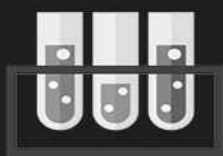


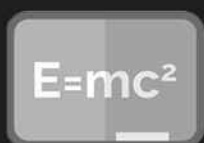
REVISTA TUMBAGA



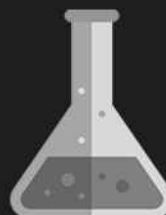
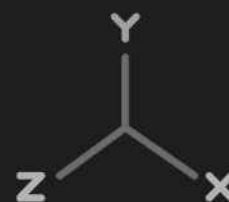
10

CENCIA EN

CONSTRUCCIÓN



AÑOS



Número 11 | Octubre de 2016

Rev. Tumbaga | Ibagué. T. (Colombia) | Número 11 | Año 2016 | ISSN Online 2216-118x

CALIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL JARDÍN BOTÁNICO

ALEJANDRO von HUMBOLDT- UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

**Carlos Andres Salazar Salguero^I, Elizabeth Murillo Perea^{II},
Néstor Oviedo Machado^I**

RESUMEN

El cuerpo de aguas residuales que recorre de norte a sur el Jardín Botánico Alejandro von Humboldt de la Universidad del Tolima se dividió en cuatro estaciones con el propósito de estudiar, en período alto y bajo de actividad universitaria, el efecto de la dinámica antrópica sobre la calidad de sus aguas. El pH, la DBO y el recuento de coliformes pueden tomarse como indicadores del nivel de deterioro físico, químico y microbiológico del acuífero, respectivamente. La familia Chironomidae representa el 82% de la abundancia total de macroinvertebrados bentónicos y, a su vez, el 99% de los Dípteros encontrados, lo cual es característico de aguas contaminadas con materia orgánica, turbias y con poco oxígeno. El tanque anaerobio sería la estación crítica para monitorear la calidad del cuerpo lótico. Las características fisicoquímicas y biológicas indican que el grado de aceptación de estas aguas puede considerarse bajo, independientemente del espacio académico que transcurra, convirtiendo a este riachuelo en un contribuyente más al menoscabo de la calidad del río Combeima, el más importante cuerpo de agua de Ibagué. Este trabajo se constituye en el primero realizado en el Tolima tendiente en analizar de forma integral la calidad de las aguas de un jardín botánico.

Palabras clave: Aguas residuales, calidad de aguas, parámetros físicoquímicos, Macroinvertebrados, Jardín botánico, río Combeima.

I Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima.

II Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima.

*correspondencia: carlos_salazar1991@hotmail.com

ABSTRACT

Effect of anthropic's dynamic, in high and low periods of university activity, over the quality of wastewater river flows from north to south through Alexander von Humboldt-Tolima university botanical garden had been studied by dividing it into four station. BOD, pH and coliforms can be taken as indicators of level hurt physical, chemical and microbiological of the aquifer, respectively. Chironomidae family represents 82% of total abundance benthic macroinvertebrates and, equally 99% of Dipteras found, which is characteristic of contaminated water with organic matter, murky waters and low oxygen. Anaerobic tank would be critical diagnostic station to monitor the quality of lotic body. Characteristics indicate that acceptance degree of these waters can be regarded low, regardless of space academic elapsed; making this creek a contributing more to deterioration of quality of Combeima River, the most important water of Ibagué. This work constitutes the first study from Tolima interested in determining as a whole the water quality of a botanical garden.

Keywords: Wastewater, Water quality, physico-chemical parameters, Macroinvertebrates, Botanical garden, river Combeima.

1. INTRODUCCIÓN

Los jardines botánicos son espacios físicos organizados para exhibir colecciones de plantas que reúnen ciertas características. Generalmente son conformados a través del esfuerzo de investigadores y personal preocupado por mantener estos lugares. No sólo han sido sitios para la protección de especies que pueden estar amenazadas o en peligro de extinción, también han operado como lugares para la reproducción de especies de alto valor comercial, llevadas desde sus sitios de origen (CITES, 2007).

Alrededor de 100 millones de personas visitan cerca de 1800 jardines botánicos en 148 países del mundo, en donde se custodian un poco más de 4 millones de accesiones de plantas vivas, representadas en más de 80.000 especies recopiladas, lo que a su vez es casi un tercio de las especies de plantas vasculares del mundo (BGCI, 2000). Estos jardines proporcionan una placentera imagen visual de la belleza y el valor de las plantas.

El Jardín Botánico Alejandro von Humboldt (JBAvH) fue creado en 1969. Son 10 hectáreas ubicadas entre los 1.070 y los 1.170 msnm, emplazadas en el campus de la Universidad del Tolima-Sede Santa Elena, Ibagué-Tolima; hace parte de la red nacional de jardines botánicos de Colombia destinados a conservar la fauna y la flora, generar educación ambiental e investigar, de acuerdo a los objetivos planteados en la ley 299 de 1996 (CONGRESO, 1996).

El JBAvH alberga 516 especies vegetales -La mayoría representativas de la flora regional y del bosque subandino-, correspondientes a 110 familias, entre plantas ornamentales, medicinales, frutales y maderables. Además de propender por el conocimiento de las plantas, en el JBAvH-UT se contribuye a la conservación e investigación de la flora nativa y entidades amenazadas, así como al rescate del uso tradicional de la vegetación.

De esta forma, el JBAvH es considerado un sitio obligado a visitar por los amantes del ecoturismo, estudiantes, profesionales y público en general. Se adiciona, que su interior aloja varios cuerpos de agua superficiales que lo recorren de norte a sur antes de desembocar en el río Combeima; estas aguas son fuente vital para el desarrollo de los seres vivos que en él habitan. No obstante, se presentan problemas asociados al deterioro de su calidad física, química y biológica, derivados de la presencia de residuos sólidos y líquidos resultantes de las múltiples y diversas actividades antrópicas desarrolladas en el campus universitario.

El concepto de calidad del agua está relacionado con la presencia/ausencia de cuerpos extraños al sistema natural y que generan contaminación; está última entendida como la introducción directa o indirecta de sustancias o energía que ocasionen un efecto negativo en los ecosistemas. Las aguas así intervenidas requieren de un estricto manejo porque pueden contener agentes nocivos para la salud de los seres vivos y de los ecosistemas (Ledermann, 2003; Samboni, Carvajal y Escobar; 2007).

De manera general, la gestión integral del recurso hídrico se ha convertido en un proceso obligatorio, estratégico y controlado, donde analizar la calidad del agua es un proceso básico para determinar el uso, limitar su disponibilidad y establecer el mejor tratamiento para las aguas; es decir, es un análisis fundamental para la seguridad de los seres vivos. Este estudio se interesó en conocer las características físicas, químicas y biológicas del "Cuerpo de Aguas Residuales-Universidad del Tolima (CARUT)", que recorre el JBAvH.

Mediante un estudio comparativo de la calidad del recurso hídrico en período alto y bajo de actividad universitaria, especialmente la estudiantil, se buscó disponer de datos reales y actualizados que permitan proponer sistemas de control de calidad del agua de este recurso; a la vez que se hace una contribución al mejoramiento y sostenibilidad de este importante cuerpo lótico para la vida de la UT y se crea conciencia en la población universitaria sobre los riesgos asociados al deterioro de las condiciones naturales de este vertido.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El cuerpo de agua lótico que recorre el interior del Jardín Botánico Alejandro von Humboldt de la Universidad del Tolima, se localiza a los 4° 25' 38.5" Norte – 75° 12' 42" Oeste y 4° 25' 28.6" Norte - 75° 12' 35.9" Oeste, tiene una longitud aproximada de un kilómetro y es afluente del río Combeima, el que a su vez desemboca al río Coello. Se caracteriza por estar dentro de un bosque de 46 años de conservación con zonas planas, pendientes altas e incluso cascadas.

