

# Calidad de cuerpos receptores de agua, según el Índice Holandés de Valoración, en la Cuenca del Bebedero, Guanacaste

*María F. Arias Araya*<sup>1</sup>

## Resumen

Se evaluó la condición natural de los principales afluentes de la Cuenca de Bebedero con el fin de generar información sobre el estado actual del Recurso. El estudio fue realizado en la parte alta y media de la Cuenca, se aplicó el Índice Holandés de Valoración para cada punto de muestreo según lo establecido en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de los Cuerpos de Agua Superficiales. Para esta valoración se evaluaron nueve sitios de muestreo en un total de doce muestreos durante los años 2014, 2015, 2016. En cada año se realizaron cuatro tomas de muestra: en época seca (abril), en transición seca-lluviosa, en época lluviosa y en transición lluviosa seca en los cuales se evaluó el PSO (%), la DBO (ppm) y el N-NH<sub>3</sub> (ppm). Se encontró que los puntos localizados en la parte media de la cuenca son los más vulnerables debido a los efectos de contaminación difusa derivada de la escorrentía y actividades agropecuarias, la calidad de aguas en la cuenca presenta variación temporal y espacial, sobre todo cuando los puntos son más cercanos a áreas socioeconómicas.

Palabras clave: Calidad de Agua, Índice Holandés, Cuenca Bebedero, Aguas superficiales

## Introducción

El agua es un eje integral que enlaza implicaciones para la vida humana, las actividades productivas y la integridad ecológica, su estudio y la relación entre los diferentes sectores son imprescindibles para su adecuada administración. Según la Dirección de Aguas del MINAE (Programa Estado de la Nación, 2015), en Costa Rica existe un aprovechamiento de aguas que oscila en un 56, 3%, referente a las cuatro principales cuencas: Grande de Tárcoles, Tempisque, Grande de Térraba y Bebedero, a esta última se le atribuye un 8,5% de volumen de agua aprovechado que corresponde en su mayoría a aguas superficiales. A pesar de su aprovechamiento, en el territorio costarricense se ha evidenciado la carencia de información y el mal manejo de las aguas como factores limitantes en la generación de conocimiento y gestión del recurso (Programa Estado de la Nación, 2015). Costa Rica, al igual que otros países, está en un proceso de reforma de su marco jurídico e institucional, así como la revisión de la Política Hídrica dando continuidad a procesos ya iniciados en años anteriores y actualizándolos para transitar hacia una gestión adecuada de sus recursos hídricos, congruente con las prácticas y principios emanados de la experiencia nacional e internacional (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, 2009)

La articulación de procesos de gestión y conservación del medio ambiente deben realizarse a través de la unidad natural llamada cuenca hidrográfica. Según (Mertel, Riquelme , & Borges , 2002), esta se define como: “una unidad geográfica (definida por relieves) en la cual las aguas superficiales vierten a una red hidrográfica en común, que a su vez forma un cauce mayor que desemboca en un río principal, un lago o directamente al mar”. A través de esta unidad se puede evaluar el impacto global de las acciones y comprender mejor las interrelaciones e interdependencias entre los sistemas físicos y bióticos con las instituciones, las organizaciones, los marcos regulatorios, los tomadores de decisiones, los actores locales y externos que participan en ella. (Jiménez, 2005).

---

<sup>1</sup> Investigadora, Laboratorio de Aguas y Reproducción de Especies Dulceacuícolas, LARED, Sede Guanacaste, Universidad Técnica Nacional. [mfarias@utn.ac.cr](mailto:mfarias@utn.ac.cr).

Esta unidad constituye un ámbito biofísico y socioeconómico ideal para el diagnóstico, planificación, manejo y gestión de los recursos naturales, en el cual la valoración natural de sus cuerpos de agua es elemental para la generación de información para favorecer las actividades productivas que se realizan en la cuenca.

El movimiento del agua lluvia y los flujos superficiales, a través de la red de drenaje, desde la parte alta de la cuenca hasta la parte baja, promueve el desprendimiento y arrastre de partículas (sedimentos orgánicos y minerales) e induce la formación de valles planicies o llanuras de inundación (Jiménez, 2005).

Según (Ramírez, 1996), las cuencas hidrográficas de Costa Rica han sido sometidas a un proceso de degradación que afecta el cauce de los ríos, sus márgenes y las áreas de recarga acuífera. Cada vez la disponibilidad de agua es menor, debido al crecimiento poblacional, contaminación y en general al manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas. (Radulovich, 1997).

Las aguas superficiales provenientes de nacientes, ríos o lagos son vulnerables a diversas fuentes de contaminación por sustancias químicas y microorganismos, los cuales pueden ser de origen natural o antropogénico (WWPA, 2006). Las amenazas latentes a la calidad del agua, se materializan en riesgo sanitario (Gámez, 2002) además el uso de la tierra y la generación de desechos sólidos puede alterar su composición química y su biodiversidad, y esto provoca que las fuentes de agua superficiales sean vulnerables (Auquilla, Astorga, & Jiménez, 2006).

La calidad del agua como un conjunto de variables fisicoquímicas o biológicas, se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que pueden afectar la salud y el ecosistema tras cortos o largos períodos de exposición. Para la valoración de la calidad de manera simple y un lenguaje más universal entre técnicos, administradores ambientales y el público en general se utilizan índices de calidad del agua (ICA). Estos índices son útiles para observar la tendencia de los ríos a través del tiempo, ya que permiten conocer el estado de manera general del sistema acuático en un cuerpo de agua superficial (Torres, Hernán Cruz, & Patiño, 2009).

