

Las plantas acuáticas en la disminución del nivel de contaminación por aguas residuales domésticas

Aquatic plants in reducing the level of pollution by domestic wastewater

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO ORIGINAL

RECIBIDO: DICIEMBRE 15, 2012; ACEPTADO: MARZO 20, 2013

Parménides Ocampo Marín¹
parmaocampo@gmail.com

Edinson Tigreros Herrera²
edinson71@yahoo.com

Universidad Santiago de Cali, Colombia (1)

Alcaldía de Guacarí, Colombia (2)

Resumen

El tratamiento de las aguas residuales cobra relevancia a nivel mundial, por ser los seres humanos, directa o indirectamente, usuarios de las fuentes hídricas a las que aquellas son vertidas, un hecho que expone a la humanidad a los peligros que la contaminación representa. La investigación que da origen al presente artículo aborda esta problemática desde el contacto primario con el recurso hídrico que previamente ha sido el colector de aguas residuales domésticas vertidas inadecuadamente por los habitantes del corregimiento de Guabas (Guacarí, Valle del Cauca, Colombia). En contextos como este, en los que la probabilidad de realizar grandes inversiones es escasa, es imperativo buscar alternativas; en consecuencia, cobran valor los elementos naturales, al ofrecer una serie de posibilidades que pueden ser aprovechadas. Es el caso de las plantas acuáticas, que actúan como filtros fitopedológicos y representan una alternativa sostenible para el manejo de las aguas residuales domésticas, como se evidencia en esta investigación.

Palabras Clave

Aguas Residuales; contaminación; plantas acuáticas; filtros fitopedológicos.

Abstract

The wastewater treatment becomes relevant worldwide, being humans, directly or indirectly, users of water sources to which these are expressed, a fact that exposes mankind to the dangers that pollution represents. The research that gives rise to this article approaches the problem from the primary contact with the water resource that has been previously collector improperly domestic wastewater discharged by the inhabitants from Guabas (Guacarí, Valle del Cauca, Colombia). In contexts such as this, in which the probability of major investments is scarce, it is imperative to find alternatives, and consequently charge value natural elements, offering a range of possibilities that can be exploited. This is the case of aquatic plants, which act as filters and represent a sustainable alternative for the management of domestic wastewater, as evidenced in this research.

Keywords

Wastewater pollution; aquatic plants; filters.

I. INTRODUCCIÓN

La investigación que da origen a este artículo cobra un valor importante desde el punto de vista social y científico, puesto que busca abordar tal vez uno de los temas ambientales más delicados de la actual época: el tratamiento de las aguas residuales.

Desde el punto de vista social, habla de la relación establecida por los seres humanos con su entorno inmediato, tomando como contexto el corregimiento de Guabas del municipio de Guacarí (Valle del Cauca, Colombia), lugar donde la contaminación de las fuentes hídricas por el manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas es una de las principales causas de generación de enfermedades.

El proyecto hizo énfasis inicial en reconocer las condiciones fisicoquímicas presentes en el agua del zanjón *Pedro Concha* y el humedal *Videles*, antes y después de su paso por la zona con presencia de las plantas acuáticas. En una segunda etapa, no incluida en este artículo, se valoró la percepción de la comunidad frente al manejo dado a las aguas residuales, como punto de partida para mejorar las condiciones de la calidad del agua del humedal *Videles*.

El presente artículo pretende valorar el posible del manejo de las aguas residuales domésticas a partir del aporte que hacen las plantas acuáticas en la disminución del grado de contaminación por aguas residuales y de esta forma generar una alternativa importante para la anhelada intervención de la problemática por el camino de la sostenibilidad local.