2.2 DISEÑO DEL MUESTREO

El área de estudio se dividió estratégicamente en 4 estaciones de muestreo: i. Nacimiento del cuerpo de agua residual CARUT. ii. Tanque anaerobio. iii. Final de una cascada de 10 metros de altura. iv. Desembocadura de la quebrada al río Combeima. La figura 1 ilustra la ubicación del área de muestreo y algunas particularidades de la misma.

Se realizó el muestreo en dos épocas del año 2014: uno correspondiente a la jornada académica y otro durante al periodo de receso; buscando con ello estudiar comparativamente la influencia de la actividad antrópica universitaria en la calidad física, química, microbiológica e hidrobiológica del cuerpo de agua.

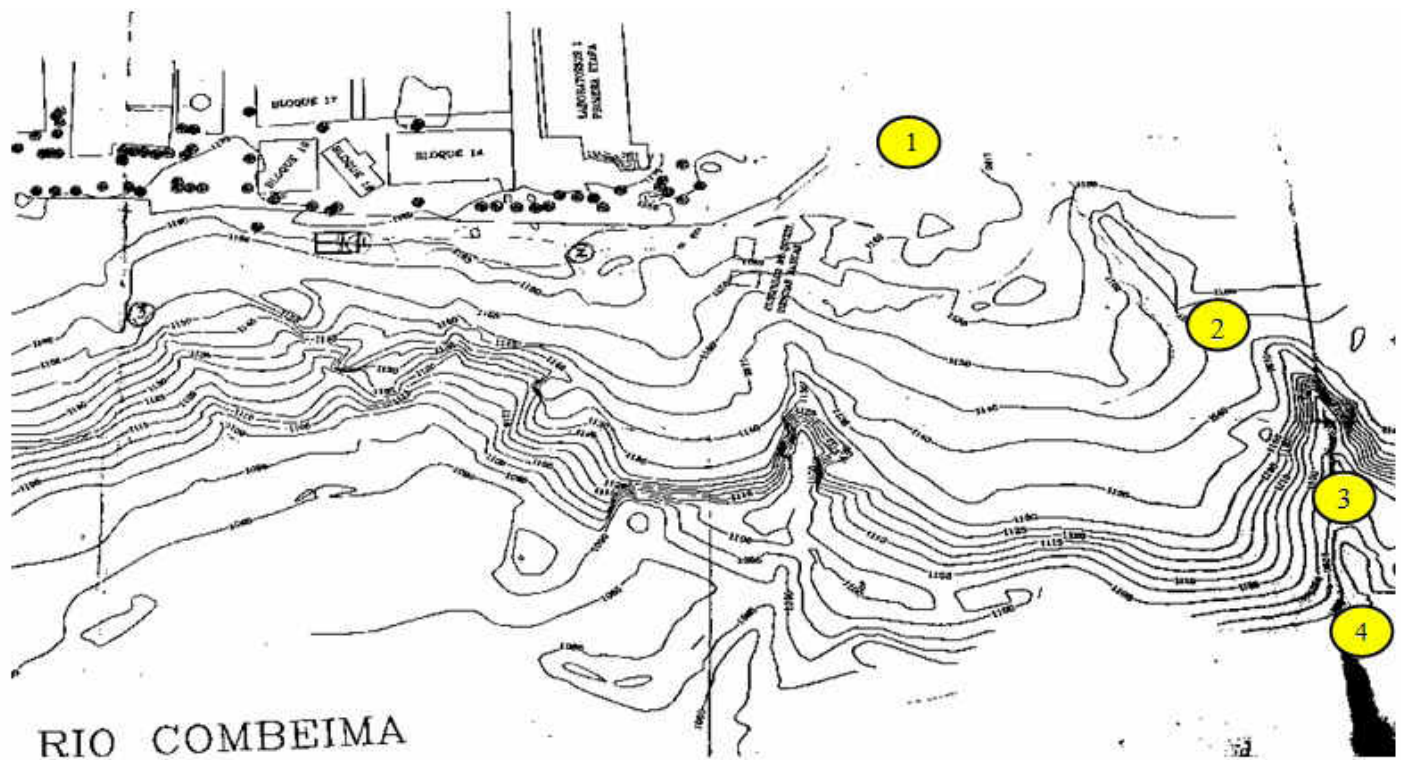


Figura 1. Mapa topográfico del JBAvH con las 4 estaciones de muestreo

2.2.1 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS: El análisis físico-químico y microbiológico se realizó siguiendo la metodología propuesta por el IDEAM (2007), se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: pH (0-14), Temperatura (°C), Dureza total (mg CaCO₃/L), Dureza cálcica (mg CaCO₃/L), Dureza magnésica (mg/L), HCO₃⁻ (mg CaCO₃/L), Conductividad eléctrica (μS/cm), Cadmio (mg/L), Cromo (mg/L), Cobre (mg/L), Color (UPC), Saturación de Oxígeno (%), Oxígeno disuelto (mg/L), Sólidos totales (mg/L), Sólidos suspendidos (mg/L), Sólidos disueltos (mg/L), DBO₅ (mg/L), Fosfatos (mgPO₄⁻³/L), Fósforo (mgP/L), Recuento coliformes fecales (UFC/100ml), Recuento coliformes totales (UFC/100ml). Se tomaron muestras puntuales en las 4 zonas y en los períodos ya mencionados, para determinar específicamente la zona y el periodo que genera contaminación. Los dos tipos de muestra se transportaron en recipientes debidamente protegidos y rotulados hasta los laboratorios de química y microbiología, respectivamente, para su determinación analítica. El caudal se halló por medio del método de balde con un volumen conocido y un cronometro, la altura se determinó con un GPS.

2.2.2 ANALISIS HIDROBIOLOGICO: La caracterización hidrobiológica de las aguas de interés se realizó mediante el reconocimiento de la población de macroinvertebrados que allí habita. Para tal efecto se realizó un muestreo aleatorio simple con la red Surber en tramos de 20 metros por estación y con una intensidad de 5 repeticiones (Forero, Reinoso y Gutiérrez, 2013). Los individuos colectados se depositaron en frascos plásticos (1L) debidamente rotulados. La preservación de

los organismos se garantizó mediante la utilización de formol al 10% y alcohol al 70% (Roldan, 2003). Las muestras refrigeradas (4°C) se transportaron al laboratorio de zoología de la Universidad del Tolima donde se limpiaron, separaron e identificaron hasta familia con ayuda de estereoscopios y claves taxonómicas (Roldan, 1996).

2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los valores obtenidos en el análisis fisicoquímico y microbiológico se correlacionaron mediante la determinación de algunos índices de contaminación (Ramírez, Restrepo y Viña, 1997) y el índice de calidad general (ICAG), utilizando el software ICATEST V 10 (Fernández, Ramos y Solano, 2004). La diversidad específica de macroinvertebrados se estableció mediante algunos índices ecológicos: Diversidad de Shannon – Weaver (H'), BMWP/Col (Biological monitoring working party Colombia) y ASPT (Average score per taxón) e Índice de Dípteros, según la metodología de Roldan (1999). La similitud entre los valores de abundancia se estableció determinando el índice de Similitud de Bray-Curtis. Un análisis de correspondencia canónica permitió conocer la relación existente entre las variables fisicoquímicas e hidrobiológicas.

3. RESULTADOS Y ANALISIS

La figura 2 ilustra algunas particularidades de las 4 zonas de muestreo en las que se dividió el área bajo estudio. Como se observa en la figura, las 4 subáreas poseen características particulares que las diferencian entre sí.



Figura 2. 1. Nacimiento del cuerpo de agua CARUT. 2. Tanque anaerobio. 3. Final de cascada. 4. Desembocadura en el río Combeima

Aunque la razón de ser de los jardines botánicos es participar activamente en la preservación del mundo vegetal, en ellos el recurso hídrico juega papel importante para el logro de estos objetivos. En su mayoría, estos espacios de conservación de la biodiversidad poseen cuerpos de agua, lóticos o lénticos, visualmente homogéneos. La variabilidad de zonas que posee el JBAvH-UT, hacen de él un jardín con características particulares dentro de los muchos existentes.