El índice oficial adoptado en Costa Rica para medir la calidad de las aguas superficiales es el “Índice holandés de valoración de la calidad para los cuerpos de agua superficiales”, según decreto N°25018- MEIC publicado en el Diario Oficial La Gaceta N° 59 del 25 de marzo de 1996 (MINAE, 2007). Los parámetros de este sistema son: el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto, la concentración de nitrógeno amoniacal y la demanda bioquímica de oxígeno. La suma obtenida según este índice es traducida a una escala de colores en la cual queda clasificada la calidad del agua del cuerpo receptor de acuerdo al grado de concentración.

En este estudio, este proceso de valoración se realizó en relación a la calidad natural, a los efectos humanos y al uso del recurso para conocer el estado actual del río en términos de calidad fisicoquímica, detectar tendencias espacio-temporales y suministrar información para el establecimiento de relaciones entre los dos principales sectores que integran la Cuenca del Bebedero: actividad productiva y vida ecológica.

## Metodología

Área de estudio. La cuenca de Bebedero, conocida como Cuenca Arenal Tempisque, contempla tres cantones: Tilarán, Bagaces y Cañas. Comprende una superficie total de 2.067,22 km<sup>2</sup> y representa un 4.04% de la superficie nacional.

La cuenca es drenada por el río Bebedero, que se origina en la confluencia de los ríos Blanco y Tenorio; al primero se le une el río Piedras, con sus afluentes los ríos San Jerónimo, Blanco, Paso Ancho, Enmedio y Potrero; al segundo los ríos Cuipilapa,

Tenorito y Corobicí con sus tributarios Sandillal, San Lorenzo, Cabuyo, Magdalena, Macho y Martirio. El río Bebedero recibe a los ríos Cañas y Lajas; a éste último se le une Higuerón con sus afluentes San José y Jabilla. Estos cursos de agua, excepto los ríos San Lorenzo, Cabuyo, Magdalena, Cañas y Lajas, presentan un rumbo de norte a sur, de noreste a suroeste y de noroeste a sureste, hasta desembocar en el río Tempisque. El rasgo típico climático es la presencia de un régimen de precipitación de tipo Pacífico, el cual se caracteriza por presentar un período seco y otro lluvioso bien definido. Este período seco se registra normalmente entre mediados de noviembre e inclusive hasta mes de abril. La estación lluviosa se inicia en mayo y concluye a mediados del mes de noviembre. En los meses de julio y agosto la precipitación desciende considerablemente e inclusive se experimenta en algunos años con déficit hídrico, dado por la influencia de la aparición de los veranillos de medio año.

La precipitación media anual para el registro de lluvias va desde los 1.500 a los 4.000 mm, marcándose una media anual en las partes altas de 2.000 a 4.000 mm, en la parte media de 1.500 a 2.000 mm y en la parte baja menos de 1.500 mm. Los meses de setiembre y octubre suelen ser los más lluviosos, aportando aproximadamente un 19 % y 20%, respectivamente de la precipitación promedio anual. En el período seco en promedio se registran lluvias hasta los 100 mm, aunque existen años con cero milímetros de lluvia. Se registra en esta cuenca un promedio anual de 142 días con lluvia, con período seco de 6 meses (Estación: Ingenio Taboga, IMN).

La cuenca del río Bebedero es de gran importancia, ya que en conjunto con la Cuenca del Tempisque destinan aproximadamente el 75% del total del agua disponible para uso agropecuario a nivel nacional. Estas cuencas cubren gran parte de la Provincia de Guanacaste, reconocida por ser productora de ganado vacuno y cultivos extensivos como cañas de azúcar y arroz.

Sitios de muestreo. Se evaluaron 9 sitios de muestreo (cuadro 1) tomando en cuenta los principales ríos que drenan la cuenca media-baja del río Bebedero.

Cuadro 1. Posicionamiento geográfico de los sitios de muestreo

Estación	Identificación	Ubicación GPS (CRTM05)	
CB-1	Río Cuipilapa	373498	1167386
CB-2	Río Tenorio	375801	1168773
CB-3	Río Tenorio (RT_C)	372516	1160835
CB-4	Río Tenorito	374743	1160213
CB-5	Río Corobicí	376362	1156094
CB-6	Río Piedras	362091	1153734
CB-7	Río Blanco	368840	1150559
CB-8	Río Blanco (RT_RB)	367725	1147701
CB-9	Río Tenorio (RC)	369855	1147351

Frecuencia del muestreo. Se realizaron en total de doce muestreos durante los años 2014, 2015, 2016. En cada año se realizaron cuatro tomas de muestra: en época seca (abril), uno en transición seca-lluviosa (julio), uno en época lluviosa (setiembre) y uno en transición lluviosa seca (noviembre).

Recolección y conservación de muestras. Se recolectaron muestras simples comenzando por la parte baja de la cuenca entre las 6:00 y 12:00 horas, siguiendo los protocolos del Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (APHA et al, 2005). Se realizaron mediciones in situ de OD, PSO, conductividad, pH, salinidad, SDT y temperatura utilizando una multisonda YSI.

