

Índice de calidad de agua del río Cucabaj ubicado en el municipio de Santa Cruz del Quiché, Quiché y la influencia en los costos del tratamiento de potabilización

Monica Lisett Aldana Aguilar, Elvis Edison Zacarias Laynes

Centro Universitario de Quiché, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: monicaldana11@gmail.com

Recibido: 04 de septiembre 2014 / Aceptado: 08 de octubre 2014 / Disponible en línea: 24 de noviembre 2014

Resumen

El río Cucabaj es una de las fuentes principales de agua que abastece junto a los ríos Tabil y Aguacate a 1,352 hogares del área urbana del municipio de Santa Cruz del Quiché. Este río recorre parte de los municipios de Santa Cruz del Quiché y Chiché. Es tributario del río Durazno y pertenece a esta microcuenca. En el periodo de estudio el caudal osciló entre 0.009-0.1004 m³/seg. Gran proporción de este caudal se capta y recorre alrededor de 9 km. hacia la planta de tratamiento para su potabilización ubicada en la salida a San Pedro Jocopilas. La presente investigación tiene como objetivo mostrar la variabilidad temporal del recurso hídrico, determinando el índice de calidad del agua e índice de contaminación del río Cucabaj, así como los costos de desinfección utilizando hipoclorito de calcio. El monitoreo del río fue realizado por un periodo de diez meses, de abril 2012 a enero 2013, según el índice de calidad de agua que muestra en una escala de 0-100 puntos, que suman los resultados de nueve parámetros y clasifica el agua del río Cucabaj en la categoría de media a buena (contaminada a levemente contaminada para uso humano, por lo que antes de su consumo debe de aplicarse tratamientos de potabilización). El mes con mayor caudal fue septiembre con 0.1004 m³/seg, particularidad que influyó considerablemente en presentar el valor más bajo en calidad y uno de los valores más altos en contaminación por materia orgánica. Esta característica se asocia principalmente a la presencia de coliformes totales. En cuanto a los costos de desinfección por hipoclorito de calcio, no se establecieron diferencias significativas en función de la cantidad de caudal.

Palabras claves: índices de calidad de agua, potabilización, contaminación, hipoclorito de calcio, agua superficial, caudal.

Abstract

Cucabaj River is a major source of water supplies along the Aguacate and Tabil Rivers to 1,352 households in the urban area of Santa Cruz del Quiche. This river runs through the municipality of Santa Cruz del Quiche and Chiche communities. It is a tributary of Durazno River and belongs to this watershed. In the study period the rate ranged from 0.009 - 0.1004 m³/s. A large proportion of this flow is captured and about 9 km transported to the treatment plant for purification in located in San Pedro Jocopilas. This investigation aims to show the temporal variability of water resources, determining the rates of water quality and pollution index Cucabaj River, as well as the cost of disinfection by means of calcium hypochlorite. The measurements were performed for a period of ten months, from April 2012 to January 2013. According to the water quality index which is a 100-point scale resulting of a total of nine different measurements, it was determined that the water quality of Cucabaj river is classified as moderate to good (which means that is slightly polluted to polluted for human use, so should receive purification treatment before consumption). The month with highest flow was September with rate 0.1004 m³/s, a feature that greatly influenced present the lowest value in quality and one of the highest values in organic pollution. This feature is mainly associated with the presence of total coliforms. As for costs calcium hypochlorite disinfection, no significant differences in terms of the amount of flow over other months were established.

Keywords: water quality index, water treatment, pollution index, calcium hypochlorite, surface water, flow.



Introducción

El agua es uno de los recursos naturales más importantes en la vida, influye directamente en la salud, economía familiar, alimentación y por ende en la calidad de vida de la población. Su utilización es predominante para el desarrollo humano, esencial para el consumo e insumo importante en la producción agrícola e industrial; pero los diversos usos que se le dan afectan negativamente la calidad del agua. Debido a que algunos de estos procesos pueden contribuir al desperdicio o provocar alteraciones y deterioro del recurso y que a su regreso a la fuente natural, el agua contengan elementos sustancias químicas y orgánicas que favorecen la contaminación y alteración del recurso hídrico superficial.

Lo que provoca un detrimento del recurso por acciones antrópica sumada a la que ya están sometidas de forma natural; por arrastre de material en partículas o disuelto, materia orgánica natural, escorrentía, entre otras, lo que dificulta la sostenibilidad del recurso (Torres, Cruz y Patiño, 2009).

Tener acceso al agua de buena calidad favorece el bienestar humano al igual que al desarrollo económico, la producción y la protección del medio ambiente. Contribuyendo en la mejora de la calidad de vida del individuo, incidiendo directamente en las condiciones de salubridad, economía, capacidad de generar ingresos, reduciendo gastos y pérdida de tiempo, que se invierte en buscar fuentes de agua con características deseables y trasladarlas al hogar, lo que beneficia el progreso social. Además por la vinculación directa con la pobreza, el tener acceso al agua y que esta sea de calidad puede contribuir con la ruptura del círculo vicioso de enfermedades, desnutrición derivadas de este flagelo social (Lentini, 2010).

Por lo descrito anteriormente es de suma importancia conocer el grado de deterioro de las fuentes superficiales que utilizamos para abastecer de agua a la población. Es necesario realizar estudios que nos permitan conocer la calidad y grado de contaminación de los cuerpos de agua, con la finalidad de reducir costos de potabilización, establecer programas de recuperación, control de contaminantes, mitigación de los riesgos provocados por el consumo y utilización de agua de mala calidad.

Brown et al. (1970) citado por Torres (2009) y Boulder Community Network (2005), muestra cómo se desarrolló la primera metodología para crear índices de calidad de agua debido a la necesidad de implementar un método uniforme que pudiera evaluar las cualida-

des que determinen su calidad. Esta metodología debía ser práctica y proporcionar información de los efectos desfavorables de la contaminación que pudieran afectar al ser humano y las actividades en las que se emplea. Estas medidas se transforman en valores de 0-100 para su comparación en la escala de medición, acción que beneficia la comparación de calidad de las fuentes de agua. Torres, F. (2009) indica también que el índice, permite evaluar los cambios en la calidad del agua de los ríos de forma práctica y sensible.

El índice de calidad de agua (water quality index WQI), citado por Fernández y Solano (2005, p. 43), fue desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos.