Por su parte, la tabla 1 muestra la ubicación exacta de cada una de las zonas, así como la velocidad y caudal del fluido hídrico en cada punto de interés, durante las dos épocas de muestreo.

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones de muestreo; altura, caudal y velocidad de las aguas en dos épocas de actividad en la universidad del Tolima

| Zona | Norte | Oeste | Altura m.s.n.m | Receso académico | | Jornada académica | |
|-----------------|-------------|--------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | | | Caudal m3/seg | Velocidad m/seg | Caudal m3/seg | Velocidad m/seg |
| 1 | 4° 25'38.5" | 75° 12'42.0" | 1190 | 0.0006 | 0.009 | 0.0007 | 0.001 |
| 2 | 4° 25'36.5" | 75° 12'39.4" | 1183 | 0.0101 | 0.040 | 0.0122 | 0.060 |
| 3 | 4° 25'29.8" | 75° 12'37.1" | 1140 | 0.0147 | 0.049 | 0.0161 | 0.049 |
| 4 | 4° 25'28.6" | 75° 12'35.9" | 1130 | 0.0059 | 0.0909 | 0.0069 | 0.091 |
| Promedio | | | | 0.0078 | 0.0472 | 0.0089 | 0.052 |

Pese a que el efluente de interés tiene apenas 1 km de recorrido, la tabla 1 muestra una diferencia de 60m de altura entre el punto 1 y el 4, por lo que parece tener sentido los contrastes de velocidad y caudal del agua entre el nacimiento de la quebrada CARUT (estación 1) y el punto de vertimiento de sus aguas al río Combeima (estación 4). A pesar de que la población estudiantil es considerablemente superior al conjunto del personal administrativo más trabajadores, no impacta en forma importante ni el caudal de las aguas ni la velocidad del agua a la altura de los puntos de muestreo durante el semestre académico; a lo que contribuirían las diferencias topográficas de cada zona.

3.1 CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

A través de la tabla 2 se muestran los valores alcanzados en las determinaciones de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en las 4 estaciones hidrológicas del CARUT. La información recopilada en esta tabla muestra a través de unas cuantas variables las principales fuentes de perturbación espacio-temporal del ecosistema acuático bajo estudio.

Se nota que el color adquiere los mayores niveles en la parte alta de la quebrada y los mínimos en la parte baja del acuífero, quizá como consecuencia del mayor caudal en esta estación y, consecuentemente, de la dilución que sufren los componentes.

En el período de receso académico los sólidos (totales, suspendidos y disueltos), siguen un patrón de comportamiento asociado a la estación de muestreo, resultando el inicio del riachuelo con

los datos más altos, y el tanque anaeróbico con los menores valores, cumpliendo así su función de descontaminador. No obstante, durante la actividad académica la relación antes vista no es tan cierta.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas del JBAvH-UT en los dos periodos de muestreo

| PARÁMETROS | ZONAS DE MUESTREO | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | RECESO ACADÉMICO | | | | JORNADA ACADÉMICA | | | |
| | E1 | E2 | E3 | E4 | E1 | E2 | E3 | E4 |
| pH (0-14) | 7,78 | 7,72 | 7,88 | 7,77 | 7,19 | 6,96 | 7,76 | 8,05 |
| Temperatura (°C) | 22,3 | 22,2 | 22,3 | 22,6 | 21,1 | 20,4 | 20,4 | 21,1 |
| Dureza total (mg CaCO ₃ /L) | 168,6 | 80,1 | 83,4 | 77,7 | 137,5 | 20,4 | 19,2 | 32,9 |
| Dureza cálcica (mg CaCO ₃ /L) | 58,9 | 30,1 | 30,6 | 30,7 | 61,3 | 19,3 | 19,2 | 28,8 |
| Dureza magnésica (mg/L) | 109,6 | 50 | 52,8 | 47,1 | 76,1 | 1,1 | 0 | 4,1 |
| HCO ₃ ⁻ (mg CaCO ₃ /L) | 309 | 146 | 112 | 110 | 281 | 189 | 198 | 184 |
| Conductividad eléctrica (µS/cm) | 662 | 485 | 394 | 377 | 598 | 668 | 635 | 618 |
| Cadmio (mg/L) | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Cromo (mg/L) | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Cobre (mg/L) | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Color (UPC) | 661 | 263 | 74 | 35 | >1000 | 306 | 65 | 80 |
| Saturación de Oxígeno (%) | 13,76 | 17,2 | 60,2 | 47,3 | 43 | 12,9 | 44,72 | 43,86 |
| Oxígeno disuelto (mg/L) | 4,74 | 1,3 | 5,81 | 4,45 | 4,14 | 0,2 | 4,3 | 4,29 |
| Sólidos totales (mg/L) | 520 | 284 | 310 | 284 | 482 | 400 | 364 | 410 |
| Sólidos suspendidos (mg/L) | 70 | 38 | 27 | 25 | 311 | 103 | 48 | 55 |
| Sólidos disueltos (mg/L) | 450 | 246 | 283 | 265 | 171 | 297 | 316 | 355 |
| DBO ₅ (mg/L) | 342 | 219 | 152 | 155 | 197 | 175 | 155 | 164 |
| Fosfatos (mgPO ₄ ⁻³ /L) | 0,25 | 0,87 | 0,21 | 0,15 | 0,07 | 2,89 | 3,03 | 2,22 |
| Fósforo (mgP/L) | 0,08 | 0,28 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 0,94 | 0,99 | 0,72 |
| Recuento coliformes fecales (UFC/100ml) | 6,0 ⁵ | 5,0 ⁷ | 6,0 ⁴ | 5 ⁵ | 1,0 ² | 4,6 ⁵ | 5,8 ⁴ | 5 |
| Recuento coliformes totales (UFC/100ml) | 1,4 ⁶ | 6 ⁷ | 9,3 ⁵ | 1,3 ⁶ | 3,0 ⁴ | 1,0 ⁵ | 3,5 ⁶ | 1,2 ⁴ |

E1. Nacimiento quebrada CARUT. E2. Tanque anaerobio. E3. Final de cascada.
E4. Desembocadura en el río Combeima

Mientras el pH permanece casi constante durante el receso académico, se torna levemente básico (pH 8) en la zona 4 por el tránsito estudiantil, cuando la quebrada CARUT recibe descargas de origen diverso:

doméstico (vertimiento de aguas servidas fundamentalmente provenientes del restaurante estudiantil y mayor circulación de personas dentro del JBAvH), industrial (la zona extramural aledaña es área de talleres de mecánica), agrícola (derivadas de las actividades propias del jardín botánico), como las más importantes.

No obstante, si se tiene en cuenta que la mayor parte de las aguas naturales exhiben pHs entre 5 y 9 (EPA, 2000), podría pensarse, desde este punto de vista, que el nivel de contaminación de las aguas del CARUT es aceptable.

En general, las características organolépticas (color y olor) y físicas (temperatura, pH, sólidos totales, suspendidos y disueltos) de un cuerpo de agua tienen incidencia directa sobre su estética y aceptabilidad sensorial; sin embargo, la tipificación química, conjuntamente con la parte física, de un agua residual es determinante para la gestión de la calidad medioambiental. Para lograr este conocimiento, se determinaron algunos parámetros químicos que muestra la tabla 1. Importa recordar que la presencia/ausencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua, ya sean de origen natural o antropogénico, definen la calidad de diferentes tipos de aguas evaluadas individualmente o en forma grupal (Benavides et al., 2007).

La tabla 1 muestra que mientras la dureza se muestra asociada al pH del agua, particularmente en el tanque anaerobio (E2), la conductividad eléctrica hace lo propio, pero en las épocas de muestreo, duplicando su valor en el período académico. No obstante, una variable de gran importancia en el estudio y caracterización de las aguas no potables es la DBO; además de indicar la presencia y biodegradabilidad del material orgánico, estima la cantidad de oxígeno requerida para estabilizar el carbono orgánico; adicionalmente, dá a conocer con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales (APHA, AWWA, APLF, 1992).