En cada muestreo se recolectaron 18 muestras, las primeras 9 en galones de plástico de 3,7 L y las 9 restantes en botellas de 1L previamente lavadas con HNO<sub>3</sub> 1+1; ambas fueron conservadas a temperaturas entre 4-10°C y fueron transportadas al laboratorio de Aguas, LARED para sus respectivos análisis

Criterios de evaluación. La calidad del agua se evaluó mediante el índice holandés (cuadro 2), este incorpora los parámetros PSO, DBO y amonio. La clasificación se basó en el total de puntos obtenidos por cada uno de los parámetros según el cuadro 3.

Cuadro 2. Valores de los parámetros de porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, y Nitrógeno Amoniacal.

<b>Puntos</b>	<b>% PSO</b>	<b>DBO, mg/L</b>	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, mg/L</b>
<b>1</b>	91-100	≤ 3	<0,50
<b>2</b>	71-90	3,1-6,0	0,50-1,0
<b>3</b>	111-120 51-70	6,1-9,0	1,1-2,0
<b>4</b>	121-130 31-50	9,1-15	2,1-5,0
<b>5</b>	≤ 30	>15	>5,0

Fuente: Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud (2007)

Cuadro 3. Clasificación numérica de las variables según código de colores

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

Fuente: Costa Rica, Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio

### Análisis estadístico

La normalidad de los resultados de los parámetros fue analizada aplicando la prueba estadística de Shapiro-Wilks, modificado por Mahibbur y Govindarajulu en 1997, y utilizando el programa de InfoStat versión 1. La hipótesis nula (Ho) planteada fue: los datos siguen una distribución normal.

En caso de rechazo de la hipótesis anterior se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para la siguiente hipótesis nula (Ho): hay diferencias significativas en los parámetros indicadores de calidad del agua en la Cuenca de Bebedero entre los puntos de muestreo.

### Resultados

#### Parámetros e índices de calidad del agua

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua de los principales afluentes de la Cuenca de Bebedero obtenidos en cada uno de los muestreos se presentan en el en el apéndice I en el cual se muestra los datos obtenidos de Porcentaje de Saturación de Oxígeno, la Demanda Bioquímica de Oxígeno y el Amonio por punto de monitoreo en cuatro épocas durante los años 2014, 2015 y 2016. Se reporta el promedio y desviación estándar de cada parámetro. En la figura 1 se muestra la frecuencia relativa en la figura 2 las concentraciones máximas y mínimas de los parámetros en estudio de A) PSO (%), B) DBO (ppm) y C) N-NH<sub>3</sub> (ppm) en la Cuenca de Bebedero.

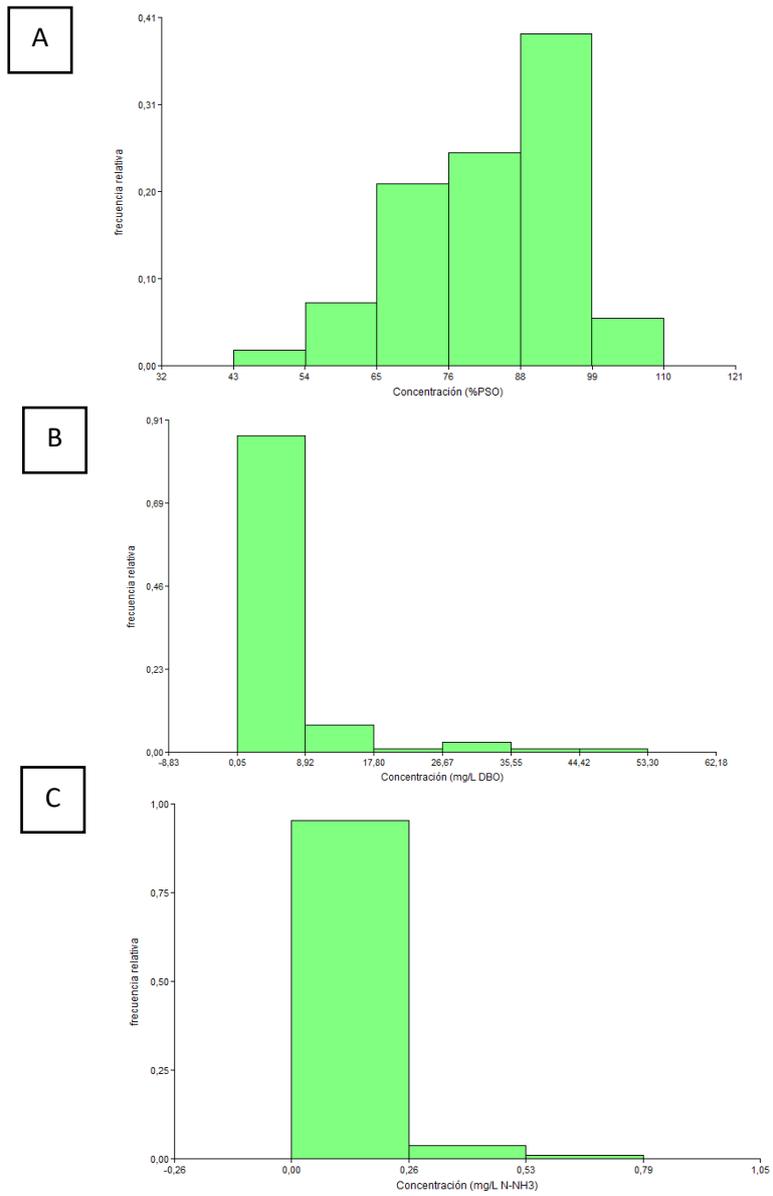


Figura 1. Frecuencia relativa de A) PSO (%), B) DBO (ppm) y C) N-NH<sub>3</sub> (ppm) en la Cuenca de Bebedero

