tienen características similares que facilitan su clasificación en determinadas categorías, una de ellas es la de sólidos disueltos, definida por contener aquellos sólidos que pueden filtrarse por poros de $1,2 \mu\text{m}$ o de diámetro menor, por lo general estos sólidos se encuentran entre el rango de $0,01\mu\text{m}$ a $1,0 \mu\text{m}$ (Metcalf y Eddy, 2014).

Otra categoría de sólidos es la de sólidos totales que incluye tanto a los disueltos como a los suspendidos. Los sólidos totales y los disueltos generan una serie de afectaciones a la salud de los ecosistemas, debido a la formación de turbidez en las aguas naturales, además de que pueden llegar a sedimentarse dañando así el hábitat de algunos organismos bentónicos y fomentar las sobrepoblaciones bacterianas lo que dificulta el tratamiento de las aguas potables, pues estos sólidos sirven como barrera protectora contra la acción desinfectantes en la cloración del líquido (Mackenzie, 2005).

Color

El color del agua puede verse influenciado por otros parámetros físicos como lo son la turbiedad y los sólidos suspendidos, ya que la presencia de materia orgánica, la descomposición de la misma y algunos metales como el hierro, el manganeso entre otros elementos metálicos tienen influencia

sobre la coloración (Vargas, 2004), dentro de los compuestos orgánicos que tienen incidencia sobre este aspecto físico se encuentran principalmente:

- **Taninos:** Son un grupo de compuestos polifenólicos de origen natural que se encuentran en ciertos extractos de las plantas, que bajo ciertas reacciones químicas liberan antocianidinas coloreadas (González, 2010).
- **Lignina:** Es un componente de las paredes celulares vegetales que brinda protección a la célula, el cual tiene un carácter cromóforo por lo tanto al momento de oxidarse genera una coloración amarillenta que puede alterar el aspecto físico del agua natural (Requeña, 2008).
- **Ácidos Húmicos:** Son los principales compuestos de la materia orgánica que se encuentra en los suelos y a su vez brinda diversidad de características físico-químicas en el suelo y que al ser depositadas en los cuerpos de agua generan un cambio en la coloración de los mismos (Almendros, 2004).

Además de estas sustancias orgánicas la temperatura, el pH y tiempo de contacto también influyen sobre la coloración. Cabe destacar que existe la coloración aparente del agua así como el color verdadero, en donde la primera se da cuando el líquido no ha tenido ningún tratamiento, mientras que el segundo término hace referencia al color del agua luego de haberse realizado los procesos de filtración (Vargas, 2004).

Olor de las aguas superficiales

El olor de las aguas superficiales puede presentarse por la acción de diversos factores, los cuales generan impactos en la percepción de los consumidores, debido a la posible presencia de olores desagradables, que implican la reducción en la comercialización del producto (AWWA, 2012), algunas fuentes naturales que generan malos olores en las aguas son las bacterias reductoras de sulfatos, como las bacterias verdes del azufre quienes descomponen el grupo químico sulfato y emite al exterior de la célula hidróxido de azufre el cual produce un olor a huevo podrido (Madigan, 2009).

También se pueden encontrar a las algas azuladas o cianobacterias, las cuales generan geosmina, un compuesto químico que da ese olor tan característico a tierra mojada (Gamazo, 2013); estas emisiones de olores se da principalmente cuando hay una floración excesiva de algas, los cuales se deben tanto a factores naturales como el aumento en la turbidez, retención de las aguas, así como a factores antropogénicos como la contaminación nitrogenada que estimula la eutrofización de los cuerpos superficiales (De León, 2011).

No obstante las algas azuladas y las bacterias reductoras de sulfatos son los únicos emisores de olores, también se encuentran las siguientes fuentes naturales y antropogénicas que le dan olor al agua:

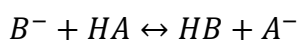
Cuadro 1. Olores Característicos de diversos compuestos

Olor Característico	Origen del Olor
Balsámico	Flores
Químico	Aguas residuales industriales
medicamentoso	Fenol
Azufre	Ácido Sulfúrico y Ácido Sulfhídrico
Séptico	Alcantarillado
legumbres	Hojas en descomposición
Cloro	Cloro Residual Libre
Tierra	Cianobacterias, arcillas húmedas

Fuente: Vargas, 2004

pH

El pH es una escala logarítmica que mide la presencia de concentración de hidronios en una sustancia (Jenkins, 2009), que sufre reacciones químicas basadas en la siguiente ecuación:



(1)

Dónde:

B: Base₁

HA: Ácido₁

HB: Ácido₂

A: Base₂

Por lo general el pH de las aguas superficiales, está entre el rango de 6,5 y 8,5 y es gracias a estos valores que se pueden realizar otra serie de reacciones químicas como la reducción-oxidación, además que permite el desarrollo de la vida acuática y sus procesos biológicos (Alfayate, 2008).

Existen diversos factores que modifican la acidez del líquido uno de ellos es la composición geológica del cauce del río pues este sustrato es erosionado y con ello se da la liberación de sales, lo que aumenta el carácter básico del recurso (Mackenzie, 2005), caso contrario sucede cuando hay altas concentraciones de dióxido de carbono, el cual le da un carácter ácido a las aguas (Alfayate, 2008), es por ello que para garantizar la calidad de un cuerpo de agua es necesario controlar variables como el pH, pues es parámetro que regula diversidad de procesos en el agua (Metcalf y Eddy, 2014).

Temperatura

Al igual que el pH la temperatura de las aguas tiene una influencia sobre los procesos biológicos y químicos que suceden dentro de este compuesto, la cual varía según la región del planeta en donde se esté, es por esto que existen una gran variedad de ecosistemas acuáticos (Alfayate, 2008).