El estudio de Índices de Calidad (ICA) y de contaminación (ICO) del agua de importancia mundial de dicha universidad, detalla que la intención de determinar el ICA, es simplificar las características positivas o negativas de la fuente de agua. Por lo que se estimó un ICA para el río Cucabaj con el propósito de reconocer problemas de contaminación, debido a que es una de las tres fuentes principales de agua que abastece a más de 9,000 personas del área urbana del municipio de Santa Cruz del Quiché. Según la escala de clasificación de calidad ICA, el índice de calidad de agua del río Cucabaj determinado mensualmente durante el periodo de la investigación, se encuentra dentro de un rango de 54.78 a 79.26. La calidad del recurso se encuentra clasificado dentro de la categoría media-buena, que va de contaminada a levemente contaminada. En esta categoría se recomienda que el agua para consumo humano, se le debe aplicar algún tratamiento de potabilización para poder mejorar las características físico-químicas y biológicas nocivas. Se concluyó que la principal fuente de contaminación era la materia orgánica, resultado derivado de la cantidad de coliformes totales presentes en las muestras obtenidas.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en cuatro fases como se detalla a continuación:

La primera fase fue la planificación y recopilación de información, utilizada para el análisis de calidad del agua de fuentes superficiales. Identificando los puntos potenciales para la realización de los muestreos puntuales; para los cuales se revisaron estudios desarrollados por organizaciones vinculadas con el monitoreo de fuentes superficiales, como lo detalla el estudio Unión Mundial para la Naturaleza (2005). Los que iniciaron en abril de 2012 y finalizaron en enero de 2013, reali-

zados en la segunda o cuarta semana de cada mes, con el objetivo de obtener datos correspondientes a la época seca y lluviosa de la región.

En la segunda fase se realizó el reconocimiento del área de estudio, verificación, establecimiento y georreferenciación de los puntos de muestreo, recopilación de muestras de campo y monitoreo del caudal de agua. Se tomaron muestras de la fuente para la determinación de los parámetros que permitieron la cuantificación de la calidad mediante el ICA: se analizaron parámetros físico-químicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno, conductividad, turbiedad,

fosfatos, nitratos, sólidos disueltos) y bacteriológicos. Para la toma de datos in situ se realizaron la medición directamente en la fuente superficial. (Se tomaron tres lecturas para garantizar la fiabilidad de los datos registrados), mediante equipo multiparamétrico previamente calibrado; colocando las muestras en un recipiente o bolsas esterilizadas especiales para recolectar la muestra para el análisis bacteriológico y un recipiente esterilizado de 2 L se utilizó para la muestra del análisis físico-químico. Los recipientes se transportaron en un contenedor tipo hielera acondicionada para mantener la temperatura de conservación de las muestras y evitar

Tabla 1
Metodología utilizada para determinación de parámetros para los ICA

Parámetro	Tipo	Monitoreo	Métodos y técnicas aplicadas. Hach Company (2000)	Presentación de resultados
Temperatura	Físico	In situ	Termometría (por medio de sonda)	°C
pH	Físico	In situ	Espectrofotometría, mediante un electrodo selectivo (pH metro).	unidades
Oxígeno disuelto	Química	In situ	Electrometría mediante un electrodo de membrana	mg/L
Conductividad eléctrica	Físico	In situ	Electrometría (por medio de un electrodo conductimétrico)	µS/cm
Porcentaje de saturación de oxígeno	Química	In situ	Electrometría (por medio de electrodo)	%
TDS	Físico	In situ	Electrometría (por medio de sonda)	mg/L
Nitratos	Química	Laboratorio	Espectrofotometría (reducción de cadmio)	mg/L
Turbiedad	Físico	Laboratorio	Turbidímetro (Nefelometría -Unidad Nefelométrica de Turbidez)	UNT
Fosfatos	Química	Laboratorio	Espectrofotometría (método de ácido ascórbico)	mg/L
Sólidos disueltos	Físico	Laboratorio	Filtración y desecación (gravimetría)	mg/L
DBO	Química	Laboratorio	Incubación (medición con electrodo de membrana).	mg/L
Coliformes totales y fecales	Bacteriológico	Laboratorio	Fermentación en tubos múltiple (pruebas presuntivas y confirmativas Numero más probable en 100mL)	NMP
Cloro libre y total	Química	Planta de tratamiento (tanque de cloración y distribución) in situ	Espectrofotómetro y colorimetría	mg/L

variaciones en los parámetros en su traslado al laboratorio, en esta fase se tomaron valiosos aportes del estudio realizado por [Ramírez \(2003\)](#).

La tercera fase fue el análisis de muestras en el laboratorio, incluyo la recopilación e interpretación de la información obtenida mensualmente.

Las muestras fueron remitidas al laboratorio unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina de la Facultad de Ingeniería de la USAC. Se utilizó el método estándar para el análisis de agua y aguas residuales publicado para la Asociación de Salud Pública de EE.UU en [APHA, AWWA & WPCF \(1989\)](#) para los análisis correspondientes. El método utilizado fue analítico aplicando varias técnicas para la determinación de parámetros.

En la cuarta y fase final se conformó el informe final integrando el análisis e interpretación global de la información.

En la presente investigación se aplicó muestreo discrecional, para determinar puntos de monitoreo, los cuales se seleccionaron estratégicamente en áreas representativas para el estudio. Se seleccionó un punto de muestro para la determinación de ICA, tres puntos de muestreo para los análisis físico-químicos y bacteriológico, dos puntos de muestreo para la medición de cloro y tres puntos para determinación del caudal y las perdidas en sus distintas etapas como se detalla en la Tabla 2.

Se utilizaron curvas de función elaboradas en otros estudios y graficadas a través del uso de media aritmética con un límite de confianza del 80%, para

determinar índices de calidad de agua por medio de una suma lineal ponderada.

Índice de calidad de agua

Krenkel & Novotny (1980), citado por [Jiménez, y Vélez \(2006\)](#), indica que para estimar el índice de calidad de agua, WQI_{NSF} , se utilizan factores de ponderación para cada una de las variables:

$$WQI = \sum_{i=1}^9 W_i \times Q_i$$

Dónde:

WQI: Índice de calidad de agua.

W_i : Factor de importancia o ponderación de la variable i respecto a las restantes variables que conforman el índice (ver Tabla 3).

Q_i : Corresponden al factor de escala de la misma.

Esta metodología fue utilizada también en estudios como el de [Moraña, Salusso y García \(2002\)](#), y comparada con otras metodologías concluyendo que es una metodología integral para determinación de índices de calidad de agua en el estudio realizado por [Torres P. Cruz y Patiño \(2009\)](#).