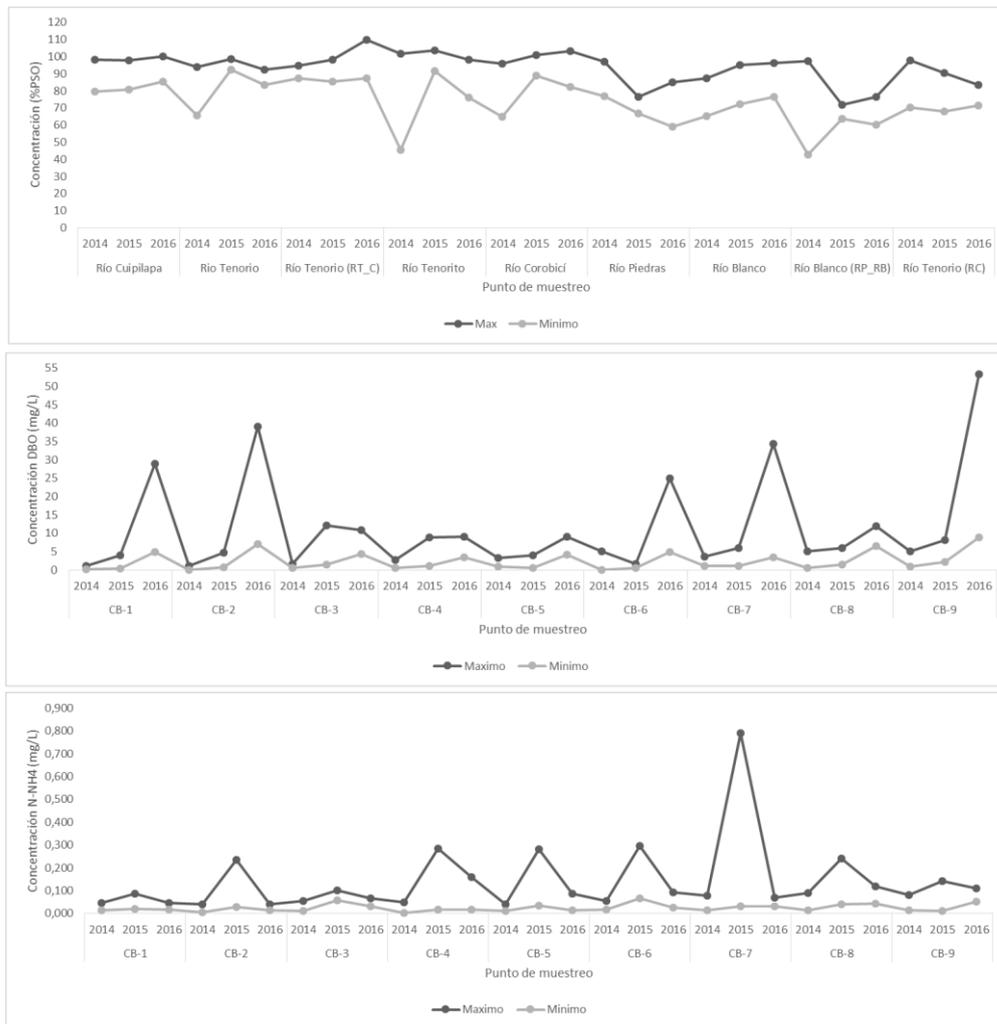


Figura 2. Concentraciones máximas y mínimas de A) PSO (%), B) DBO (ppm) y C) N-NH<sub>4</sub> (ppm) en cada punto de monitoreo.

En el cuadro 4 se resume los resultados obtenidos en la aplicación de pruebas estadísticas para conocer si los resultados poseen un modelo normal de distribución de probabilidades y si existen diferencias significativas en cada uno de los parámetros valorados.

Cuadro 4. Resultados de la aplicación de las pruebas estadísticas a los datos obtenidos en los principales afluentes de la Cuenca de Bebedero

Parámetro	Prueba de Shapiro Wilks		Prueba de Kruskal Wallis	
	W	p-valor	H	p-valor
PSO	0,960	0,011	37,81	<0,0001
DBO	0,590	<0,0001	9,02	0,3407
N-NH <sub>3</sub>	0,610	<0,0001	9,16	0,3281

Por lo tanto, en la prueba de Shapiro Wilks se concluye que se tiene una confianza del 95% que las variables PSO, DBO y N-NH<sub>3</sub> se distribuyen normalmente, por lo que se acepta la hipótesis nula. En la prueba de Kruskal-Wallis como el valor p en las variables

DBO y N-NH<sub>4</sub> es mayor que el nivel de significancia de 0,05, se acepta la hipótesis nula y se concluye que, con un nivel del 5%, hay diferencias significativas. En la variable PSO el valor de p es menor que el nivel de significancia de 0,05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que no existe diferencias significativas entre las mediciones de este parámetro.