Características Químicas del Agua

El agua es una solución /suspensión acuosa en la cual suceden una serie de reacciones químicas de importancia biológica, las cuales entre sus interacciones brindan esas características al agua (Jenkins, 2009).

Dureza

La dureza se da por la presencia de elementos alcalinotérreos en las aguas, principalmente de Calcio y Magnesio, los cuales interactúan con otros compuestos disueltos y dan esta propiedad química al líquido, existen categorías de durezas dentro de las cuales encontramos las blandas que contienen concentraciones inferiores a 60 mgCaCO₃/l y las duras cuya concentración es mayor a 200 mgCaCO₃/l (Harris, 2007).

Los principales compuestos promotores de la dureza del agua son los provenientes de las rocas calizas, principalmente Sulfato de Calcio, mineral que es depositado en los cauces de los ríos por la acción erosiva del viento y el agua, además de este tipo de rocas, las rocas Dolomítica liberan compuestos con contenido de Magnesio en los cuerpos de agua aumentando la dureza (Baird, 2004).

Para poder determinar el índice de dureza del agua es necesario realizar una valoración complexométrica, empleando el reactivo etilendiaminotetracético (EDTA) como compuesto

complejante, que interactúa primeramente con el Calcio libre de la muestra y después realiza un desplazamiento del compuesto que posee al alcalinotérreo, seguidamente reacciona con el Magnesio libre y después con el Magnesio presente en los compuestos, este orden se cumple pues el EDTA-Ca es más estable que el EDTA-Mg (Severiche, 2013).

Alcalinidad

La alcalinidad es la propiedad química del agua que le permite neutralizar los compuestos ácidos que se encuentran diluidos en el medio, mediante la interacción con el carbonato y el carbonato ácido por medio de la siguiente fórmula (González, 2011):



Esta propiedad química no debe confundirse con el pH del agua, pues la primera es la capacidad que tiene el agua para funcionar como un compuesto amortiguador de sustancias que ingresan al sistema, como lo puede ser la lluvia ácida, que es neutralizada por medio de la alcalinidad, además esta propiedad funciona como un indicador de la dureza del agua pues ambos dependen de las concentraciones de carbonatos ya sean sus ácidos o por medio de la unión de sales como el Calcio y el Magnesio (González, 2011).

Esta buffer natural es indispensable para determinar la calidad del agua y se demuestra tanto en la afectación que tienen las concentraciones de estos ácidos en el desarrollo de la vida de especies vegetales acuáticas, en donde aquellos cuerpos con altas concentraciones (> 150mg CaCO₃/l) implican un alto potencial de fertilidad, como en la acidez de las aguas, ya que si la alcalinidad es negativa indica que el agua no cumple las mejores condiciones para abastecer comunidades, en cambio si la alcalinidad es positiva implica que el agua cumple con las condiciones básicas para ser un agua de calidad (González, 2011).

Cloruros

El Cloro presente en las aguas naturales, se debe principalmente a la interacción del elemento con sales como el Calcio, Magnesio y Sodio, las cuales provienen de la erosión de las rocas evaporíticas (González, 2011); las concentraciones de cloruros por lo general no son lo suficientemente altas para modificar el sabor y el olor del agua y su rango promedio en aguas superficiales es de entre 1 mgCl/l hasta 100 mgCl/l (Sandí, 2010).

La presencia de este ión en concentraciones promedio brinda una serie de beneficios como lo es la desinfección de microorganismos que pueden ser patógenos para el ser humano (Barrio, 2009), además de mantener la presión osmótica en seres vivos y mantener el balance iónico del agua (Sandí, 2010). No obstante el exceso de este ión puede generar efectos adversos como la disruptura en la presión osmótica, así como generar quemaduras en las hojas de las plantas que entre en contacto con este elemento (Moreno, 2007). Para garantizar una buena calidad del agua es necesario controlar el Cloro residual libre, pues es el tratamiento de este ión es muy costoso (Vargas, 2004).

Nitratos y Nitritos

La presencia de Nitratos y Nitritos en las aguas superficiales se debe a procesos naturales como lo es el ciclo del Nitrógeno, el cual mediante la precipitación húmeda transporta el Nitrógeno atmosférico hasta los cuerpos de agua en donde sufre una serie de transformaciones biológicas producto de la interacción con bacterias nitrificantes, las cuales generan Nitratos y Nitritos (Cardenas, 2013).

Sin embargo no sólo la naturaleza aporta nitrógeno a los cuerpos superficiales, también lo hacen las industrias y principalmente la agroquímica, pues en muchos de los fertilizantes se incorpora este elemento pues es un macronutriente de las plantas, lo que promueve la eutrofización de las aguas reduciendo la calidad de las mismas y causando la muerte de especies que se puedan encontrar en el sitio (Campbell, 2007).

Naturalmente en las aguas existe una concentración promedio de 1 mg N/l lo cual no genera ninguna afectación a la calidad de las aguas ni a la salud pública ni ambiental (Vargas, 2004), sin embargo cuando hay concentraciones iguales o mayores a 10 mg NO₃-N/l (Metcalf y Eddy, 2014) puede haber daños principalmente por el desarrollo de la metahemoglobina en seres humano, la cual si sobrepasa el 20% del total de la hemoglobina corporal puede ocasionar síntomas toxicológicos en el consumidor (Albert, 2012).