Tabla 2
Puntos de muestreo

Punto de muestreo	Selección del área	Parámetros de medición
Río Cucabaj	Se escogió un área en la cual ya existiera una corriente y movimiento continuo del agua entre el nacimiento del río y el área de captación hacia la planta de tratamiento de agua. La muestra se tomó a una distancia aproximada de 1 km del nacimiento de la misma	Físico, químico, bacteriológico y caudal. ICA
Desarenador	Se calculó el caudal de entrada del río hacia la planta de tratamiento de agua.	Caudal.
Entrada a la planta de tratamiento	Se tomó la muestra en el flujo de agua que proviene de la tubería que la transporta desde la fuente natural hacia la planta de tratamiento, previo a que se mezcle con el agua de otros ríos.	Físico, químico, bacteriológico y caudal.
Tanque de cloración	Se tomó la muestra después de que se realizara el proceso de cloración.	Cloro
Tanque de distribución	Se tomaron muestras en el tanque de distribución previo al ingreso a la tubería.	Bacteriológicos, cloro y caudal

Tabla 3
Ponderación de los parámetros de calidad de agua

Parámetro	Factor
Porcentaje de saturación de oxígeno	0.17
Coliformes fecales	0.16
pH	0.11
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
Temperatura	0.10
Turbiedad	0.08
Sólidos disueltos	0.07

Nota. Adaptado de "Índice de Calidad de Agua (ICAs) e Índices de Contaminación (ICOs) de Importancia Mundial" por N.J. Fernández y F. Solano, 2005, *Índices de calidad y de contaminación del agua* .

Tabla 4
Clasificación de calidad de agua en función del índice WQI_{NSF}

Valor del índice	Clasificación de calidad
0-25	Muy mala
26-50	Mala
51-70	Media
71-90	Buena
91-100	Excelente

Nota. Adaptado de "Índice de Calidad de Agua (ICAs) e Índices de Contaminación (ICOs) de Importancia Mundial" por N.J. Fernández y F. Solano, 2005, *Índices de calidad y de contaminación del agua* .

Índice de contaminación

Los índices de contaminación tienen un rango de variación de 0 a 1, 0 indica baja contaminación y 1 alta contaminación.

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO). Incluye variables como oxígeno, DBO_5 , y coliformes totales y fecales (Jiménez y Vélez, 2006, p. 64).

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{\text{Coliformes totales}} + I_{\text{Oxígeno\%}})$$

Tabla 5
Clasificación de la calidad de agua en función de los índices de contaminación

Valor del índice	Clasificación de contaminación
0.8-1.0	Muy alta
0.6-0.8	Alta
0.4-0.6	Media
0.2-0.4	Baja
0.0-0.2	Muy baja

Nota. Adaptado de "Índice de Calidad de Agua (ICAs) e Índices de Contaminación (ICOs) de Importancia Mundial" por N.J. Fernández y F. Solano, 2005, *Índices de calidad y de contaminación del agua* .

Dónde:

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 \log_{10} [DBO(\text{g/m}^3)]$$

$$I_{\text{COL.TOT}} = -1.44 + 0.56 \log_{10} [\text{Col Tot}(\text{NMP})]$$

$$I_{\text{Oxígeno\%}} = 1 - 0.01 \text{ Oxígeno}(\%)$$

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS). Sólo utiliza una variable para su cálculo (valor de sólidos suspendidos) y su fórmula general es (Jiménez y Vélez, 2006, p. 64):

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 \text{ sólidos suspendidos } (\text{g/m}^3)$$

Dónde:

Sólidos suspendidos por encima de 340 g/m^3 tienen un $ICOSUS = 1$

Sólidos suspendidos por debajo de 10 g/m^3 tienen $ICOSUS = 0$

Índice de contaminación por mineralización ICOMI expresado por variables, de conductividad, dureza y alcalinidad. Los valores muy bajos cercanos a cero reflejan baja contaminación por mineralización y cercanos a uno lo contrario (Jiménez y Vélez, 2006, p. 64):

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{\text{Conductividad}} + I_{\text{Coliformes totales}} + I_{\text{Alcalinidad}})$$

Dónde:

$$\ln(I_{\text{Conductividad}}) = -3.26 + 1.34 \ln [\text{Conductividad } (\mu\text{S/cm})]$$

Para esta variable hay que tener en cuenta que conductividades mayores a 270 $\mu\text{S/cm}$, se les asigna el valor de 1.

I_{Dureza} se obtiene:

$$\ln(I_{\text{Dureza}}) = -9.09 + 4.40 \ln [\text{Dureza}(\text{mg/L})]$$

Se debe tener en cuenta que:

Dureza mayor a 110 mg/L tiene un valor de 1 ($I_{\text{Dureza}} = 1$)

Dureza menor a 30 mg/L tiene valor de 0 ($I_{\text{Dureza}} = 0$)

$I_{\text{Alcalinidad}}$ se obtiene:

$$I_{\text{Alcalinidad}} = -0.25 + 0.005 \text{Alcalinidad}(\text{mg/L})$$

Para esta variable se debe tener en cuenta:

Alcalinidades mayores a 250 mg/L tienen un valor de 1 ($I_{\text{Alcalinidad}} = 1$)

Alcalinidades menores a 50mg/L tienen un valor de 0 ($I_{\text{Alcalinidad}} = 0$)

Determinación de cloro total y cloro residual

Para la determinación del medio de desinfección, y la cuantificación de cloro en el agua existen diversos estudios sobre la determinación de este parámetro en los procesos de potabilización, como lo muestra la Organización Mundial de la Salud (2009) el cual indica que para comprobar el buen funcionamiento y la efectividad de aplicación del cloro se debe medir el cloro residual inmediatamente después de que se ha añadido por el sistema de cloración y el cloro total después de un periodo corto de tiempo.

Determinación de costos por desinfección en tratamiento de cloración

Se cuantificaron el número de pastillas de hipoclorito de calcio utilizadas, recopilando la información de las bitácoras de la planta de tratamiento de aguas en donde se describe la cantidad de pastillas que se aplicaron diariamente y se cuantificó el costo de la cantidad

total utilizada por mes, determinado el costo mensual de las cubetas del producto utilizado en la planta de tratamiento para la desinfección.