Los resultados de la sumatoria de puntos de la aplicación del Índice Holandés a los ríos se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Variación del Índice Holandés en cada punto de muestreo por época durante el período 2014-2016

	2014				2015				2016			
	E. Seca	Transición S-LL	E. Lluviosa	Transición LL-S	E. Seca	Transición S-LL	E. Lluviosa	Transición LL-S	E. Seca	Transición S-LL	E. Lluviosa	Transición LL-S
Río Cuipilapa	3	3	4	4	3	4	4	5	4	5	4	8
Río Tenorio	3	3	4	5	3	3	3	5	6	6	5	8
Río Tenorio (RT_C)	4	3	3	4	3	3	4	7	4	5	6	5
Río Tenorito	5	3	6	3	3	3	3	5	5	4	4	6
Río Corobicí	5	4	5	3	3	4	3	4	4	5	4	6
Río Piedras	4	4	4	4	4	4	4	4	8	7	6	9
Río Blanco	6	4	5	4	6	4	4	3	7	7	5	6
Río Blanco (RP_RB)	4	5	7	4	5	4	5	5	7	6	7	9
Río Tenorio (RC)	4	4	5	5	6	4	7	6	6	6	8	8

\*Los colores presentan el grado de contaminación del agua

■ No contaminada ■ Incipiente ■ Moderada

## Discusión

En el abordaje de la discusión de resultados obtenidos se partirá del conocimiento del agua como un elemento presente en la naturaleza, el cual se mueve según la secuencia de procesos físicos que constituyen el ciclo hidrológico. El análisis de este ciclo favorece la comprensión de las relaciones del agua con su entorno y cómo las modificaciones, en términos de cantidad y calidad debidas al aprovechamiento de los recursos hídricos, pueden afectar a los distintos componentes del ciclo y su entorno ambiental, social y productivo.

Los usos que se le dan al agua son muy diversos de ahí que la calidad también sufra variaciones según lo que se requiera. Estas ligeras variaciones en el contenido de algunas de las sustancias presentes en el agua pueden variar sus propiedades convirtiéndolas no aptas para determinados usos. No necesariamente las aguas en su estado natural son aptas y no necesariamente la contaminación (con origen antrópico) es la que cambia esta condición (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2004). Es por ello que se hace indispensable la toma de datos en redes de medidas para el conocimiento de la calidad intrínseca del agua y como herramienta en la determinación de afectaciones.

La idoneidad del agua para satisfacer diversos usos, en general, doméstica, agrícola, energético, pecuario e industrial, se suele clasificar con relación al cumplimiento de reglamentación técnica en la cual en un período temporal no exista superación de una serie de parámetros de calidad que han sido determinados. En Costa Rica, para las aguas superficiales se definió el decreto No. 33903-MINAE-S que reglamenta los criterios y la metodología para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua permitiendo la clasificación de los ríos para los diferentes usos que puedan darse (MINAE, 2007). Este reglamento contempla el Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los cuerpos de agua superficiales el cual contempla el porcentaje de saturación de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno y el amonio como parámetros de calidad determinantes.

#### Evaluación de parámetros de calidad

Todos los organismos vivos dependen de una u otra manera del oxígeno para mantener los procesos metabólicos que producen la energía necesaria para su crecimiento y reproducción; por ello el oxígeno disuelto es la variable más significativa en la determinación de la calidad de las aguas superficiales, dado su papel relevante en el mantenimiento de la vida acuática. La presencia de oxígeno disuelto en el agua resulta de la contribución de dos fuentes: la difusión del aire del entorno, favorecida por el paso del agua por saltos o rápidos, y la fotosíntesis de organismos acuáticos productores primarios (plantas y algas) (Prashant, Tahir, & Saad, 2009).

La solubilidad del oxígeno depende de la temperatura del agua, de la presión atmosférica (relacionada con la altitud) y de la salinidad. La relación existente entre esas variables determina la cantidad máxima de oxígeno que puede disolverse a ciertas condiciones de temperatura, presión y salinidad, lo que se conoce como 100% de saturación del agua; valores inferiores implican concentraciones bajo el límite de saturación y valores superiores son indicativos de aguas sobresaturadas (Carrillo López, y otros, 2012).

En la figura 1A se muestra como la frecuencia en el período de estudio es mayor en un rango de 88 a 99% obteniendo el valor mínimo en 43%. Tanto los niveles bajo de saturación como la sobresaturación de oxígeno son perjudiciales para el medio y reflejan que el ecosistema no está equilibrado. Si la saturación es inferior al 40% el río está en malas condiciones. Niveles de saturación por encima del 110%, es decir, sobresaturación, pueden reflejar que la masa de agua experimenta un crecimiento desorbitado de algas, fenómeno que se conoce como eutrofización.

Los niveles de oxígeno en la Cuenca Bebedero no presentan un comportamiento según las variaciones espaciales y temporales (Figura 2A). Los niveles más bajos obtenidos corresponden a los puntos de Río Tenorio, Tenorito, Corobicí y Blanco (RP\_RB) en el año 2014 sin embargo aumentan en los años posteriores. Se observa una disminución en los puntos de la parte media de la cuenca en la cual convergen la mayor actividad humana, tanto doméstica como agropecuaria, esto ocasiona un mayor deterioro del cuerpo de agua, ya que en su mayoría se encuentran cercanas al cauce principal del río y este es el cuerpo receptor de actividades como la producción arroz, caña de azúcar, crianza de ganado y actividad doméstica. La tendencia de la concentración de PSO en las diferentes estaciones y épocas de muestreo evidencia fluctuaciones debido a que el PSO está sujeto a las condiciones de presión atmosférica y temperatura que existan a la hora del muestro.