II. REGISTRO SITUACIONAL

Los humedales a lo largo de la historia del hombre han sido –y siguen siendo– ecosistemas aliados en su tarea de supervivencia, pues gracias a la diversa oferta de servicios que le prestan al ser humano, sus actividades han estado ligadas –directa e indirectamente– en temas como la producción agrícola, el abastecimiento de agua, la producción de alimentos y las acciones culturales, entre otras. La dependencia del ser humano de los humedales, como las *madreviejás*, ha logrado generar desequilibrios ecosistémicos.

Una de las principales consecuencias de la intervención antrópica sobre los humedales es la contaminación de sus aguas como resultado del vertimiento indiscriminado de las aguas residuales producidas en actividades domésticas, industriales, agrícolas, etc. (Florez, 2000). En Colombia, en

la mayoría de los casos, las aguas residuales de diferentes tipos son vertidas directamente a las fuentes hídricas sin ningún tratamiento previo que permita disminuir la presencia de contaminantes que les han sido adicionados como resultado de las actividades antrópicas; actualmente, en el país, la cobertura de sistemas de tratamiento alcanza solamente el 12% (Madera, Silva, & Peña, 2005), con el agravante de que la mayoría de fuentes hídricas que sirven de receptoras de aguas residuales tienen contacto directo con comunidades que las utilizan en las diversas actividades citadas.

La zona de trabajo se encuentra enmarcada por los ríos Sabaletas y Guabas, afluentes del Cauca. Actualmente se comunica con el río Cauca a través de un canal que esta intervenido constantemente por actividades de limpieza realizadas para mantener la comunicación permanente de las aguas. Dicho canal cuenta con una obra de tipo hidráulico que busca regular el nivel del agua en el humedal, sobre todo en épocas de sequía, en las que impide su salida el consecuente desecamiento del canal (Figura 1).

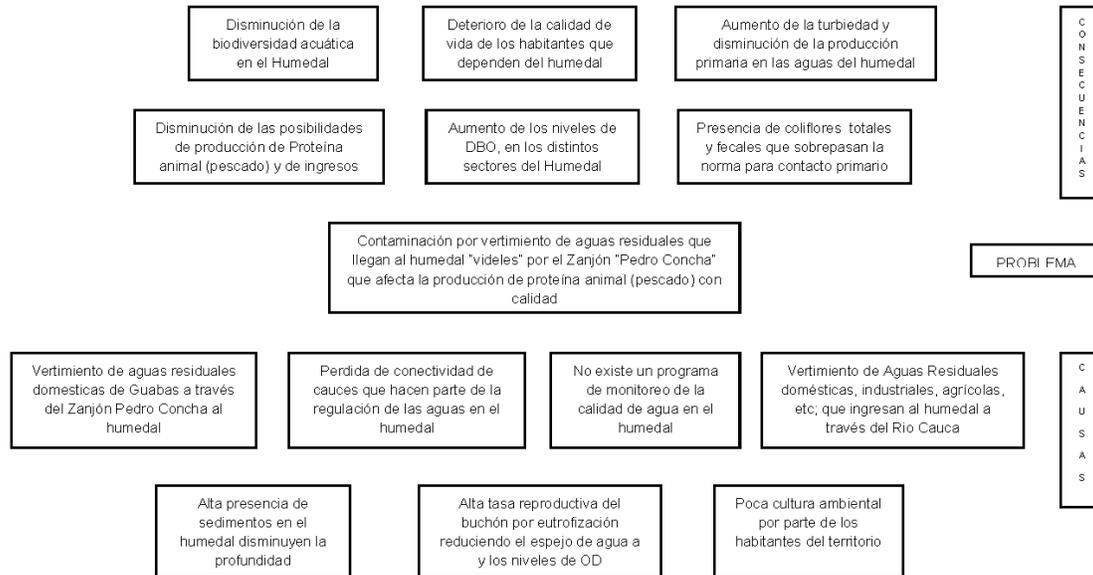
Varias especies de plantas acuáticas han logrado colonizar en un alto porcentaje el recorrido del zanjón.