Ubicación del área de estudio río Cucabaj

Según la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), el río Cucabaj recorre parte de los municipios de Santa Cruz del Quiché y Chiché, es tributario del río Durazno y pertenece a la microcuenca del mismo nombre. Es uno de los principales ríos del cual la municipalidad de Santa Cruz del Quiché extrae agua que sirve para abastecer de agua potable a una parte de la población de este municipio; el agua es captada de la fuente superficial y trasladada a la planta de tratamiento ubicada en la salida del municipio hacia el municipio de San Pedro Jocopilas, en donde recibe tratamientos de potabilización conjuntamente con el río Tabil y Aguacate. (2010).

Planta de tratamiento de agua potable

Está ubicada en la salida al municipio de San Pedro Jocopilas, al final de la zona 2 de Santa Cruz del Quiché. El sistema de tratamiento cuenta con una capacidad de 40 L/s. El sistema de desinfección es a través de hipoclorito de calcio en presentación de pastillas.

Resultados

Clima

Según los datos que se tomaron en la estación hidrométrica ubicada en el municipio de Santa Cruz del Quiché entre los meses de abril de 2012 y enero del 2013 la temperatura mínima fue de 13.69 °C en el mes de noviembre y la máxima de 16.92 °C. En el mes de mayo 2012, la precipitación máxima se dio en el mes de agosto 2012 con 230.8 mm y la mínima 8.7 mm en el mes de enero 2013.

Caudal

En el río Cucabaj el máximo caudal que se presentó en el periodo de estudio, fue reportado en el mes de septiembre 2013 con 0.1004 m³/s. de agua y el mínimo caudal reportado se mostró en los meses de abril y mayo del 2012 reportando el mismo caudal de 0.009 m³/s.

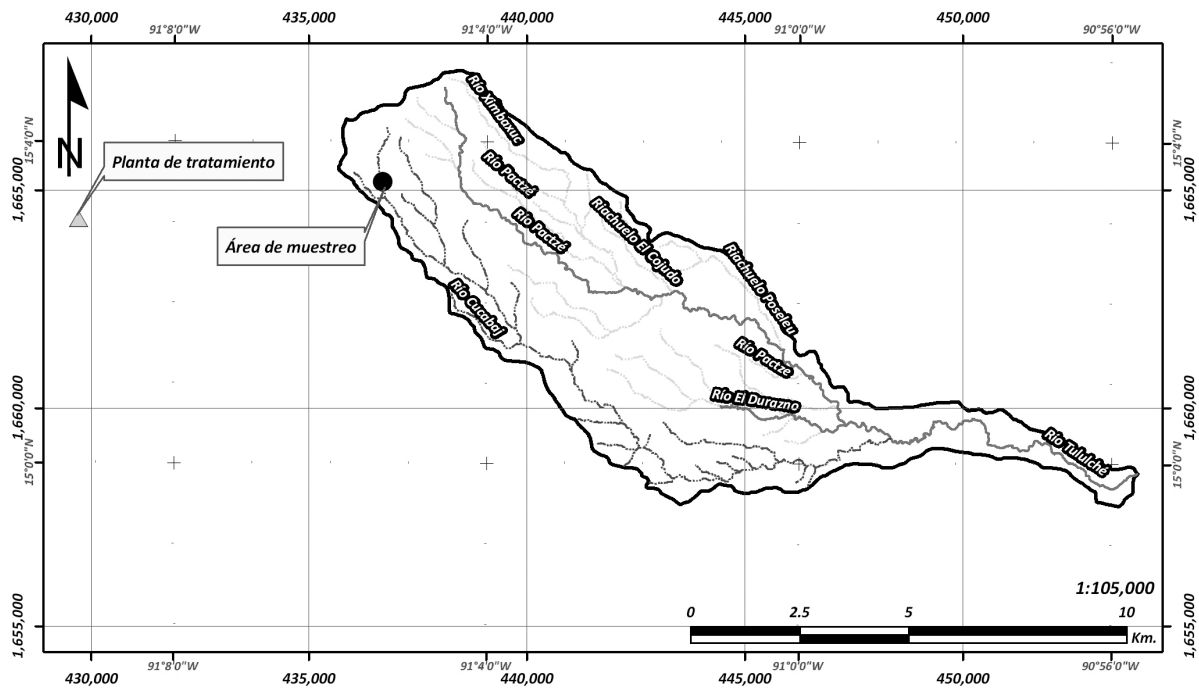


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en relación de la cuenca en del río El Durazno (área de estudio).

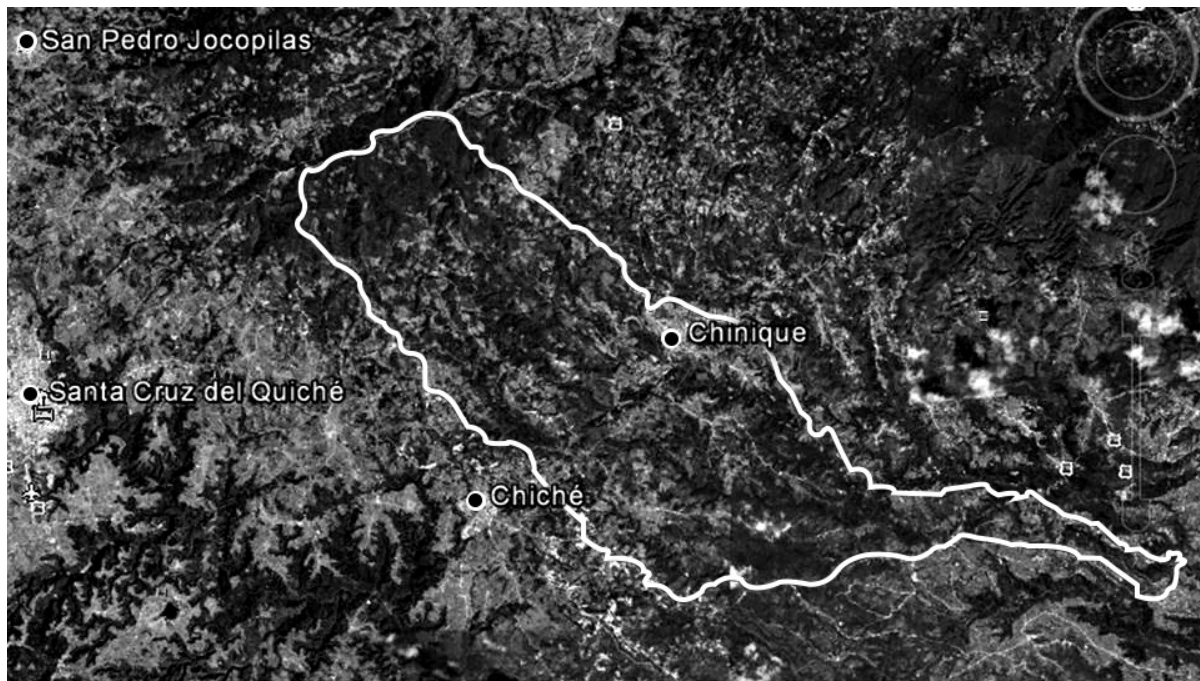


Figura 2. Ubicación geográfica de la cuenca hidrográfica El Durazno donde tributa el río Cucabaj (área de estudio).