La DBO es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas productivas, ya que cuantifica la cantidad de oxígeno usado por las poblaciones microbianas en respuesta a la introducción de material orgánico degradable. Este parámetro permite reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales. Según el Proyecto de Saneamiento y Calidad del Agua de la Gerencia Regional Golfo Centro (Pacheco, Ham, & Springall, 2006), la clasificación e interpretación de concentración de la DBO en cuerpos de aguas corresponde: DBO < 5,00 mg/L: Excelente, DBO 5,00-10,00 mg/L: Buena calidad, DBO 10-30 mg/L: Aceptable, DBO 30-120 mg/L: Contaminada y DBO > 120 mg/L: Fuertemente contaminada. En el estudio, la evaluación de la calidad del agua con base en la DBO<sub>5</sub> el 73,7% de las estaciones tiene una calidad excelente, 21,3% buena, 2,8% aceptable y 1,8% contaminada.

Los puntos de muestreo 1 (29 ppm), 2 (39 ppm), 6 (25 ppm), 7 (34 ppm) y 9 (53 ppm) son los que presentaron los valores mayores de DBO<sub>5</sub> (figura 2 B), estos aportes resultaron de la medición en época lluviosa y transición lluviosa-seca en el año 2016 (apéndice I), este incremento obedece al aumento de la precipitación que provoca arrastre de materia orgánica y las contribuciones de origen antrópico provenientes de actividades pecuarias (puntos 1 y 2) y agrícolas (puntos 6, 7 y 9).

La presencia de amonio en las aguas es indicadora de contaminación. Éste puede pasar a amoníaco (dependiendo de la temperatura y pH de las aguas), el cual es muy tóxico para los peces. De acuerdo con Wetzel mencionado en (De León & García, 2011) la concentración de amonio en ambientes no contaminados puede alcanzar hasta 5 mg/L, y en ambientes altamente productivos y anóxicos, pueden superar los 10 mg/L en los niveles profundos del sistema acuático. Las concentraciones de amonio a lo largo de la Cuenca no superan la frontera de 1 mg/L (figura 1C), recomendable para proteger la vida de los peces. Esto se puede relacionar con las buenas condiciones de oxígeno disuelto que presentan los cuerpos de agua la cual es capaz de oxidar el amonio a otros compuestos.

### Índice Holandés

Los índices de calidad del agua permiten la valoración general del cuerpo de agua mostrando la variación espacial y temporal por medio de una fácil interpretación de categorías. En el estudio se calculó el Índice Holandés de calidad de agua para cada sitio muestreado, y para cada estación, obteniendo así la clase de cuerpo superficial resultante para cada punto tomando en cuenta los parámetros de porcentaje de saturación de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y amonio. En el cuadro 5 se muestra la variación del Índice Holandés en cada punto de muestreo por época durante el período 2014-2016 según el puntaje en cada punto muestreado.

En la parte alta de la Cuenca donde se localizan el río Río Cuipilapa, Tenorio, Tenorio (RT\_C) y Tenorito no ocurren descargas de residuos líquidos directas a los ríos, sino que tal contaminación proviene de los arrastres por escorrentía generada por las lluvias en la época de invierno. Por esta causa, durante el verano, la calidad de estos ríos mejora. En cambio en las zonas altamente pobladas, en general, las aguas residuales doméstica es vertida en los ríos sin tratamiento alguno, de ahí que, en el verano, la concentración de los contaminantes se incrementa conforme se avanza hacia la parte baja de la cuenca. Esta

zona debida a su actividad propicia efluentes hacia los ríos que aunada con las descargas domésticas y el arrastre por escorrentía provocan que la contaminación sea de incipiente a moderada.

El método de clasificación de los cuerpos superficiales permitió desde el punto de vista espacial, situar los puntos muestreados, en una clasificación específica y temporalmente dependiente. Los ríos de la cuenca van de la clase 1 (sin contaminación), clase 2 (contaminación incipiente) y clase 3 (contaminación moderada) como máximo. Aquellos que presentan la clase 1 las aguas son aprovechables para consumo humano, actividades pecuarias, acuicultura, conservación del equilibrio natural entre otras, la clase 2 es utilizable para acuicultura y actividades recreativas de contacto pero la comunidad acuática puede comenzar a verse afectada. La clase 3 es utilizable para generación hidroeléctrica, navegación y riego para cereales y plantas forrajeras (MINAE, 2007).

El uso del suelo incluyendo la urbanización y la industrialización, afectan significativamente a la calidad del agua, siendo la agricultura la que produce un efecto más profundo en los recursos hídricos debido a su naturaleza, a la extensión y al grado de dispersión (contaminación difusa). Esta calidad de agua restringe sus usos, sobre todo para el consumo humano y para el mantenimiento de la pesca y vida acuática (ecosistema). El índice permite un análisis de la tendencia de la calidad, por lo que puede ser empleado como una herramienta de información pública y para el manejo del recurso; no obstante no tiene la capacidad de mostrar efectos acumulativos que provocan los tóxicos en el tiempo, ni sus efectos antagónicos y sinérgicos sobre las comunidades biológicas existentes en los cuerpos acuáticos.