Las aguas residuales urbanas consideradas entre débil y medianamente contaminadas presentan valores de DBO5 entre 110 y 220 mg/L; más allá, puede calificárseles como "fuertemente contaminadas" (Benavides et al., 2007). Los datos consignados en la tabla dan a entender que el acuífero CARUT recibe una alta descarga de materia orgánica que, si bien el tanque anaeróbico disminuye; la oxigenación que reciben las aguas a través de la cascada hacen un gran aporte en tal sentido. El oxígeno disuelto confirma la observación anterior (tabla 2).

Mucho del oxígeno disuelto en el agua viene de la atmósfera, pero el principal factor que contribuye a los cambios en sus niveles en el agua son los residuos orgánicos. El decaimiento que sufre este parámetro en el tanque anaerobio, en ambos períodos de muestreo lo afirma, y lo corrobora la DBO. La corriente y la turbulencia de las estaciones 3 y 4 mejoran la oxigenación del agua, pero la carga orgánica recibida la consume. La jornada académica es crítica en este sentido.

Otros resultados son los microbiológicos que aparecen en la tabla 2. No obstante, los valores consignados no muestran la relación entre la carga microbiana con la estación y el tiempo de muestreo, pero si muestran la poca eficacia del tanque anaerobio en su función descontaminadora; antes por el contrario, las UFC se incrementan en la estación subsecuente (cascada), fundamentalmente los coliformes fecales, llamados también termotolerantes.

Teniendo en cuenta que la contaminación microbiológica es responsable de más del 90 % de las intoxicaciones y transmisión de enfermedades por el agua, y que los elevados niveles de estos

microorganismos encontrados en todas las estaciones supera los límites máximos permisibles en la normatividad vigente (RAS, 2000), se tienen suficientes razones para sustentar la necesidad de generar un programa de rescate y conservación del CARUT así como de apoyo en la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación del JBAvH-UT.

El grupo de los coliformes totales abarca los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter* (Arcos et al., 2005). De ellos, *Enterobacter* y *Klebsiella* colonizan con frecuencia las superficies interiores de las cañerías de agua y tanques de almacenamiento cuando la presencia de materia orgánica, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y largos tiempos de almacenamiento favorecen su crecimiento como biopelículas. Estos organismos son saprófitos independientes o bacterias intestinales que constituyen aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales e indican contaminación bacteriana reciente (Arcos et al., 2005).

Cabe señalar que las bacterias del tracto intestinal no suelen sobrevivir en el medio acuático; allí están sometidas a un estrés fisiológico, perdiendo gradualmente la capacidad de producir colonias en medios diferenciales y selectivos. En este sentido, la determinación de coliformes se usa como indicador de la eficacia de tratamientos (Marchand, 2002).

La degradación que sufren las aguas superficiales por contaminación biológica predispone el ingreso y multiplicación de microorganismos a partir de distintas fuentes, y es uno de los problemas más preocupantes en los países en vía de desarrollo. El origen puede estar en el vertimiento de los desagües sin ningún tratamiento, bien en la construcción defectuosa en las estructuras de pozos o depósitos o, tal vez, en la ausencia o irregular mantenimiento de estas instalaciones. Uno de los factores anteriores, o todos en conjunto, justificarían, al menos en parte, el deterioro de la calidad del recurso hídrico que recorre el JBAvH-UT.

3.2 INDICES DE CONTAMINACION Y DE CALIDAD DEL AGUA

Es importante resaltar que los parámetros físicos y químicos pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, pero el gran volumen de datos obtenido a través de este análisis lo hace complejo, dispendioso y de difícil entendimiento para los diferentes actores involucrados en el proceso de valoración de la calidad. Es necesario que la información alcanzada permita resolver diferentes tipos de conflictos para el uso del agua y la integridad ecológica del sistema acuático (Fernández y Solano, 2005).

Aunque en Colombia el volumen de aguas residuales generadas es aproximadamente un 70-80% del volumen consumido como agua potable (Hidalgo y Mejía, 2010), la medición de la calidad de aguas servidas se limita a la determinación de parámetros físico-químicos como actividad rutinaria. La implementación de nuevas metodologías que involucren más de dos parámetros para la valoración de la calidad del agua toma cada vez más importancia (IDEAM, 2000). Sobre la base de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, se obtiene un número (adimensional), rango y color para su interpretación, logrando que la comprensión de la

calidad del cuerpo de agua de interés sea rápida y sencilla. Los índices de contaminación (ICO'S) y el índice de calidad general (ICAG), se convierten así en herramientas útiles para la toma de decisiones.

La tabla 3 muestra el dato numérico y el color obtenido a través del cálculo del ICAG e ICO'S en las 4 estaciones del CARUT, en los dos períodos de interés.

Tabla 3. Índices de contaminación (ICO'S) e índice de calidad general del agua (ICAG) analizados en el cuerpo lótico del JBAvH-UT en dos períodos

| | ZONA 1 | ZONA 2 | ZONA 3 | ZONA 4 | ZONA 1 | ZONA 2 | ZONA 3 | ZONA 4 |
|---------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|
| ICO'S | RECESO ACADÉMICO | | | | JORNADA ACADÉMICA | | | |
| ICOMO | 0.753 | 0.92 | 0.81 | 0.85 | 0.41 | 0.99 | 0.86 | 0.52 |
| ICOTRO | 0.08 | 0.28 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | 0.94 | 0.99 | 0.72 |
| ICOMI | 1 | 0.83 | 0.77 | 0.77 | 1.00 | 0.90 | 0.91 | 0.89 |
| ICOSUS | 1.00 | 0.83 | 0.91 | 0.83 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| ICAG | 22.27 | 11.51 | 22.04 | 18.39 | 29.77 | 7.76 | 15.86 | 28.76 |

Por su parte, la tabla 4 permite hacer las interpretaciones respectivas que, a su vez, dan a conocer el nivel de alteración para cada caso (Fernández y Solano, 2005; Samboni et al., 2007) y la figura 3 muestra gráficamente el comportamiento de los ICOs y el ICA.

Tabla 4. Rango y escala de colores según el Índice de Contaminación y el Índice de calidad del Agua