Tabla 6
Resultados mensuales de parámetros muestreados

Parámetro	Abril 2012	Mayo 2012	Junio 2012	Julio 2012	Agosto 2012	Septiembre 2012	Octubre 2012	Noviembre 2012	Diciembre 2012	Enero 2013
Aspecto	Clara	Clara	Turbia	Ligera- mente turbia	Ligera- mente turbia	Turbia	Ligera- mente turbia	Ligera- mente turbia	Clara	Clara
Color	12	17	40	38	24	63	29	17	<1	<1
Turbiedad	5.24	6.88	26.60	27.50	17.20	42	14	7.69	5	<5
Olor	Ino- dora	Ino- dora	Inodora	Ligera- mente a materia orgánica	Ligera- mente a materia orgáni- ca	Ligera- mente a materia orgánica	Ligera- mente a materia orgánica	Ligera- mente a materia orgánica	No recha- zable	No recha- zable
pH campo	6	6.5	6.37	6	6.51	6.1	6.5	6.9	6.62	6.6
pH laboratorio	7.12	7.2	7.12	7.27	6.78	6.49	7.02	7.52	7.7	7.4
T°	15.2	15.3	15.5	15.1	15	14.9	14.9	13.4	12	14
Conductivi- dad eléctrica de campo	50	60	41.3	37.1	37.95	36.2	43.2	42.7	45.75	52.8
TDS			19.2	17.2	17.65	16.85	20.2	19.9	21.4	24.7
Oxígeno disuelto	6.10	5.10	8.62	7.33	7.38	8.19	8.2	7.40	7.44	6.55
% de saturación de oxígeno	80.26	67.10	112.4	94.7	96.3	106	103	92.94	90.7	85.38
Amoniaco	0.1	0.11	0.38	0.36	0.19	0.25	0.20	0.24	----	-----
Nitritos	0.017	0.019	0.056	0	0	0	0	0	<0.01	<0.01
Nitratos	2.20	2.86	18.20	15.40	9.21	8.14	5.50	1.10	7	1.16
Manganeso	0.031	0.021	0.064	0.072	0.035	0.050	0.030	0.037	----	<0.01
Cloruros	8.50	10.50	9.50	9.00	12.5	7	10	9	<2.5	<2.50
Fluoruros	0.29	0.23	0.24	0.01	0.14	0	0.01	0.09	-----	-----
Sulfatos	1	2	---	10	4	1	3	0	<0.90	4.92
Hierro total	0.19	0.40	0.62	0.65	0.32	1.17	0.50	0.22	0.30	0.16
Dureza total	26	26	36	44	38	38	30	24	18.8	18.4
Sólidos totales	66	54	58	48	54	60	56	74	---	---
Sólidos volátiles	11	16	21	14	24	31	30	30	----	----
Sólidos fijos	55	38	37	34	30	29	26	44	----	----

(Continúa)

Tabla 6
Resultados mensuales de parámetros muestreados (continuación)

Parámetro	Abril 2012	Mayo 2012	Junio 2012	Julio 2012	Agosto 2012	Septiembre 2012	Octubre 2012	Noviembre 2012	Diciembre 2012	Enero 2013
Sólidos en suspensión	3	4	8	4	6	9	9	7	---	---
Sólidos disueltos	32	33	23	22	21	20	23	24	---	---
Bicarbonatos	40	44	30	22	28	28	30	30	----	----
Alcalinidad total	40	44	30	22	28	28	30	30	---	---
Fosfatos	1.6	0.1	0.80	0.1	0.13	1.39	0.28	0.35	0.4	0.5
DBO	7.03	3.15	3.25	5.07	3.90	3	5.35	3.80	<6	<6
Coliformes totales	900	170	>16x10 ²	> 16 x 10 ³	>16x 10 ²	>16x10 ³	>16x10 ³	>16x10 ²	210	540
Coliformes fecales	170	80	17	21	140	>16x10 ³	9	<2	150	33
Salinidad			0	0	0	0	0	0.1	0.1	0

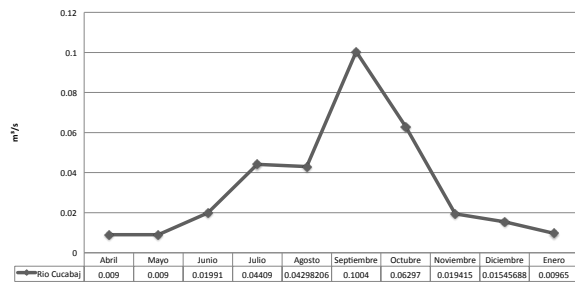


Figura 3. Caudal del río Cucabaj.

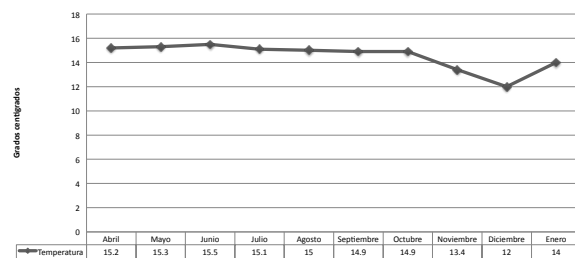


Figura 4. Temperatura del río Cucabaj.

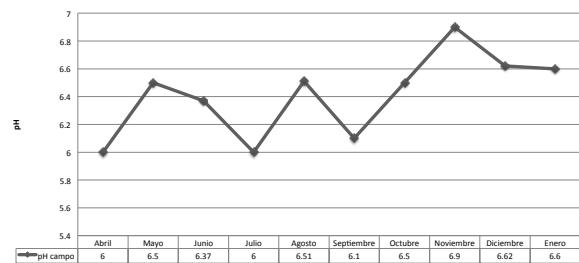


Figura 5. Potencial de hidrógeno del río Cucabaj.