Figura 1. Ubicación del área de trabajo



La situación ambiental muestra una problemática en el manejo del recurso agua, en la que los actores sociales e institucionales parecen no haberse percatado de su gran impacto ambiental, desconociendo así los costos ambientales, directos e indirectos, que produce, no sólo en los recursos naturales propios del ecosistema, sino también en la salud de los habitantes. El árbol de problemas de la Figura 2 esquematiza la situación registrada.

Figura 2. Árbol de problemas



III. MÉTODO

A. Caracterización del zanjón

Como se indicó, varias especies de plantas acuáticas han *colonizado* en gran medida el recorrido del zanjón. La hipótesis de este proyecto es que su presencia contribuye a mejorar la calidad del agua; es decir, que las plantas actúan, de manera espontánea, como un filtro fitopedológico que disminuye el nivel de contaminación de las aguas que fluyen por el zanjón, justo antes de su llegada al espejo de agua del humedal, reduciendo así su impacto negativo.

En el proyecto se realizaron mediciones *in situ* que permitieron obtener los datos de longitud y área del zanjón. Para el cálculo del caudal de aguas, se realizaron mediciones en las dos épocas climáticas del país (i.e., lluvia y sequía), utilizando una técnica artesanal, en la que se determina la velocidad de la corriente y la sección del cauce por el que circula o en estaciones de aforo por medición del nivel. Las medidas de la velocidad se realizan mediante sistemas de flotadores, trazadores.

En el proyecto se usaron un corcho y un cronómetro para registrar la velocidad en un tramo de diez metros, utilizando la fórmula:

$$v = d/t$$

La velocidad medida se corrige teniendo en cuenta la fórmula:

$$Vm = K * Vs$$

donde:

V_m = velocidad media

V_s = velocidad medida

K = Constante según el tipo de cauce (Tabla 1)

Tabla 1. Valores de K según tipo de cauce

Tipo de cauce	K
Cauce con vegetación	0,55
Cauce con grava y piedras	0,64
Cauce con grava normal	0,71
Cauce de tierra	0,74
Cauce de mampostería	0,78
Cauce de hormigón o enlucido	0,80
Cauce revestido de metal	0,81

De igual forma, se obtiene la medición del área por donde circula el agua en el zanjón y al obtener esta se aplica la fórmula:

$$Q = A \times V$$

donde:

Q = caudal,

A = área, y

V = velocidad corregida

Para el cálculo del caudal de aguas residuales vertidas al zanjón *Pedro Concha* se hicieron varias mediciones en la zona directa de vertimiento.

Para la confirmación del número de viviendas que vierten las aguas residuales al zanjón, se hizo una revisión

del sector del corregimiento que tiene conexión con el alcantarillado que vierte sus aguas residuales al zanjón Pedro Concha, apoyados en la disponibilidad de cartografía existente a nivel municipal.

Se realizaron recorridos observatorios en los que se identificaron las distintas especies acuáticas presentes en el zanjón, que incluyó la valoración del carácter, temporal o permanente, de su presencia.

Se realizó además la caracterización, desde el punto de vista biológico, en términos de tipo, reproducción y ciclo de vida, de las especies identificadas en el zanjón, a partir de la revisión bibliográfica y la comparación en herbario de las especie.

La estimación de las condiciones hidrológicas se realizó mediante un análisis de los resultados de los muestreos fisicoquímicos y microbiológicos en el afluente *Pedro Concha* y en el espejo de agua principal del humedal antes y después del vertimiento de las aguas residuales, incluyendo los parámetros que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros valorados

Parámetro	Unidad
pH	Unidad
Temperatura	° C
Turbiedad	UNT
Sólidos suspendidos	mg SS/l
DBO	mg O/l
DQO	mg O/l
Oxígeno Disuelto	mg O/l
Dureza total	mg CaCO ₃ /l
Dureza cálcica	mg CaCO ₃ /l
Dureza magnésica	mg CaCO ₃ /l
Calcio	mg Ca/l
Magnesio	mg Mg/l
Conductancia específica	
Fosfatos	mg PO ₄ /l
Nitratos	mg N-NO ₃ /l
Coliformes totales	NMP/100ml
Coliformes fecales	NMP/100ml

El proyecto estableció cuatro estaciones de muestreo, tres a lo largo del zanjón, una en el humedal. Cada muestreo se realizó tanto a nivel superficial, como a profundidad (entre 50 y 80 cms) con el objeto de valorar con mayor certeza la remoción realizada por las especies acuáticas.