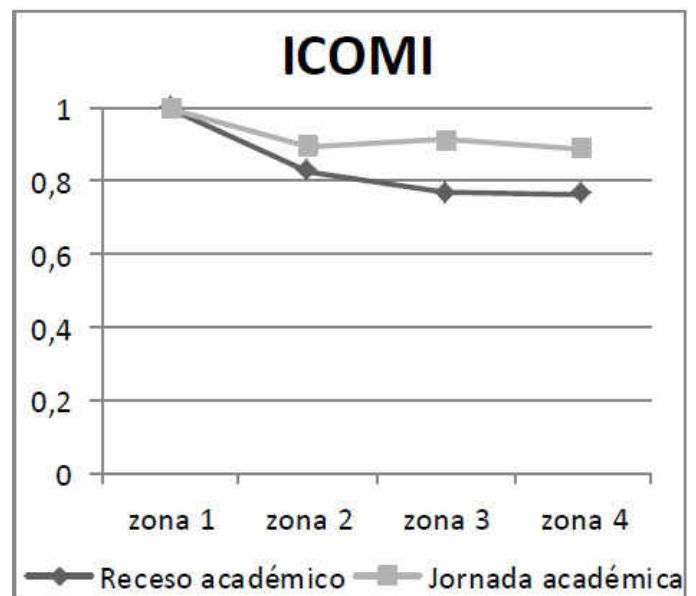
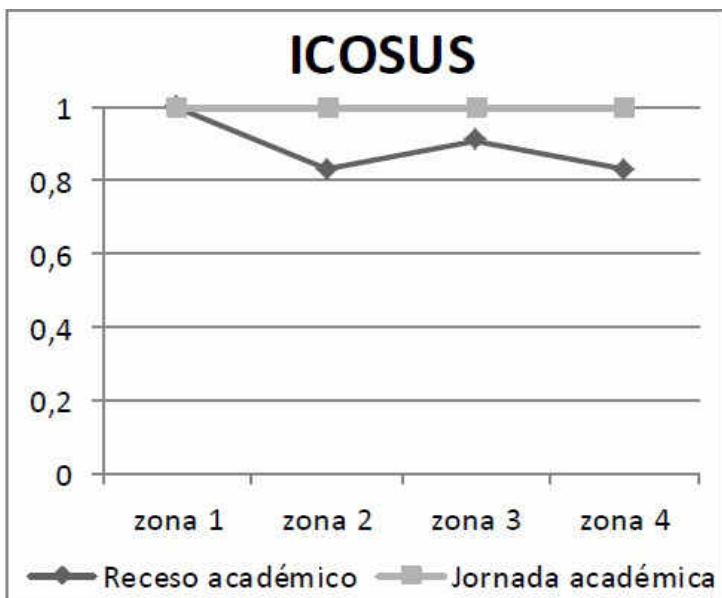
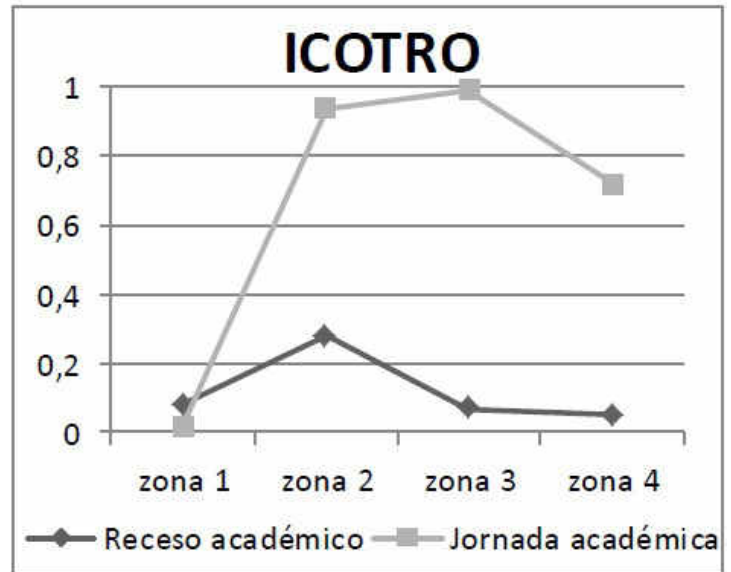
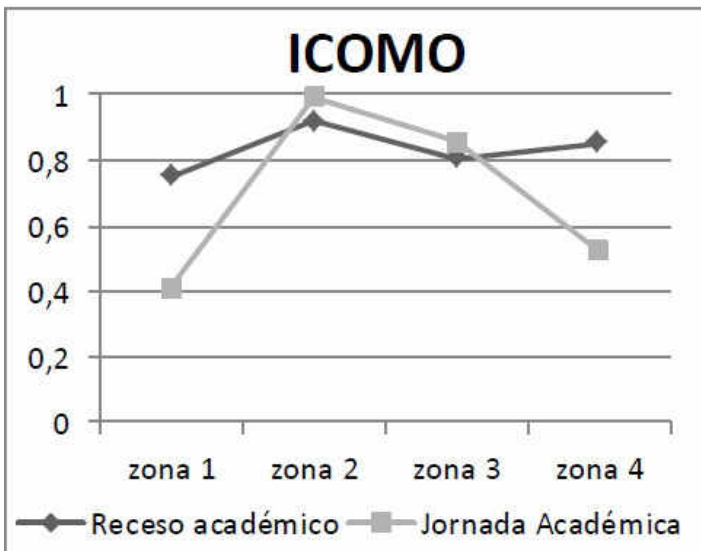
| RANGO | ICA (NSF) | COLOR | ICO | Grado De Contaminación |
|----------|-----------|----------|------------|------------------------|
| 91 – 100 | Excelente | Azul | 0 – 0.2 | Ninguna |
| 71 – 90 | Buena | Verde | >0.2 – 0.4 | Baja |
| 51 – 70 | Media | Amarillo | >0.4 – 0.6 | Media |
| 26 – 50 | Mala | Naranja | >0.6 – 0.8 | Alta |
| 0 – 25 | Muy mala | Rojo | >0.8 – 1 | Muy Alta |

El análisis conjunto de las tablas 3 y 4 conduce a afirmar que el CARUT presenta una calidad que oscila entre "mala" (receso académico) y "muy mala" (en cualquier época del año), por ende las actividades administrativas (periodo de receso), como la academia contribuyen a su deterioro o que los procesos llevados a cabo para aminorar la contaminación de origen antrópico de este importante recurso hídrico para la vida de la Universidad del Tolima, son aun deficientes.

El tanque anaerobio, sitio donde se vierten directamente las aguas residuales, como era de esperarse, presenta el mayor índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en ambos

periodos de muestreo y, aunque ayuda en el proceso de descontaminación, sobre todo en la etapa académica, su función puede considerársele aún deficiente. El ICAG así lo confirma.

La tabla 3 muestra cómo la jornada académica es la de mayor contribución en el desmejoramiento de la calidad del agua. Adicionalmente, durante este período, el ICOTRO indica alteración por fósforo fundamentalmente a partir de la zona 2, posiblemente derivado del mayor uso de jabones y detergentes utilizados en los procesos de limpieza.



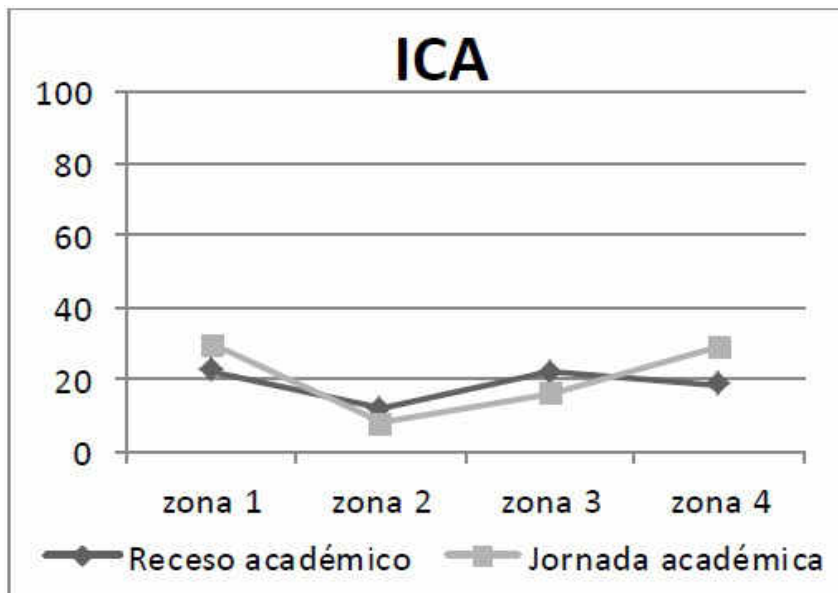


Figura 3. Comparación de los Índices de Contaminación y de Calidad del Agua en 4 estaciones de muestreo y en dos épocas.

Un aporte más a la degradación de las aguas lo hacen el material mineral (ICOMI) y los sólidos suspendidos (ICOSUS), participando como factores de “muy alta contaminación” en las 4 estaciones; la variable oscila entre 0.83 y 1.00, en ambos casos. Sus orígenes podrían encontrarse en los extramuros universitarios ya que presentan valores máximos en la estación 1 (nacimiento).

Un agua residual influye en el medio donde se vierte debido básicamente: a la materia oxidable que consume oxígeno; los sólidos en suspensión, que dificultan la actividad biológica de los seres acuáticos y la recarga de los acuíferos; las materias inhibitoras o tóxicas que inhiben, modifican o anulan la actividad biológica y/o se pueden acumular en la cadena trófica y los nutrientes (N y P) que, a su vez, intervienen en los procesos de eutrofización (Hidalgo y Mejía, 2010). De igual manera, los niveles de oxígeno que permanecen entre 1-2 mg/L por unas pocas horas resultan en largas agonías para los organismos acuáticos benéficos (Campos y Gómez, 2009), los cuales no deben encontrarse en las aguas del CARUT.