Sulfatos

Los sulfatos son compuestos que se encuentran diluidos en las aguas superficiales por la acción erosiva que tiene el líquido sobre rocas sedimentarias como la lutita, y por las interacciones bioquímica de las bacterias sulfato-reductoras que están presentes en el medio, quienes modifican las propiedades químicas creando estos compuestos; para garantizar que el sulfato no

vaya ocasionar cambios en la calidad del agua es pertinente que las concentraciones no sobrepasen el rango comprendido entre 10 mg SO₄/l y 80 mg SO₄/l (Weiner, 2013).

La remoción de Sulfatos de las aguas naturales es un tratamiento muy costoso, por ello es recomendable no utilizar aquellos cuerpos de agua que contengan concentraciones mayores a 500 mgSO₄/l pues luego de este umbral el agua empieza a generarse corrosión y se produce un efecto laxante en los consumidores (Weiner, 2013).

Plomo

El plomo es un elemento que se le puede encontrar en una variedad de medios ya sea en el aire, suelo, plantas, animales y el agua, sin embargo es el suelo quien contiene la mayor cantidad de este metal, el cual es liberado a los cuerpos de agua mediante la acción erosiva que sufre el manto y las rocas contenedoras; la capacidad de dispersión que tiene el recurso hídrico sobre este metal hace que las concentraciones promedio rondan de los 0,001 µgPb/ml hasta los 0,01 µgPb/ml, valores que están muy por debajo de la norma establecida por la Organización Mundial de la Salud, la cual equivale a 0,1 µgPb/ml (Albert, 2012).

Los problemas asociados al plomo en cuanto a la calidad de agua de consumo humano están relacionados fundamentalmente con el tiempo de retención y el medio de distribución del líquido, en esencia aquellas tuberías que están elaboradas con plomo (López, 2013), las cuales liberan partículas que pueden elevar las concentraciones hasta los 10.000 µgPb/ml (Vargas, 2004). Para poder reducir la presencia de este metal es recomendable colocar filtros de carbono activado en los sistemas de depuración, ya que estos absorben el plomo y su implementación es de bajo costo (Upadhyayula, 2009).

Cobre

La presencia de Cobre en las aguas es un buen indicador, ya que este elemento unido al cloro, permiten la desinfección de las aguas, pues tiene la capacidad de ingresar por las paredes celulares e inhibir el funcionamiento de los microorganismo (Rajagopal, 2012), la concentración deseable de Cobre en las aguas naturales es de 31,85 µmolCu/l, no obstante la Organización Mundial de la Salud permite concentraciones de hasta 828,03 µmolCu/l, sin que estas lleguen a afectar la salud humana (Arakeri, 2013), al igual que el plomo la afectación a la calidad de agua de consumo humano, se debe a que las tuberías de plomo también contienen trazas de Cobre el cual es liberado al agua y con ello puede ocasionar afectaciones a la salud (Vargas, 2004).

Hierro

El comportamiento químico del hierro en las aguas naturales es originada principalmente por la reacción oxidación-reducción que se da por medio de la interacción con compuestos orgánicos e inorgánicos del medio; así también es gracias a este tipo de reacciones que se reduce el contenido de este elemento en las aguas naturales (Jenkins, 2009). Es la especie Fe^{+2} , el ión que se encuentra mayoritariamente dentro de los cauces y su concentración promedio es de $700 \mu\text{gFe/l}$, sin embargo una acumulación excesiva de este metal puede llegar a ocasionar cambios en la coloración y sabor del agua, haciendo que no sea gusto del consumidor (Postawa, 2013).

Para lograr una remoción del Hierro de las aguas que van a ser consumidas, simplemente se deben seguir el mismo tratamiento de eliminación de la turbiedad, logrando así reducciones en las concentraciones de $0,3 \text{ mgFe/l}$ hasta 10 mgFe/l (Vargas, 2004).

Manganeso

El Manganeso es un elemento que está asociado a la presencia del Hierro, y de igual forma el Manganeso es un componente de los suelos el cual al ser erosionado por las aguas es incorporado a esta y sufre una serie de reacciones en las cuales se libera la especie Mn^{+2} , ión que puede reducirse hasta formar otros óxidos menos solubles; la concentración de este elemento ronda los $200 \mu\text{gMn/l}$ y su límite máximo permisible es de $0,5 \text{ mg/l}$ para consumo humano (Postawa, 2013).

Las enfermedades relacionadas a su toxicidad por una exposición son muy difíciles de encontrar, ya que este elemento no es tan nocivo para la salud humana como el de otros elementos, no obstante la sobredosis puede ocasionar “La Locura por Manganeso”, la cual se caracteriza por un deterioro del lóbulo frontal (desbalanceo y conducta compulsiva) además de la presencia de síntomas de la enfermedad de Parkinson (Sabbagh, 2009).

Amonio

La presencia de amonio en las aguas naturales se debe principalmente a la descomposición de los restos de tejidos de plantas o de animales, a las excretas que son depositadas en los cauces de los ríos, no obstante son las bacterias nitrificantes las encargadas de producir amonio a partir del Nitrógeno presente en estos desechos, el cual se diluye y dispersa (Cech, 2009), la concentración promedio de este compuesto en las aguas superficiales es de $0,11 \text{ mgNH}_3/\text{l}$ (Stanley, 2004).

Diversos estudios demuestran que el amonio no ocasiona alguna toxicidad severa en la salud humana, sin embargo este compuesto puede entrar en contacto con el Cloro produciendo una especie química que es tóxica para el ser humano (Johnson, 2009).

Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es fundamental para que puede existir vida en las aguas superficiales, pues de este depende las plantas, las especies animales y microorganismos que en ella habitan, este compuesto químico es transferido de la atmósfera a las aguas por lo que las concentraciones pueden variar en el tiempo (Bell, 2011), la concentración de oxígeno en las aguas no puede ser menor a 5 mgO₂/l pues por debajo de este valor la biota del ecosistema pueden presentar problemas reproductivos y de crecimiento (Hocking, 2006)

Características Biológicas del Agua

El agua es un medio muy apreciado por los microorganismos para desarrollar su vida, ya sea porque le permite realizar procesos metabólicos, reproductivos, así como también es el área donde depositan las excretas, además de servir como medio de transporte, dentro de algunos grupos podemos encontrar las algas, las cianobacterias, bacterias y virus, es por esto que el uso de cuerpos de agua superficiales implica una serie de riesgos a la salud humana (Madigan, 2009). Algunos de estos organismos que habitan las aguas superficiales son:

Escherichia coli

Esta familia Enterobacteriaceae está compuesta por aproximadamente 120 especies, las cuales son anaerobias facultativa y pueden llegar a ocasionar problemas de salud en animales vertebrados e invertebrados, dentro de esta familia se encuentra la especie *Escherichia coli*, la cual es la más común en las poblaciones microbianas del intestino, estos microorganismos son fundamentales para poder realizar la digestión, además de que son las productoras de las vitaminas B y K, sin embargo hay unos patotipos de esta bacteria quienes son responsables de ocasionar diarreas agudas en las personas (Eslava, 2011).

Este tipo de microorganismo es un indicador específico que evidencia la presencia de contaminación patógena en los cuerpos de agua, las pruebas que se realizan a la *E. coli* están basadas en el crecimiento de los organismos que se encuentran en las muestras tomadas de los diversos cuerpos de agua, el procedimiento empleado comúnmente es el de *número más probable* (Madigan, 2009).

Coliformes Fecales

Este grupo indicador de microorganismos está compuesto por bacilos anaerobios facultativos, gramnegativos no generadores de endosporas, así como por el grupo Enterobacter que incluye a la *Escherichia coli* y la *Klebsiella pneumoniae*, el cual es un patógeno no muy habitual dentro del intestino, al igual que la *Escherichia coli*, el procedimiento de determinación se basa principalmente en el *número más probable*, sin embargo con el desarrollo de la tecnología, se han venido desarrollando nuevas técnicas más rápidas y exactas como lo es el empleo del agar EMB en donde se mide la capacidad de las coliformes para digerir sustancias (Madigan, 2009).

Para el caso de Coliformes fecales y la calidad del agua es indispensable no encontrar números de bacterias, pues esto indica que hay algún tipo de contaminación, sin embargo en caso de que se llegase a determinar la presencia de estos microorganismos, este valor no puede sobrepasar 1 MPN/100 ml como una media aritmética de las muestras analizadas para un periodo equivalente a 30 días (Madigan, 2009).

Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno, es aquel consumo alimenticio indispensable que deben tener los microorganismos para poder cumplir con sus funciones vitales, por lo menos para aquellos seres aerobios; esta demanda expresa por lo tanto la concentración de materia orgánica degradable, cuya descomposición es dependiente de los componentes de los residuos, siendo los azúcares simples los que se metabolizan con mayor rapidez, seguido por la celulosa y otros compuestos naturales, sin embargo cuando es necesario degradar los compuestos químicos producto de los procesos industriales, el tiempo de degradación aumenta principalmente por la complejidad, estabilidad y toxicidad de estos residuos (Mackenzie, 2005).

La DBO se mide por medio de bioensayos, en donde la muestra se deja reposar por un periodo de cinco días en donde cada día se realiza una medición del oxígeno disuelto (Vargas, 2004).

Bioindicadores de la calidad del agua

Existe una gran variedad de macroinvertebrados acuáticos, que tienen variedad de rangos de susceptibilidad frente al cambio de la composición físico-química de las aguas y sirven como indicadores de la calidad de las mismas, dentro de este gran grupo podemos encontrar entre otros a los Neuston, que se caracterizan por vivir en la superficie de las aguas caminando gracias a una

cera que tienen en las puntas de las patas que no les permite sumergirse, dentro de este grupo podemos encontrar a la familia Gerridae, Hidrometridae y Mesoveliidae (Dias, 2009).

También se encuentran los Necton, que son aquellos organismos que nadan libremente y en donde se pueden encontrar familias como: Coixidae, Notonectidae, Dytiscidae, entre otros (Bortone, 2005), además de este grupo también se encuentran los Bentos que son todos aquellos organismos que habitan en los fondos de los ríos y generalmente se encuentran adheridos a diversos sustratos como rocas, vegetación, troncos, entre otros, en esta categoría se puede encontrar la familia Euthyplociidae, Blephariceridae, así también algunos ordenes como Plecoptera y Trichoptera (Gordon, 2013).

Para poder evaluar la calidad de las aguas es necesario recurrir a métodos en los cuales se determine la condición por medio de índices cualitativos o cuantitativos, es por esto que La Biological Monitoring Working Party (BMWP) desarrollo una técnica cualitativa en donde la presencia o ausencia de determinadas familia de macroinvertebrados modifica un puntaje, el cual categoriza la calidad (Sánchez, 2005), ya sean aguas de clase excelente con un puntaje mayor a 120, regular para aquellos valores comprendidos entre 61 y 100 puntos, hasta llegar a las aguas muy malas que tiene valores inferiores a 15 puntos. Es importante mencionar que esta metodología se puede adaptar a las condiciones de cada país o a cada región de un país (Wright, 2010).

Normativa Nacional Referente a la Calidad del Agua

Costa Rica cuenta con el reglamento para la calidad del agua potable, así como un reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales, los cuales se crean considerando la necesidad de garantizar agua de calidad a la población civil, así como su protección pues son ecosistemas complejos en donde una variedad de especies interactúan para mantener el equilibrio natural que permite al ser humano obtener beneficios de este recurso natural (Aguilar, 2009).