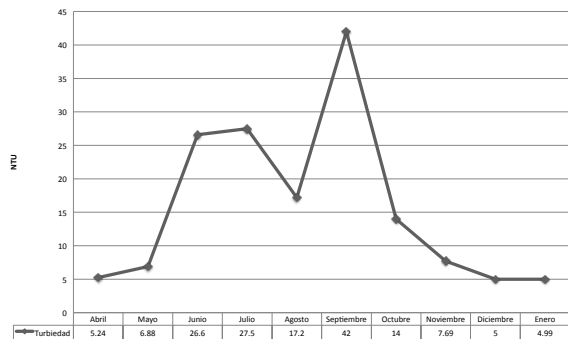


Figura 6. Turbiedad del río Cucabaj.

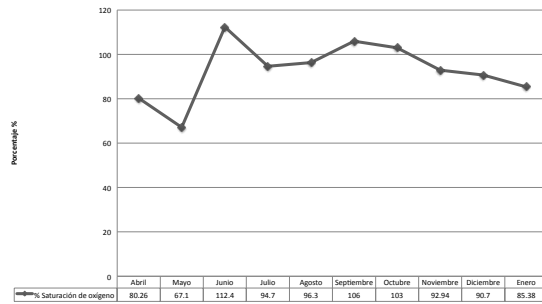


Figura 7. Porcentaje de saturación de oxígeno del río Cucabaj.

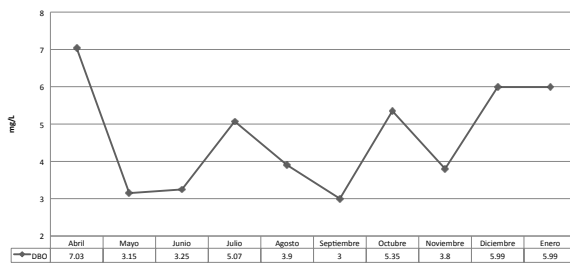


Figura 8. Demanda bioquímica de oxígeno del río Cucabaj.

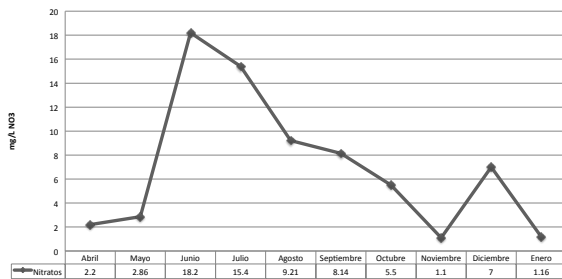


Figura 9. Nitratos del río Cucabaj.

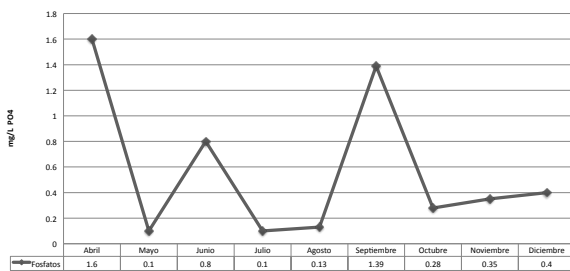


Figura 10. Fosfatos del río Cucabaj.

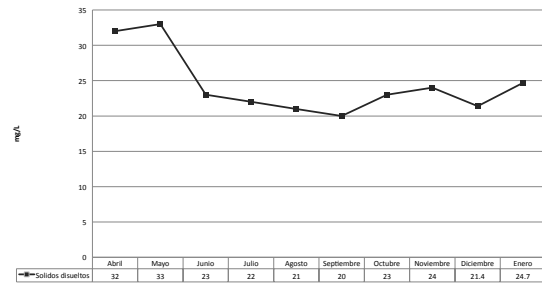


Figura 11. Sólidos disueltos del río Cucabaj.

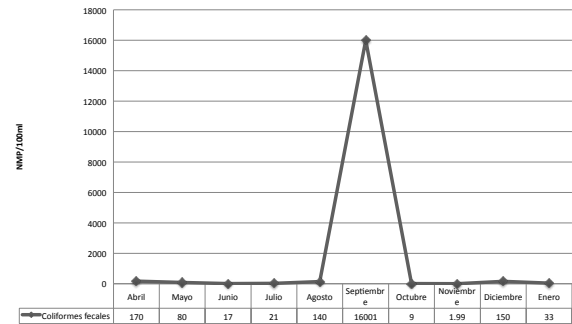


Figura 12. Coliformes fecales del río Cucabaj.

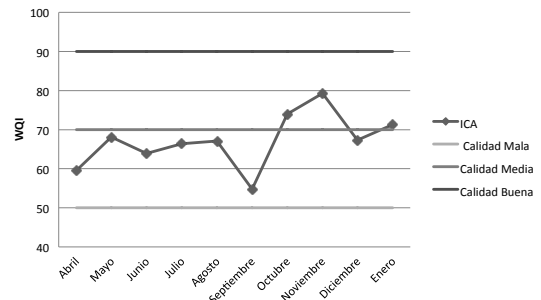


Figura 13. Índice de calidad de agua del río Cucabaj.

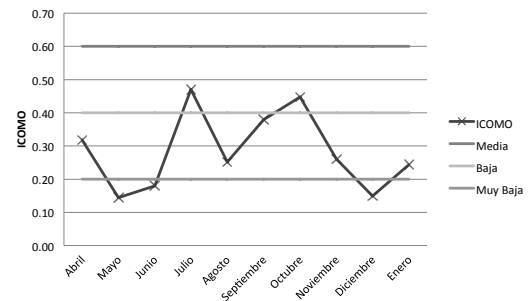


Figura 14. Índice de contaminación por materia orgánica del río Cucabaj.

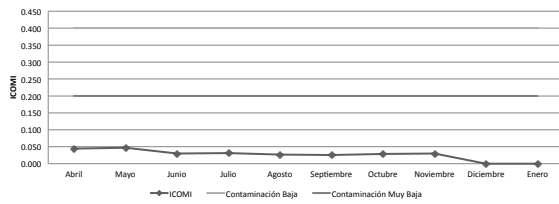


Figura 15. Índice de contaminación por mineralización.

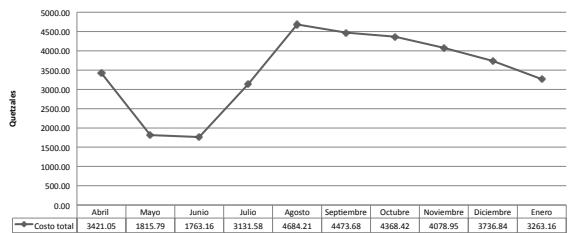


Figura 16. Costos de cloración.