3.3 ANALISIS HIDROBIOLÓGICO

Con una intensidad de 5 repeticiones, en este estudio se colectó un total de 2293 individuos pertenecientes a 9 órdenes, distribuidos en 16 familias. El orden Díptera presentó el mayor número de familias (6), seguido del Coleóptera (3), mientras que sólo 1 familia representó el Trichoptera. La familia Chironomidae presentó 1992 individuos (82%), seguida muy lejos por la Simuliidae y la Tubificidae con 206 (8.9%) y 37 (1.6%) entidades, respectivamente. Las familias Sychodidae, Hidropsychidae y Dysticidae se hicieron presente con sólo un individuo para cada caso (0.004%). Si se comparan los dos períodos de muestreo, se puede mencionar que durante el receso académico la abundancia de organismos fue casi la mitad (755) de los hallados en la jornada académica (1538).

Se afirma que, en ríos y quebradas contaminadas con materia orgánica, de aguas turbias y con poco oxígeno, se espera encontrar poblaciones dominantes de chironómidos, oligoquetos y ciertos moluscos; en tanto que en aguas que comienzan a mostrar contaminación, es común encontrar quironómidos y oligoquetos, mezclados en menor proporción con ciertos efemerópteros y tricópteros (Roldán, 1992).

El estudio demostró que la distribución de organismos, así como la abundancia relativa de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en el CARUT depende del microambiente del sitio de muestreo. En la estación 2, que recibe toda la carga contaminante domina la familia Chironomidae, mostrando el 99% del Índice de Dípteros (figura 4A). Después de atravesar el bosque conservado del jardín botánico y la cascada, la carga contaminante disminuye y, consecuentemente, la diversidad de organismos reaparece manteniéndose hasta su desembocadura al río Combeima.

El índice de Shannon-Weaver -medida de información del contenido por individuo en muestras obtenidas al azar provenientes de una comunidad de la que se conoce el número total de especies-, indica que el nacimiento de la quebrada, lugar en donde no hay intervención, aparece la mayor diversidad (figura 4B).

Tabla 5. Índices BMWP/Col y ASPT obtenidos durante el receso académico y la jornada académica

| RECESO ACADÉMICO | | | | | | | |
|-------------------|-----------|-------------|------|-------|-------------|----------------------------------|-------|
| Zona | BMWP /Col | Nº Familias | ASPT | Clase | Calidad | Interpretación | Color |
| 1 | 27 | 7 | 3.8 | IV | Critica | Aguas muy contaminadas | N |
| 2 | 5 | 3 | 1.6 | V | Muy critica | Aguas fuertemente contaminadas | R |
| 3 | 31 | 6 | 5.2 | IV | Critica | Aguas muy contaminadas | N |
| 4 | 21 | 5 | 4.2 | IV | Critica | Aguas muy contaminadas | N |
| JORNADA ACADÉMICA | | | | | | | |
| 1 | 26 | 8 | 3.25 | IV | Critica | Aguas muy contaminadas | N |
| 2 | 2 | 2 | 1 | V | Muy critica | Aguas fuertemente contaminadas | R |
| 3 | 40 | 8 | 5 | III | Dudosa | Aguas moderadamente contaminadas | A |
| 4 | 20 | 5 | 4 | IV | Critica | Aguas muy contaminadas | N |

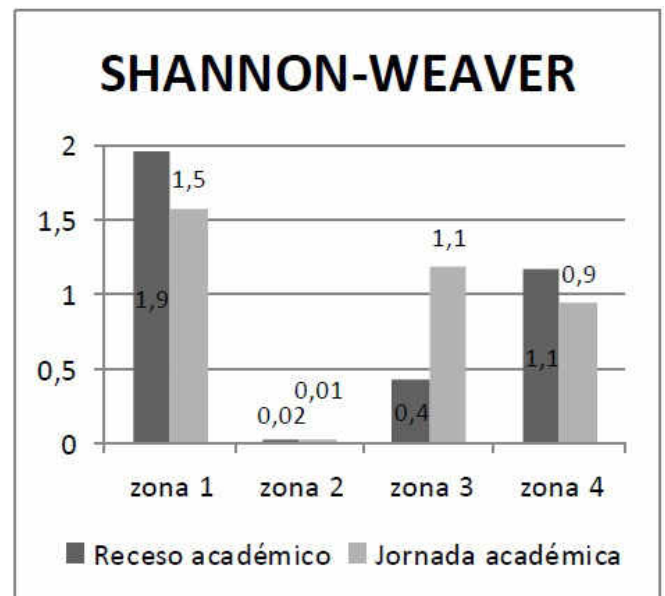
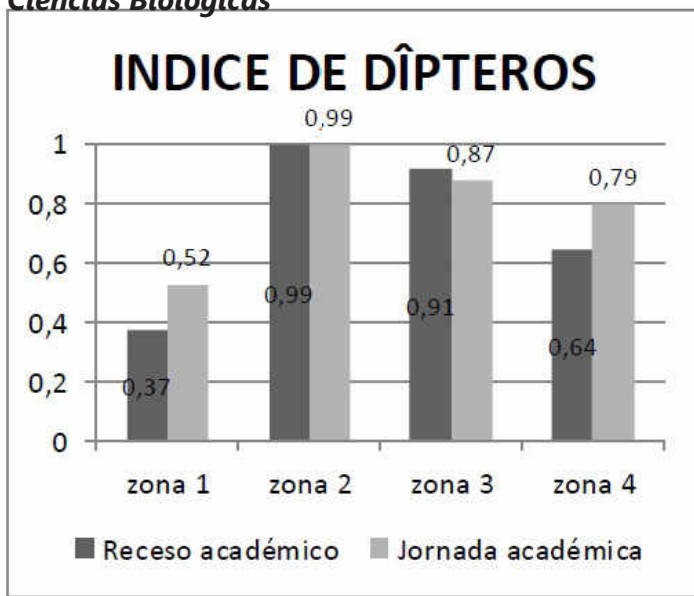


Figura 4. Índice de Dípteros (A) e Índice de diversidad de Shannon-Weaver (B) según la zona y época de muestreo.

A pesar de los debates y de las precauciones a tener en cuenta al aplicar los índices de diversidad, éstos continúan siendo populares al incorporar en un solo valor a la riqueza específica (número de especies presentes en la comunidad) y a la equitabilidad (distribución de la abundancia entre las especies de la comunidad).

El uso de macroinvertebrados acuáticos permite también analizar la calidad del agua por medio de los índices BMWP/Col y ASPT. Los resultados de esta determinación se muestran en la tabla 5, la interpretación de la misma se aprecia en la tabla 6 (Arango et al., 2008).

Tabla 6. Interpretación del BMWP/Col y ASPT

| Clase | Calidad | Valor del BMWP/Col | Valor del ASPT | Interpretación | Color |
|-------|-------------|--------------------|----------------|----------------------------------|----------|
| I | Buena | > 150 | >9-10 | Aguas muy limpias | Azul |
| | | 101-120 | >8-9 | Aguas no contaminadas | |
| II | Aceptable | 61-100 | >6.5-8 | Ligeramente contaminadas | Verde |
| III | Dudosa | 36-60 | >4.5-6.5 | Aguas moderadamente contaminadas | Amarillo |
| IV | Critica | 16-35 | >3-4.5 | Aguas muy contaminadas | Naranja |
| V | Muy critica | <15 | 1-3 | Aguas fuertemente contaminadas | Rojo |

El análisis conjunto de los resultados permite deducir que las aguas entran contaminadas al jardín botánico y no logran recuperarse a lo largo del recorrido, para finalmente arrojar su carga deteriorada al río Combeima. No obstante, en la jornada académica se observa una pequeña recuperación como consecuencia de la acción restauradora de las cascadas, golpe de rocas y bosques conservados.