## Conclusiones

Aunque los niveles de oxígeno disuelto en la Cuenca en el período en estudio son en su mayoría superiores al 70% de saturación, se determina un impacto importante en los Ríos Río Tenorio, Tenorito, Corobicí y Blanco (RP\_RB).

Las aguas superficiales varían su composición química dependiendo de los terrenos de contacto y los vertimientos que reciben, los cuales pueden variar a lo largo del tiempo y espacio. Dependiendo de las características del terreno aledaño a los ríos, es posible que lluvias leves ayuden a diluir los contaminantes presentes en los ríos, mejorando su calidad, pero lluvias mayores pueden empeorar su calidad debido a la introducción de una mayor carga contaminante en el río, producto de la erosión de los suelos, es por ello que se deben propiciar acciones compartidas entre las instituciones científicas-técnicas en la protección de las riberas.

La calidad del agua en los puntos superiores de la Cuenca está influenciada por la escorrentía superficial, mientras que en los puntos inferiores por una combinación de escorrentía superficial e ingreso de contaminantes provenientes de fuentes antropogénicas difusas. La calidad del río presenta variación temporal en todas los puntos además varía espacialmente, sobre todo cuando los puntos son más cercanos a áreas socioeconómicas.

En la Cuenca de Bebedero no se evidencia contaminación de nutrientes provenientes del nitrógeno. Los niveles de amonio fueron siempre bajos (menos 1 mg/L) por lo que se

puede referir a que no existe degradación de los cuerpos de agua con respecto a este tipo de contaminación.

Se recomienda complementar la evaluación de la calidad del agua de la Cuenca de Bebedero con indicadores e índices biológicos para tener una visión completa de la salud del agua y de los sistemas acuáticos.

## Bibliografía

- Aquilla, R. C., Astorga, Y., & Jiménez, F. (2006). Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del Río Jabonal. *Recursos Naturales y Ambiente*, 48:81-92.
- Carrillo López, D., Carvajal Aguilar, S., Coto Campos, J., Salgado Silva, V., Herrera Núñez, J., Rojas Cantillano, D., & Benavidez, C. (2012). Variación del oxígeno disuelto en el Río Burío-Quebrada Seca, Heredia, Costa Rica, en el periodo 2005 - 2010. *Observatorio Ambiental UNA*, 2-5.
- De León, L., & García, C. (2011). *Monitoreo y Evaluación de Calidad de Agua*. Uruguay: DINAMA.
- Gómez, L. (2002). *Agua transparente, deuda invisible. Octavo Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José. Costa Rica: Litografía e Imprenta Lil S.A.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2004). *Guía para el monitoreo y seguimiento del agua*. Colombia: IDEAM.
- Jiménez, F. (2005). *Gestión integral de cuencas hidrográficas. Enfoque y estrategias actuales*. Turrialba, Costa Rica: Recursos, ciencia y decisión. Edición N° 2 .
- Mertel, G., Riquelme, J., & Borges, A. (2002). *Manejo de microcuencas: Manera inteligente de conservar el suelo y las aguas*. Chile: Instituto de Investigaciones agropecuarias INIA 22.
- MINAE. (2007). *Reglamento para la clasificación*. San José: Diario Oficial La Gaceta. Número 129.
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. (2009). *Política Hídrica Nacional*. San José, Costa Rica.
- Pacheco, A., Ham, C., & Springall, R. (2006). Diagnóstico de la calidad del agua en la subcuenca de Río Sedeño. *Consejo del Sistema Veracruzano del Agua*, 6.
- Prashant, J., Tahir, A., & Saad, N. (2009). Assesment of dissolved oxygen in coastal waters of Benghazi, Libya. *Review Mediterranean*, 15: 135-156.
- Programa Estado de la Nación. (2015). *Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José: Programa Estado de la Nación.
- Radulovich, R. (1997). Sostenibilidad en el uso del agua en América Latina. . *Revista Forestal Centroamericana*, 18:13-17.
- Ramírez, G. (1996). *Desarrollo, control y manejo de cuencas hidrográficas y áreas de recarga para abastecimiento de agua potable en Costa Rica*. Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Departamento de Cuencas Hidrográficas .

Torres , P., Hernán Cruz, C., & Patiño, P. J. (2009). Índices de Calidadde Agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* , Vol 8, No. 15. 79-94.

WWPA. ( 2006). *Segundo Informe de la Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo*. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.

APENDICE I

Cuadro 1. Oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Amonio en la cuenca de Bebedero, expresado en porcentaje de saturación, partes por millón y partes por millón respectivamente, por punto, año y época de muestreo.