Tabla 7
Sólidos suspendidos para determinación de índice de contaminación

Parámetro	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Sólidos suspendidos	3	4	8	4	6	9	9	7	—	—
ICOSUS	0	0	0	0	0	0	0	0	---	--

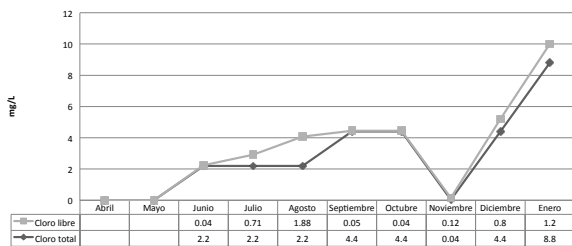


Figura 17. Cloro libre y total.

Discusión

Temperatura

La temperatura del río Cucabaj durante el estudio osciló entre los 12 y 15.5 °C, la menor temperatura se presentó en el mes de diciembre y la mayor en el mes de junio. Estos son valores satisfactorios debido a que temperaturas mayores a 15°C favorecen el desarrollo de microorganismos e intensifican los olores y sabores.

pH

El pH del río Cucabaj se encuentra entre 6 y 6.9, reportándose el valor más alto en el mes de noviembre y los más bajos en abril y julio, estos son valores de pH que reflejan aguas de condiciones neutras a ligeramente ácidas.

Turbiedad

Este parámetro indica la cantidad de partículas minerales y orgánicas que se encuentran en suspensión, que interfieren el paso de la luz solar, lo que aumenta la temperatura del agua y contribuye a bajar la concentración de oxígeno, las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos. Estos valores se encuentran influenciados por sedimentos procedentes de la erosión y descargas. Los valores de turbiedad presentes en el río Cucabaj tienen su principal impacto en el aspecto estético del agua debido a que da la apariencia de estar sucia por lo que es esencial eliminarla para desinfectar efectivamente, el tratamiento añade un costo extra en el proceso de tratamiento del agua. En este caso se realiza por medio de sulfato de aluminio como floculante en la purificación del agua en el proceso de potabilización.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Este parámetro se encontró entre 3 a 5.99 mg/L, que indica que los datos se encuentran dentro del rango de clasificación de buena calidad (aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable) según la concentración de DBO; la excepción fue el mes de abril, que presentó el dato más alto de 7.03 mg/L, que lo ubica dentro del rango de aceptable, aguas superficiales con indicio de contaminación, pero con capacidad de autodepuración.

Porcentaje de saturación de oxígeno

El nivel de saturación de oxígeno es la máxima concentración de oxígeno disuelto que puede presentarse en el agua. Los porcentajes más bajos se observaron en el mes de mayo con 67.1% y el más alto en junio, con 112.4%. Este parámetro es influenciado por la temperatura; en aguas frías la concentración del mismo puede ser más alta, los porcentajes altos indican ecosistemas saludables. La cantidad de oxígeno reportada en el río Cucabaj, se encuentra en los parámetros adecuados para proveer condiciones favorables para las especies existentes en el mismo así como la degradación de materia orgánica. La saturación de oxígeno indica que el río se encuentra en buenas condiciones a excepción del mes de junio que reporta una leve sobresaturación lo que podría deberse a las altas condiciones de materia orgánica en ese mes.

Nitrato

Como se observa en la figura 9 la mayor concentración de nitrato se presentó en el mes de junio, esto posiblemente derivado de la utilización de excretas de animales en áreas cercanas al cauce del río. El valor más bajo reportado es de 1.1 mg/L en el mes de noviembre, los más altos se encuentran en los meses de junio y julio con 18.2 y 15.4 mg/L, respectivamente. Por lo que se debe poner especial cuidado para su tratamiento, debido a que podría provocar problemas de salud especialmente en los niños.

Fosfatos

En la Figura 10 se puede observar que el valor más alto de fosfatos presentes fue de 1.6 mg/L en el mes de abril, los valores más bajos fueron reportados en los meses de mayo y julio con 0.1 mg/L. Estos valores indican que existe una leve contaminación por residuos de detergentes y/o fertilizantes derivados de las actividades antrópicas que se realizan en las cercanías del río, identificando dentro de las principales causas la presencia de animales de pastura, actividades agrícolas y descargas de aguas domésticas en el área.

Sólidos disueltos

En el río Cucabaj los sólidos disueltos se encontraron entre 20 y 33 mg/L reportando la menor concentración en el mes de mayo y la mayor en el mes

de septiembre. Según la estacionalidad de las épocas marcadas en el país, seca y lluviosa, al finalizar la primera en los meses de abril y mayo los sólidos disueltos aumentaron; y en los meses lluviosos de junio a octubre disminuyeron. Esto debido a que a bajos flujos, el agua se obtiene de las reservas con una relativa alta concentración de sólidos disueltos, debido a encontrarse durante mucho tiempo dentro del suelo y las rocas. En contraste, si el caudal es elevado, la mayoría de agua se traslada rápidamente por el río y tienen menos oportunidad para que el soluto se incorpore a la disolución.

Coliformes fecales

El número más probable de coliformes fecales tiene el nivel más bajo en el mes de junio (17 NMP) y el más alto en el mes de septiembre (>16,000 NMP); este es un parámetro que nos brinda información que puede indicar la necesidad de aplicar tratamientos de potabilización al recurso hídrico; de no hacerlo podría provocar enfermedades gastrointestinales en el consumidor.

Cloro total y residual

Las mediciones se realizaron después de añadido el cloro por medio del sistema de cloración con el que cuenta la planta de tratamiento. Con la finalidad de constatar si el procedimiento de cloración fue apropiado. Se realizaron las mediciones después de añadido el cloro, por medio del sistema de cloración con el que cuenta la planta de tratamiento. Se determinó que el mismo funcionaba adecuadamente, a excepción del mes de noviembre, debido a que el día que se muestreó, el sistema se encontraba apagado.

Se tomaron datos de cloro total y cloro residual. El cloro total se subdivide en: cantidad de cloro que va a reaccionar con iones nitratos y que por lo tanto, no representa una cantidad disponible para desinfección (cloro combinado) y cloro residual o cloro libre que representa la concentración de cloro disponible para inactivar los microorganismos causantes de enfermedades.