Debe tenerse en cuenta que, los índices de calidad dan a conocer la variación espacial y temporal de su calidad, pero sólo proporcionan un resumen de los datos, no informan a fondo sobre la alteración del agua y no son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que rodean una fuente hídrica (CVC-UNIVALLE, 2004).

3.4 ASOCIACION ENTRE LAS VARIABLES

Los resultados de abundancia se compararon por medio del índice de similitud Bray-Curtis. En tal sentido se obtuvieron dos grupos; uno formado por las zonas 1, 3, 4 y otro de la zona 2.

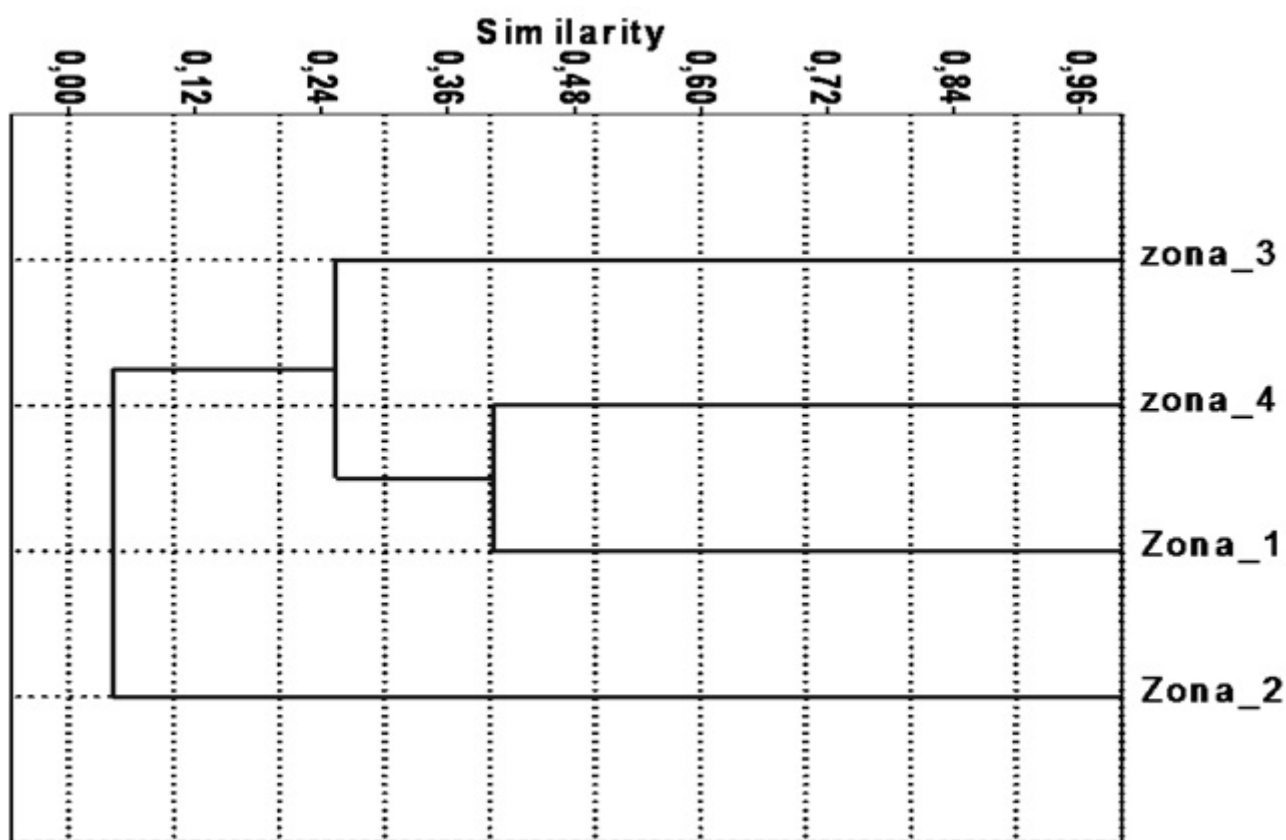


Figura 5. Similitud de Bray-Curtis entre las 4 zonas de muestreo

Lo que ilustra la figura 5 es concordante con todos los resultados encontrados y confirman lo que muestran los diferentes índices determinados (físicoquímicos y biológicos), evidenciando que el tanque anaerobio es el principal foco de contaminación del cuerpo de agua lótico del jardín botánico ABvH-UT.

La correlación entre los parámetros físicoquímicos, hidrobiológicos y las estaciones de muestreo se realizó por medio de un Análisis de Correspondencia Canónica. La figura 6 muestra que la estación 1 (con el mayor número de familias), la diversidad está asociada con el ICOSUS y el ICOMI; en tanto que en la estación 2 la abundancia de la familia Chironomidae se asocia con el Índice de Dípteros, ICOTRO e ICOMO.

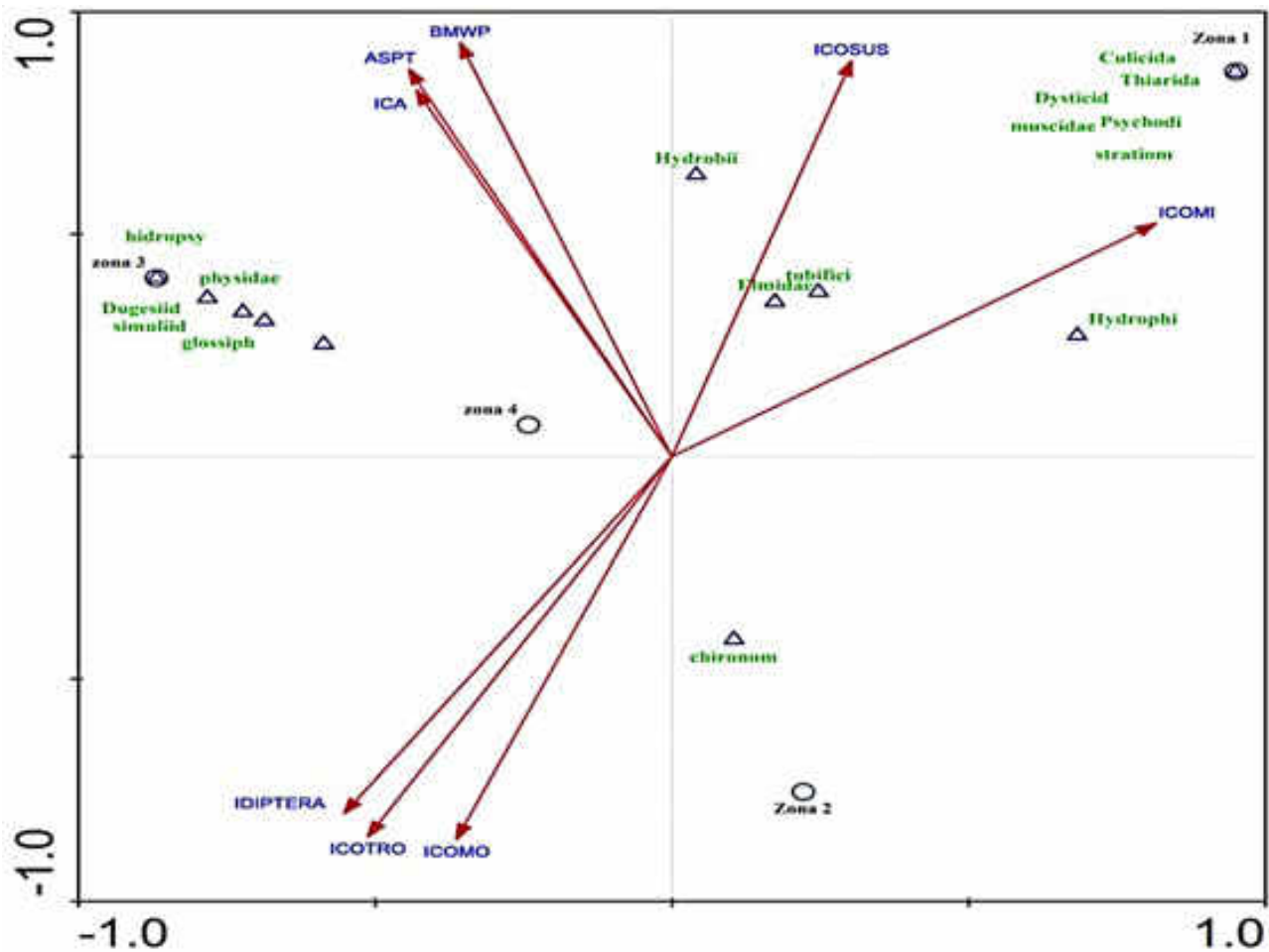


Figura 6. Análisis de Correspondencia Canónica.