Los objetivos del Reglamento para la evaluación y clasificación de los cuerpos de agua superficiales son claros en cuanto normar la metodología y criterios que se deben de seguir para poder evaluar un cuerpo de agua, para ello es necesario realizar análisis de parámetros físico-químicos como el porcentaje de saturación de oxígeno, Nitrógeno Amoniacal, entre otros, además se deben realizar análisis complementarios según la clase de uso potencial que puede tener un cuerpo de agua.

También se deben realizar un monitoreo biológico, en donde se realiza un muestreo de organismos bentónicos bajo la metodología oficial del país (RECCAS, 2007).

En cuanto al reglamento para la calidad del agua potable, su objetivo es establecer los valores máximos para todos aquellos componentes que se encuentren en las aguas y pueden ser un riesgo para la salud humana, el alcance de dicha normativa son los sistemas de abastecimiento de agua para la población del país (RCAP, 2005), los parámetros físico-químicos y biológicos de este reglamento difieren del reglamento de clasificación de cuerpos de agua en el sentido del consumidor final ya que el segundo puede emplearse para diversas actividades como lo es la irrigación, uso industrial, agropecuario, mientras que el primero es enfocada al suministro a las comunidades humanas (Aguilar, 2009).

Monitoreo de la calidad de las aguas superficiales: Características

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 1.

Cuadro 1. 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
Río Segundo	R1	Puente localizado entre el Aeropuerto Juan Santamaría y el centro Recreativo Ojo de Agua
	R2	Puente localizado contiguo a la Cervecería Costa Rica
Río Quebrada Seca	R3	Puente localizado frente a la empresa HP en Zona Franca American Free Zone
	R4	Puente localizado contiguo a la empresa UNILEVER
	R5	Puente localizado contiguo a la industria Rodillos Industriales, San Antonio
	R6	Puente La Amistad, carretera Belén-Santa Ana
Río Bermúdez	R7	Puente Radial
	R8	Puente Pekiss

	R9	Puente contiguo a la industria Kimberly Clark
	R10	Puente ubicado en Calle Los Tilianos
	R11	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 3 campañas de muestreo entre enero -diciembre 2013.

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 2.

Cuadro 2. Métodos analíticos empleados en la evaluación de las muestras de agua colectadas.

Variable	Método	Límite de Detección	Unidades
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	5220 D Standard Methods	6	mg O ₂ /l

Variable	Método	Límite de Detección	Unidades
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	5210 D Standard Methods	3	mg O ₂ /l
pH	4500-H ⁺ B Standard Methods	-	
Oxígeno Disuelto	4500-O Standard Methods	0,10	mg O ₂ /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 ₂ ⁻	4500-NO ₂ ⁻ Standard Methods	8	µg/l
NH ₄ ⁺	4500-NH ₃ Standard Methods	14	µg/l
Cl ⁻	4110 Standard Methods	0,10	mg/l
SO ₄ ²⁻	4110 Standard Methods	0,14	mg/l
NO ₃ ⁻	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 HNO₃ (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.

Estado de la calidad de las aguas superficiales en el año 2013: Resultados

Los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas evaluadas en cada cuerpo de agua se resumen en el cuadro 3. 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; 5 sitios como MP, y 6 sitios como HP, la mayoría de ellos estaban ubicados en las quebradas y afluentes de las zonas urbanas de alta densidad.

Principales fuentes de contaminación:

Para identificar las principales fuentes de contaminación se realizó un análisis de factor sobre los datos normalizados obtenidos para las tres zonas de contaminación. El análisis de factor es un método estadístico multivariado que se puede utilizar para describir la variabilidad entre los parámetros observados en términos de un menor número de mensurandos no observadas llamados factores (Tabachnick y Fidell. 2001). El análisis de factor se ha utilizado para evaluar una serie de indicadores de calidad del agua y su variación espacial (Wunderlin et al., 2001). Los resultados del análisis de factor junto con los tipos de fuentes probables se presentan en la Tabla 9. Según Liu et al. (2003), cargas factoriales $> 0,75$, $(0,5-0,75)$ y $(0,3-0,5)$ se consideran como fuertes, moderadas y débiles, respectivamente.

Cuadro 3. Resultados obtenidos del muestreo de los cuerpos de agua superficial que atraviesan el cantón de Belén, Año 2013.

Punto Muestreo	pH	DBO	DQO	SST	SSed	SAAM	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	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
RIO SEGUNDO																		
R-01	6,60	17	35	20,4	0,2	0,14	10,2	7,2	18,9	171	163	14,4	4,7	18,8	12,0	3,3	4,5	0,10
R-02	7,02	41	84	49,2	0,57	0,18	10,0	6,8	15,5	277	178	3,2	18,2	38,4	14,0	3,3	4,9	0,20
RIO QUEBRADA SECA																		
R-03	6,71	42	81	33,2	0,50	0,89	25	9,7	24,2	414	871	7,7	18	33,8	39,2	6,45	6,02	0,10
R-04	7,08	38	72	22,2	0,35	0,88	25,5	6,1	30,5	295	2156	12,7	22,7	27,3	44,5	6,57	5,88	0,10
R-05	7,19	18	34	12,0	0,15	0,48	16,8	13,8	19,8	472	531	23,0	41,0	18,1	14,6	4,72	10,4	0,15
R-06	7,28	20	27	12,0	0,10	0,69	18,2	13,8	20,7	516	455	11,1	17,5	17,5	34,2	4,80	7,62	0,10
RIO BERMUDEZ																		
R-07	7,14	27	90	26,0	0,32	0,76	20,2	4,8	21,5	242	3936	9,4	29,8	29,9	25,4	5,87	7,04	nd
R-08	7,09	61	120	41,5	0,45	0,74	19,3	3,65	19,8	259	1469	6,5	34,7	38,2	71,5	5,42	8,52	0,12
R-09	7,11	95	167	46,2	1,32	0,77	21,7	2,05	22,3	257	3559	14,7	40,8	43,8	39,8	8,07	12,03	0,15
R-10	6,97	128	216	54,5	2,05	1,67	23,5	0,9	23,2	239	2088	5,7	35,0	47,3	52,0	8,38	14,84	0,15
R-11	6,81	170	351	92,1	2,70	2,06	26,0	nd	28,5	105	8488	13,2	33,5	63,8	34,5	9,31	8,62	0,10