Parámetro	Punto de monitoreo	CB-1			CB-2			CB-3			CB-4			CB-5			CB-6			CB-7			CB-8			CB-9		
		ÉPOCA/Año	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015
PSO (5)	Seca	91	98	100	94	99	86	87	93	110	64	104	76	65	101	103	97	73	59	65	74	96	97	72	60	98	91	84
	Transición S-LL	98	81	86	92	95	84	95	98	87	93	92	84	89	89	83	79	67	85	74	73	96	60	68	76	79	76	79
	Lluviosa	89	90	91	91	93	93	91	86	96	46	92	98	87	95	91	77	76	64	74	72	77	43	71	66	75	68	75
	Transición LL-S	80	86	90	66	93	84	91	87	90	102	97	90	96	93	94	80	72	78	88	95	86	73	64	77	70	82	72
	<b>Promedio</b>	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>92</b>	<b>86</b>	<b>95</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>91</b>	<b>96</b>	<b>76</b>	<b>96</b>	<b>87</b>	<b>84</b>	<b>94</b>	<b>93</b>	<b>83</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>75</b>	<b>78</b>	<b>89</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>70</b>	<b>81</b>	<b>79</b>	<b>77</b>
	<b>Desviación</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>
DBO (mg/L)	Seca	1,10	0,70	5	1,20	1,40	8	1,40	1,50	5,00	1,10	1,80	4,00	1,10	1,20	4	5,00	1,20	15	3,40	6,00	34	4,00	6	7	4,00	7	9
	Transición S-LL	0,50	1,60	5	0,70	3,10	8	1,00	1,40	4,00	0,50	1,10	4,00	1,00	1,50	4	0,50	0,60	15	1,20	1,00	34	0,60	2	7	0,85	2	9
	Lluviosa	0,20	0,30	5	0,00	0,80	7	0,60	2,20	11,00	2,80	1,20	4,00	3,20	0,60	6	0,10	1,60	5	3,70	2,00	5	5,00	4	7	5,00	8	53
	Transición LL-S	1,00	4,00	29	1,20	4,70	39	1,70	12,00	6,00	1,60	9,00	9,00	1,00	4,00	9	1,30	0,80	25	1,00	1,00	4	0,51	1	12	2,00	8	9
	<b>Promedio</b>	<b>0,70</b>	<b>1,65</b>	<b>11</b>	<b>0,78</b>	<b>2,50</b>	<b>16</b>	<b>1,18</b>	<b>4,28</b>	<b>6,50</b>	<b>1,50</b>	<b>3,28</b>	<b>5,25</b>	<b>1,58</b>	<b>1,83</b>	<b>6</b>	<b>1,73</b>	<b>1,05</b>	<b>15</b>	<b>2,33</b>	<b>2,50</b>	<b>19</b>	<b>2,53</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>2,96</b>	<b>6</b>	<b>20</b>
	<b>Desviación</b>	<b>0,42</b>	<b>1,66</b>	<b>12</b>	<b>0,57</b>	<b>1,76</b>	<b>16</b>	<b>0,48</b>	<b>5,16</b>	<b>3,11</b>	<b>0,98</b>	<b>3,83</b>	<b>2,50</b>	<b>1,08</b>	<b>1,50</b>	<b>2</b>	<b>2,24</b>	<b>0,44</b>	<b>8</b>	<b>1,42</b>	<b>2,38</b>	<b>17</b>	<b>2,31</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1,88</b>	<b>3</b>	<b>22</b>
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	Seca	0,014	0,039	<0,006	0,016	0,066	0,029	0,010	<0,006	<0,006	0,001	0,055	0,017	<0,006	0,225	0,013	0,016	0,067	0,026	0,013	0,789	0,056	0,015	0,240	0,044	0,015	<0,006	0,051
	Transición S-LL	0,015	0,077	0,018	0,005	0,028	0,014	<0,006	0,056	0,046	0,007	0,017	0,058	0,012	0,034	0,052	0,021	<0,006	0,071	0,017	0,031	0,031	0,043	0,041	0,061	0,017	0,012	0,079
	Lluviosa	0,030	0,087	0,047	0,005	0,131	0,025	0,055	0,101	0,031	0,037	0,157	0,158	0,038	0,282	<0,006	0,054	0,139	0,042	0,077	0,143	0,047	0,089	0,114	0,044	0,049	0,143	0,068
	Transición LL-S	0,047	0,019	0,036	0,039	0,234	0,041	0,034	0,074	0,065	0,049	0,285	0,051	0,040	0,055	0,087	0,055	0,296	0,091	0,048	0,274	0,069	0,058	0,082	0,118	0,080	0,118	0,111
	<b>Promedio</b>	<b>0,026</b>	<b>0,056</b>	<b>0,034</b>	<b>0,016</b>	<b>0,115</b>	<b>0,027</b>	<b>0,033</b>	<b>0,077</b>	<b>0,047</b>	<b>0,023</b>	<b>0,129</b>	<b>0,071</b>	<b>0,030</b>	<b>0,149</b>	<b>0,051</b>	<b>0,037</b>	<b>0,167</b>	<b>0,058</b>	<b>0,039</b>	<b>0,309</b>	<b>0,051</b>	<b>0,051</b>	<b>0,119</b>	<b>0,067</b>	<b>0,040</b>	<b>0,091</b>	<b>0,077</b>
	<b>Desviación</b>	<b>0,016</b>	<b>0,032</b>	<b>0,015</b>	<b>0,016</b>	<b>0,090</b>	<b>0,011</b>	<b>0,023</b>	<b>0,023</b>	<b>0,017</b>	<b>0,023</b>	<b>0,120</b>	<b>0,061</b>	<b>0,016</b>	<b>0,123</b>	<b>0,037</b>	<b>0,021</b>	<b>0,117</b>	<b>0,029</b>	<b>0,030</b>	<b>0,335</b>	<b>0,016</b>	<b>0,031</b>	<b>0,086</b>	<b>0,035</b>	<b>0,031</b>	<b>0,070</b>	<b>0,025</b>