En la estación 3 se encuentra asociación entre los valores del BMWP, ASPT e ICA con la presencia de familias como Simuliidae, Hidropsychidae, los cuales frecuentan tipos aguas moderadamente contaminadas. El ICAG evidencia toda su influencia en la estación 4 (desembocadura al Combeima).

La gestión eficiente del recurso hídrico involucra conceptos de mantenimiento de la calidad, reuso y aprovechamiento del agua, y que la supervivencia del hombre como especie se debe en parte al aprovechamiento de los recursos naturales; sin embargo, la falta de planeación y el desconocimiento de las posibles consecuencias de un mal aprovechamiento traen consigo la contaminación del ambiente natural.

De otra parte, aunque a nivel mundial, estudios recientes sobre los jardines botánicos han mostrado interés por aspectos sobre la flora (Fondo Mundial para la Naturaleza, 2004), vegetación (Gómez, 2001) o su funcionamiento (BGCI, 2001); en Colombia aún existe un bajo interés sobre este tipo de ecosistemas, mucho más sobre la calidad de los cuerpos de agua que poseen.

CONCLUSIONES

La calidad del cuerpo hídrico que recorre el bosque del jardín botánico Alejandro von Humboldt de la Universidad del Tolima puede considerarse poco aceptable, independiente de la época del año que transcurra. El pH, la DBO, el recuento de coliformes, así como la población de chironómidos pueden tomarse como indicadores de la calidad física, química, microbiológica e hidrobiológica, respectivamente; convirtiéndose en herramientas valiosas para conocer el grado de deterioro de las aguas del cuerpo de aguas residuales que por él pasa. El tanque anaerobio dispuesto por las entidades sanitarias de la universidad del Tolima sería la estación crítica para monitorear al cuerpo de agua física, química o biológicamente. Su papel, por el momento, puede considerarse deficiente para aliviar la contaminación del agua, convirtiendo a este recurso hídrico en un contribuyente más al detrimento de la calidad del río Combeima, el más importante cuerpo de agua de Ibagué. El bosque conservado del jardín botánico Alejandro von Humboldt con sus cascadas y golpes de roca, actúa como un sistema natural de purificación mitigando parte de la contaminación que se produce en la Universidad del Tolima. Este trabajo se consolida como el primero realizado en el Tolima interesado en determinar la calidad física, química y biológica de las aguas de un jardín botánico.

REFERENCIAS

- APHA, AWWA, APLF. (1992). Métodos normalizados para análisis de aguas y aguas residuales. 17 edition. American Public Health Association Enc. Ediciones Díaz de santos. ISBN 9788479780319 1816 p.
- Arango M; Álvarez L; Arango G; Torres O; Monsalve A. (2008). Calidad de las aguas de las quebradas la cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. Revista EIA, ISSN 1794-123 Numero 9: 121-141 p.
- Arcos P. M., Ávila de Navia S. L., Estupiñán T. S. M., Gómez P. A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. NOVA - PUBLICACIÓN CIENTÍFICA.VOL.3 (4):1-116
- Benavides A., M. Moreno, M. Sosa, S. Puga, R. Soto, T. Lebgue. (2007). Evaluación de la calidad del agua en las principales lagunas del estado de chihuahua. Memorias en extenso vi congreso internacional y xii nacional de ciencias ambientales: 545-642p.
- BGCI. Organización Internacional Para La Conservación En Jardines Botánicos. (2000). Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos. U.K: Guadalupe. 92 p.
- Campos, E y Gómez, A. (2009). Tratamiento De Aguas Residuales Mediante Irradiación Gamma. Quivera, vol. 11 (1): 12-21.

- CITES. (2007). Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre. Apéndices I, II y III: 33-41 p.
- CONGRESO. (1996). Congreso Colombiano Ley 299 del 26 de junio de 1996. "por la cual se protege la flora colombiana, se reglamentan los jardines botánicos y se dictan otras disposiciones": 1-4 p.
- CVC-UNIVALLE. (2004). Proyecto de modelación del río Cauca ñPMC-Fase II., Volumen X, Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de Índices de calidad y contaminación, tramo Salvajina ñ La Virginia, Corporación Autónoma del Valle, Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- EPA. (2000). Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable. EPA 815-F-00-007.
- Fernández N, Solano F. (2005). Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. Vicerrectoría de Investigaciones. Universidad de Pamplona. ISBN 958-33-7810-0. 142 p.
- Fernández, N; Ramos, G; Solano, F. (2004). ICATEST V 1.0. Una herramienta informativa para el análisis y valoración de la calidad del agua. Bistua (2) 2. 88 p.
- Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) (2004). The global 200.
www.panda.org/about_wwf/where_we_work/ecoregions/global200.
Documento consultado en línea en agosto de 2004.
- Forero A, Reinosos G, Gutiérrez C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río Opia (Tolima-Colombia) mediante macro invertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia* Vol.35 (2): 371-387 p.
- Gómez, C. (2001). Arboretum: espacio verde para la investigación y el esparcimiento. Ponencia presentada en el VII Curso de Arboricultura Urbana. Fundarbol. Caracas.
- HIDALGO S. M. y MEJÍA A. E. (2010). Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada la macana, san Antonio de prado. Municipio de Medellín. Monografía de Investigación Aplicada. Medellín Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería, 68 p.
- IDEAM. (2000). Estudio nacional del agua. En: <http://www.ideam.gov.co>
- IDEAM. (2007). Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. Subdirección de Hidrología. Laboratorio de calidad ambiental. Colombia. 1-17 p.
- Ledermann, W. (2003). El hombre y sus epidemias a través de la historia. *Rev chil Infect* Edición aniversario; 13-17 p.

- Marchand P. E. O. (2002). Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima metropolitana. Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, 55 p.
- BGCI. (2001) Organización Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos. International agenda for botanic gardens conservation. Reino Unido.
- Ramírez, A., Restrepo, R., Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. Ciencia tecnología y futuro. 1(3). 19 p.
- RAS (2000). Tratamiento De Aguas Residuales. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS. República de Colombia Ministerio de Desarrollo. Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. BOGOTA D.C., 145 p.
- Roldan Pérez, G. (1996). Guía para el estudio de macroinvertebrados en el departamento de Antioquia. Fondo FEN. Colciencias. Universidad de Antioquia. ISBN: 958-9129-04-8. 218 p.
- Roldan Pérez, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Rev. Academia Colombiana de ciencia. ISSN 0370-3908. 23(88): 375-387 p.
- Roldan Pérez, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad Antioquia. Medellín, Colombia. 175 p.
- Roldán, G. (1992). Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.
- Samboni N; Carvajal Y; Escobar J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua Revista ingeniería e investigación. , 27 (3). 172-181 p.

| Referencia | Fecha de recepción | Fecha de aprobación |
|--|---------------------------|--------------------------|
| Salazar Salguero, Carlos Andrés; Murillo Perea, Elizabeth y Oviedo Machado, Néstor. Calidad física, química y biológica de las aguas residuales del jardín botánico Alejandro von Humboldt- Universidad del Tolima. Revista Tumbaga (2016), 11 vol. I, página de inicio y página final. | Día/mes/año 29/08/2016 | Día/mes/año 5/10/2016 |