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/	mg/l	°C	mg/l
RIO SEGUNDO												
R-01	13	4,5	nd	528	0,085	7	5	205	23	7,54	22,5	9
R-02	13	6	2	783	0,085	7	8	126	4	3,90	22,8	8,7
RIO QUEBRADA SECA												
R-03	14	6,5	nd	383	0,060	5	18	1248	4	4,43	24,6	12
R-04	16	10	2	1072	0,080	6	7	1791	3	6,95	24,4	8,7
R-05	12	8	nd	614	0,080	6	14	1201	3	5,83	25,5	10,7
R-06	13	9	nd	813	0,095	15	17	1514	nd	6,44	26,4	11,0
RIO BERMUDEZ												
R-07	13	7	nd	1152	0,060	3	12	1224	5	3,13	24,9	8,5
R-08	12	8	2	2116	0,090	3	15	1205	3	3,15	24,2	12,4
R-09	6	5	2	2287	0,090	8	6	1674	5	2,55	24,2	12,0
R-10	7	6	2	1483	0,130	6	9	1485	6	2,96	24,1	11,0
R-11	8	9	4	642	0,080	10	8	2816	6	3,19	24,3	17,3

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	0,156	0,382	0,171	0,291	0
R. Segundo R02	0,102	0,197	0,327	0,374	0
R. Q Seca R03	0,086	0,123	0,272	0,393	0,126
R. Q Seca R04	0,102	0,173	0,403	0,277	0,045
R. Q Seca R05	0,132	0,299	0,312	0,236	0,021
R. Q Seca R06	0,147	0,302	0,32	0,231	0
R.Bermudez R07	0	0,005	0,449	0,402	0,144
R.Bermudez R08	0	0,001	0,402	0,331	0,266
R.Bermudez R09	0	0	0,297	0,375	0,325
R.Bermudez R10	0	0	0,213	0,405	0,381
R.Bermudez R11	0	0	0,115	0,453	0,423

En la zona de LP, se obtuvieron dos varifactores (Cuadro 5). El primer varifactor (VF1) representa el 56,1% de la varianza total, y presenta una fuerte correlación entre SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ y Cl^- que relaciona los factores naturales como la litología y tipos de suelo. El segundo varifactor (VF2) explicó el 19,4% de la varianza total e incluyó la DQO, DBO y SST. Este factor representa múltiples fuentes de contaminación y puede ser generado principalmente por la escorrentía urbana y aguas residuales industriales.

En la zona de MP, el VF1 explicó el 31,2% de la varianza total y presentó cargas fuertes en SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , Cl^- y una carga débil en K^+ y NH_4^+ . Este factor representa la contaminación difusa de origen asociado con la producción agrícola y la influencia del tipo de suelo. El VF2 explicó el 28,9%

de la varianza total y tenían cargas fuertes de DBO, Sólidos Sedimentables, SST, y moderados en el fósforo total, NH_4^+ y NO_2^- . Las correlaciones de dichos nutrientes apoya el argumento de que la eutrofización es un problema de calidad del agua en esta zona debido a la escorrentía de las aguas residuales urbanas.

En la zona de HP, el VF1 explicó sobre el 44,2% de la varianza total y tenía cargas fuertes en DQO, DBO, SST, TP, NH_4^+ y NO_2^- . Este factor podría ser interpretado como la influencia de la contaminación de fuente puntual, como los vertidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y efluentes industriales. El VF1 presentó una carga negativa muy fuerte para el oxígeno disuelto, lo que indica que la calidad del agua en la zona de HP ha sido seriamente degradada por la presencia de extensas condiciones anaeróbicas causadas por el agotamiento de oxígeno debido a la descomposición de material orgánico. El VF2 explicó 22,6% de la varianza total y tenían cargas fuertes en SO_4^{2-} , K^+ , Na^+ y Cl^- .

Cuadro 5. Resultados del análisis de factor aplicados a los datos del monitoreo

Parámetro	Contaminación Baja		Contaminación Media		Contaminación Alta	
	VF1	VF2	VF1	VF2	VF1	VF2
pH	0,012	0,234	-0,008	0,065	0,056	0,045
Turbiedad	0,837	0,696	0,563	0,749	0,219	0,392
S. Sediment	-0,005	0,087	0,004	0,855	0,408	0,089
SST	0,174	0,862	0,257	0,971	0,245	0,433
DQO	0,156	0,905	0,481	0,782	-0,146	0,959
DBO	0,190	0,928	0,328	0,707	0,301	0,917
Cloruro	0,928	0,366	0,876	0,462	0,955	-0,006
Sulfato	0,842	0,435	0,844	0,255	0,862	0,044
Nitrato	0,007	0,988	0,797	0,234	0,106	0,115
Sodio	0,957	-0,037	0,827	0,109	0,936	0,348

Parámetro	Contaminación Baja		Contaminación Media		Contaminación Alta	
Potasio	0,897	0,109	0,642	0,402	0,893	0,117
Fósforo Total	0,309	0,328	0,255	0,658	0,127	0,846
Nitrito	0,899	-0,109	0,411	0,451	0,674	0,532
Amonio	0,760	0,743	0,403	0,653	0,449	0,824
Varianza	56,1%	19,4%	31,2%	28,9%	44,2%	22,6%

Al analizar la evolución de los contaminantes evaluados en el período 2010-2013 (Cuadro 6), se puede notar que para algunos ríos como Bermúdez y Segundo se mantiene una tasa de crecimiento anual de 11,2-16,4% para DQO y 2,5-8,9% para turbiedad.