Al analizar la muestra se determinó que cuando se le agregó cloro al agua inmediatamente no presentó cloro libre debido a que el cloro reacciona con los compuestos minerales presentes y posteriormente inicia su incremento; razón por la cual el valor de cloro residual mostrado fue tan bajo. Es importante mencionar que es buena práctica el mantener un cloro residual libre de 0.2 a 0.3 mg/L después de 10 minutos de contacto. Considerando lo anterior los niveles de cloro residual de

los meses de junio, septiembre, octubre y noviembre se encuentran por debajo del nivel establecido lo que nos indica que la cantidad de cloro aplicada no es suficiente para que esta pueda llegar hasta el consumidor final; en condiciones de desinfección adecuada por lo que esta se debe de verificar recalculando para una buena aplicación del cloro previo a la distribución a la población. Con respecto a los niveles de cloro total se encuentran sobre el nivel adecuado a excepción de noviembre que el sistema de cloración se encontraba apagado.

Costos de cloración. La cantidad de pastillas de hipoclorito de calcio utilizadas durante el periodo de estudios no tuvo una variación considerable mes a mes. Presentando un costo promedio mensual durante el proyecto de Q.3, 473.68, por lo que la diferencia en costos no fue representativa, a excepción de los meses de mayo (Q.1,815.79) y junio (Q.1,763.16) que la cantidad fue menor con respecto a los otros meses. Esto influenciado principalmente por el mantenimiento de la tubería que se dio en estos meses, lo que provocó la reducción del caudal en la entrada a la planta de tratamiento; la inversión total durante el proyecto fue de Q.34,736.84.

Índice de calidad de agua WQI_{NSF}

El índice de calidad de agua del río Cucabaj se encuentran dentro de un rango WQI 54.785 a 79.262 reportando el menor valor con respecto a la calidad en el mes de septiembre y el mayor valor con respecto a la calidad el mes de noviembre. Dentro de la clasificación de calidad la mayoría de los meses se encuentran dentro de un rango de calidad medio; tomando en cuenta que el uso es para agua potable, se considera contaminada, por lo que para su utilización necesita tratamiento de potabilización. Solamente los meses de octubre, noviembre y enero se encuentran dentro del rango de clasificación de calidad buena, pero bajo el criterio de uso para consumo humano, se considera levemente contaminada, por lo que no es recomendable utilizarla sin purificación.

Índice de contaminación por materia orgánica

El índice de contaminación por materia orgánica se encuentran dentro del rango de 0.14 para el mes de mayo y 0.47 para el mes de julio lo que determina una contaminación muy baja a media; encontrando que los meses de mayo, junio y diciembre se clasifican en la categoría de muy baja por materia orgánica, los meses de

abril, agosto, septiembre, noviembre y enero muestran una contaminación baja; y contaminación media en los meses de julio y octubre.

Índice de contaminación por sólidos suspendidos

Del mes de abril a noviembre el índice de contaminación por sólidos suspendidos es 0 por lo que se considera que su contaminación es muy baja; para los meses de diciembre y enero no se determinaron los sólidos suspendidos y por ende el índice, debido al cambio de laboratorio, esto por el cese de labores en el laboratorio de la universidad por periodo de vacaciones, y el nuevo laboratorio no realizaba este tipo de análisis.

Índices de contaminación por mineralización

Los índices de contaminación por mineralización se encuentran dentro de un rango de 0.026 para septiembre a 0.047 para el mes de mayo; indicando que para el periodo de estudio del mes de abril a noviembre su clasificación es contaminación muy baja; para los meses de diciembre y enero no se pudo determinar la alcalinidad por la razón antes mencionada.

Agradecimiento

Este proyecto fue financiado por la Dirección General de Investigación (proyecto 4.8.63.2.32). Agradecemos al personal de la municipalidad de Santa Cruz del Quiché, al Ing. Carlos Lux y grupo de fontaneros a su cargo por el acompañamiento y colaboración en la realización de esta investigación. También el apoyo recibido por el personal administrativo y autoridades del Centro Universitario de Quiché y al personal del Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina de la Facultad de Ingeniería de la USAC por la comprensión, atención y colaboración en la realización de la presente investigación.

Referencias

American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, American Public Health Association (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C.: Author.

- Boulder Community Network. (2005). *National sanitation foundation water quality index*. Boulder: Autor. Recuperado de: http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/wqi_nsf.html
- Díaz, L. (2010). *Estudio comparativo de índices de calidad del agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio río Loa*. (Tesis de Maestría). Universidad Católica del Norte, Chile. Recuperado de http://www.llave.connmed.com.ar/personalizaciones/noticias_archivos/21288.pdf
- Fernández, N.J. y Solano, F. (2005). Índice de Calidad de Agua (ICAs) e Índices de Contaminación (ICOs) de Importancia Mundial. En Autor (Eds.), *Índices de calidad y de contaminación del agua* (pp. 43-113). Pamplona, Colombia: Vicerrectoría de Investigación.
- Hach Company (2000). *Manual de análisis de agua*. Loveland, CO: Autor.
- Jiménez, M. y Vélez, M. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en Recursos Hidráulicos*, (14), 63-69.
- Lentini, E. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Moraña, L.B., Salusso, M.M. y García, M.O. (2000). Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del Río Grande (Alta Cuenca del Bermejo, Jujuy). En *memorias del XVIII Congreso Nacional del Agua* (pp. 285- 287). Santiago del Estero, Argentina.
- Organización Mundial de la Salud. (2009). *Medición del cloro residual en el agua. (Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud)*. Washington, D.C.: Autor. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/texcom/desastres/opsguia11.pdf>.
- Ramírez, J. (2003). *Línea base en calidad de agua para la cuenca del río Valdivia*. (Tesis de Licenciatura). Departamento de Ingeniería Geográfica, Universidad de Santiago de Chile, Chile. http://www.digeo.cl/doc/Ramirez_Pavez_Jeanett.pdf.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2010). *Plan de desarrollo Santa Cruz del Quiché, Quiché*. Guatemala: Autor. Recuperado de http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com_k2&view=item&id=279:plan-de-desarrollo-del-municipio-de-santa-cruz-del-quich%C3%A9.
- Torres, F. (2009). *Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos en Puerto Rico*. (Tesis de master inédito). Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico. Recuperado de http://prwreri.uprm.edu/publications/PR_2009_01.pdf
- Torres, P., Cruz, C. y Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 8(15), 79-94.
- Unión Mundial para la Naturaleza. (2005). *Plan de monitoreo para sistemas de abastecimiento del río o nacimiento en el sur de Ahuachapán, El Salvador, C.A. (Proyecto Manejo integrado de cuencas asociadas al complejo hidrográfico El Imposible-Barra de Santiago, Ahuachapán, El Salvador)*. El Salvador: Autor. Recuperado de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2005-123.pdf>.