Cuadro 6. Evolución de los parámetros evaluados en los cuerpos de agua superficial del cantón de Belén, 2010-2013.

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

Conclusiones

- Un 100% de los sitios de muestreo monitoreados en los cuerpos de agua del cantón de Belén, presentan niveles de contaminación de moderado a severo. Adicionalmente se presentan un deterioro sostenido en la calidad del agua de al menos un 73% de los sitios ocasionando que en el período 2012-2013 un sitio pasará de MP a HP.
- Las principales fuentes que explican las variaciones en la composición química de los cuerpos de agua son la incorporación de minerales presentes en los suelos, arrastre de sólidos generados por fuentes de área dispersas y la descarga de aguas residuales sin tratamiento.
- Sobresalen la demanda química de oxígeno, los sólidos suspendidos totales y el amonio como las variables que presentan una mayor variabilidad y que poseen una alta influencia sobre la calidad de los cuerpos de agua superficial.
- Los niveles de contaminación en los cuerpos de agua han venido experimentado tasas positivas de crecimiento en los últimos 4 años que varían dependiendo de la variable analizada, entre un 1,2 a 16,4% anual. El incremento ha sido provocado por un mayor aporte de fuentes antropogénicas de descarga de aguas residuales.
- A partir de los resultados generados se debe revisar el modelo de regulación de la descarga de aguas residuales a cuerpos de agua existente en el país, con el fin de considerar la capacidad de autodepuración del río.
- Resulta de suma importancia desarrollar modelos de cálculo de arrastre de sólidos por escorrentía para cada cuerpo de agua superficial con el fin de identificar las áreas de intervención prioritarias.
- Se debe fortalecer los modelos de gestión de cuenca a nivel del municipio con la incorporación de inventarios de emisiones a cuerpos de agua, como mecanismos para definir las prioridades de intervención en las mismas.
- 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

Aguilar, G. 2009. Gobernanza del Agua en Mesoamérica Dimensión Ambiental: *Costa Rica*. Gland. Suiza. Editores del Puerto s.r.l. 22 p.

Albert, L. 2012. Toxicología Ambiental: *Contaminantes Inorgánicos*. México D.F. México. 2^{da}ed. Editorial LIMUSA, S.A. 101-211 p.

Alfayate, J. 2008. Contaminación Ambiental una Visión desde la Química: *Características de las Aguas Naturales*. Madrid. España. PARANINFO. 41- 62 p.

Almendros, G. 2004. Investigaciones básicas sobre el origen y la estructura molecular de las formas estables de materia orgánica relacionadas con el proceso de secuestro de Carbono en los suelos: *Biomacromoléculas y sustancias húmicas*. Revista de la sociedad española de la ciencia del suelo. 11(2): 229-248.

Arakeri, G. 2013. Evaluation of the possible role of copper ions in drinking water in the pathogenesis of oral submucous fibrosis: *A pilot study*. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 52: 24-28.

AWWA (American Water Works Association). 2012. Manual de Entrenamiento para Operadores de Sistemas de Distribución de Agua: *Aseguramiento de la Calidad del agua en Sistemas de Distribución*. Denver. Estados Unidos de América. 22 p.

Baird, C. 2004. Química Ambiental: *Índice de Dureza de una Agua Natural*. Barcelona. España. Editorial Reverté, S.A. 467 p.

Barrio, J. 2009. Química: *Determinación experimental del Ión Cloruro*. Madrid. España. EDITEX. 235 p.

Bortone, S. 2005. Estuarine Indicator: *Nekton Species Composition as a Biological Indicator of Altered Freshwater Inflow Estuaries*. Denver. Estados Unidos de América. Library of Congress. 351-353 p.

Campbell, N. 2007. Biología: *Nutrición de plantas*. Buenos Aires. Argentina. Editorial Médica Panamericana. 769 p.

Cardenas, R. 2013. Ecología: *Impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el ambiente*. Bogotá. Colombia. Ecoe Ediciones. 42 p.

Cortés, S. 2009. Diagnóstico de la Calidad del Recurso Hídrico Superficial: *Índice de Calidad del Recurso Hídrico*, ICA. Bogotá. Colombia. 8 p.

Costa Rica. Reglamento para la Calidad del Agua Potable. 10 de febrero del 2005. No. 32327-S.

Costa Rica. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales. 19 de marzo del 2007. No. 33903-MINAE-S. 4-20 p.

De León, L. Floraciones algales de agua dulce: *Cianobacterias, Cianotoxinas*. (en línea). Uruguay. Consultado: 27 de noviembre del 2014. Disponible en: http://www.produccionbovina.com.ar/agua_bebida/65-cianobacterias.pdf

Dias, J. 2009. Occurrence, distribution and abundance of *Halobates micans* Eschscholtz 1822 (*Heptora, Garridae*) along the southeastern Brazilian Coast. *Brazilian Journal of Biology* 69 (1): 67-73.

Domènech, X. Química Ambiental de Sistemas Terrestres: *Propiedades Organolépticas del Agua*. Barcelona. España. Editorial Reverté, S.A. 21 p.

Eslava, J. 2011. Patotipos de *Escherichia coli* Diarrogénica: *Estructura antigénica de Escherichia coli*. (en línea). México D.F. México. Consultado el día: 28 de noviembre del 2014. Disponible en: <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/bacteriologia/escherichia-coli.html>

Gamazo, C. 2013. Microbiología basada en la experimentación. Barcelona. España. GEA Consultoría Editorial, S.L. 32 p.

González, F. 2011. Ciencias de la Naturaleza: *Rocas Sedimentarias*. Madrid. España. EDITEX. 107 p.

González, G. 2010. Plantas tóxicas de importancia en salud y protección animal en Colombia: *Principales Sustancias Químicas presentes en las Plantas Tóxicas*. Bogotá. Colombia. Editorial Universidad Nacional de Colombia. 55 p.

González, L. 2011. Química General para las Ciencias Ambientales: *Equilibrio Ácido-Base*. Valencia. España. Edición Universitat de València 194 p.

Gordon, N. 2013. Stream Hydrology An Introduction for Ecologist: *Macroinvertebrates*. West Sussex. Inglaterra. John Wiley and sons, LTD.

- Harris, D. 2007. Análisis Químico Cuantitativo: *Valoraciones con EDTA*. Barcelona. España. Editorial Reverté, S.A. 277 p.
- Jenkins, D. 2009. Química del Agua: *Reacciones de Oxidación-Reducción*. México D.F. México. Editorial LIMUSA, S.A. 351-466 p.
- López, P. 2013. Fontanería y Uso Racional del Agua: *Tuberías de Plomo*. España. 103 p.
- Mackenzie, L. 2005. Ingeniería y Ciencias Ambientales.: *Administración de la Calidad del Agua*. México D.F. México. McGraw-Hill. 279-338 p.
- Madigan, M. 2009. Brock Biología de los microorganismos: *Principios de Microbiología*. Madrid. España. PEARSON EDUCACIÓN, S.A. 28 p.
- Metcalf y Eddy. 2014. Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery: *Wastewater Characteristics*. Nueva York. Estados Unidos de América. 5^{ta}ed. McGraw-Hill. 57-171 p.
- Montoya, C. Loaiza, D. Torres, P. Hernán, C. Escobar, J. Efecto del Incremento de la Turbiedad del Agua Cruda sobre la Eficiencia de Procesos Convencionales de Potabilización. Revista EIA. 16: 137-148.
- Moreno, A. 2007. Elementos Nutritivos: *Asimilación, funciones, toxicidad e indisponibilidad en los suelos*. Buenos Aires. Argentina. librosenred. 73 p.
- Postawa, A. 2013. Best Practice Guide on the Control of Iron and Manganese in Water Supply. London. United Kingdom. British Library. 30 p.
- Rajagopal, S. Operational and Environmental Consequences of Large Industrial Cooling Water System: *Metals*. Nueva York. Estados Unidos de América. Springer. 249 p.
- Requeña, A. 2008. Tríadas Nuevas Lecturas en Ciencia y Tecnología: *Lignina y luz*. 2^{da} ed. España. Gesbiblo, S.L. 166 p.
- Sabbagh, M. 2009. Alzheimer, Guía Práctica: *Respuestas a las cuestiones fundamentales, desde su diagnóstico hasta cómo se aplica el tratamiento*. Barcelona. España. Robin Book. 126 p.
- Sánchez, Ó. Herzig, M. Peters, E. Márquez, R. Zambrano, L. 2007. Perspectiva sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. México D.F. México. 71 p.

Sandí, W. 2010. Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica: *Cloruros*. Cuadernos de Investigaciones UNED. 2(2): 157-179.

Severiche, C. 2013. Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas: *Durezas*. Cartagenas de India. Colombia. 36 p.

Upadhyayula, V. 2009. Application of Carbon Nanotube Technology for Removal of Contaminants in drinking water. *Science of Total Environment*. 408: 1-13.

Vargas, L. 2004. Tratamiento de Agua para Consumo Humano Plantas de Filtración Rápida: *Calidad del Agua*. Lima. Perú. 1-47 p.

Weiner, E. 2013. Applications of Environmental Aquatic Chemistry: *Sulfate*. Estados Unidos de América. 3^{era}ed. Taylor and Francis Group. 527-529 p.

Wright, J. 2010. Biomonitoring with Aquatic Benthic Macroinvertebrates in Southern Costa Rica In Support of Community Based Watershed Monitoring: *SVAP Field Guide*. Ontario. Canadá. 98 p.

Cech, T. 2009. Principles of Water Sources History, Development, Management and Policy: *Ammonia*. Estados Unidos de América. 3^{era}ed. Jhon Willey and sons. 158-159 p.

Stanley, C. Environmental Setting, Water Quality, and Ecological Indicators in the Mermentau Ruver Basin, Southwestern Louisiana. *Nutrients*. Louisiana. Estados Unidos de América. USGS. 17-18 p.

Johnson, Twort`s Water Supply: *Ammoniacal Compunds*. 6^{ta}ed. ELSEVIER. 197-198 p.

Bell, J. Vulnerability of Tropical Pacific Fisheries and Aquaculture to Climate Change: *Dissolved Oxygen*. SPC. 127 p.

Hocking, M. Handbook of Chemical Technology and Pollution Control: *Dissolved Oxygen*. California. Estados Unidos de América. 3^{era}ed. Academic Press. 112-113 p.