Las muestras fueron colectadas siguiendo las recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales. Las muestras fueron transportadas al laboratorio de la CVC, teniendo en cuenta

las rutinas de manejo definidas por el laboratorio.

Para el análisis de microbiológicas se requirió de material estéril (envases de almacenamiento de muestras). Los envases no se abrieron hasta el momento de toma de muestras y no se enjuagaron con agua de la muestra, evitando que nada que no fuera la muestra, tocara el interior de la botella o la cara interna del tapón.

Para el muestreo se sumergió la botella boca abajo y se giró de manera que su boca apuntará hacia la corriente, creando el arrastre de la botella en el interior del agua, evitando el contacto con la orilla.

El muestreo se realizó usando recipientes intermedios. Se valoraron los resultados obtenidos en las distintas zonas establecidas para toma de muestras durante el recorrido del zanjón por comparación, para valorar así el impacto generado por las plantas acuáticas objeto de la investigación.

Se identificó el número de viviendas que vierten sus aguas residuales al Zanjón a través del alcantarillado local y se estimo su *aporte* de aguas residuales al caudal.

Para los cálculos se utilizaron datos de planeación municipal. El promedio departamental de producción de aguas residuales domésticas es de 0,00184 litros/segundo/habitante.

IV. RESULTADOS

A. Caracterización de la zona

La Tabla 3 presenta las características del Zanjón Pedro Concha en cuanto a longitud, profundidad, ancho y caudal.

Tabla 3. Caracterización del Zanjón (Fundación Entorno, 2003)

Variable	Dato	Observación
Longitud	2.300 metros	Distancia recorrida desde el sitio de vertimiento de las ARD hasta la desembocadura en el Humedal.
Profundidad promedio	0,65 metros	La profundidad varía a los 1210 metros, sitio donde el agua se canaliza para riego. Sus seis metros de profundidad son efecto del <i>trincho</i> que construyen sus usuarios.
Ancho mayor	5,3 metros	
Ancho menor	4,5 metros	
Caudal promedio	9 Lts/seg.	Medición realizada antes del vertimiento.
Caudal de las aguas vertidas	2,12 Lts./seg	La medición se ve alterada por un daño en el alcantarillado que incorpora al caudal las aguas de una vertiente de la zona.

B. *Presencia de las especies acuáticas a lo largo del zanjón*

Mediante la observación directa del área de trabajo se identificó la presencia de las especies acuáticas a lo largo del zanjón.

Las Figuras 3, 4 y 5 corresponden a las especies con mayor presencia. Un resumen de los hallazgos se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Especies de plantas identificadas en el Zanjón

Especie	Metros	Porcentaje
Heterantera reniformes	50	2,2
Typha latifolia (Figura 5)	200	8,7
Eichornia crassipes (Figura 3)	1000	43,5
Polygonum densiflorum (Figura 4)	400	17,4
Cyperus ferax	50	2,2
Jussieua repens L	150	6,5
Sin presencia	450	19,5

Figura 3. Eichornia crassipes (Morad, s.f.)



Figura 4. Polygonum densiflorum (Wixted, s.f.)



Figura 5. Typha latifolia (Hoborn, s.f.)



Los datos reflejan mayor presencia del *Buchón de agua*, especie que tiene la cualidad de remover gran cantidad de materia orgánica presente en las aguas contaminadas por aguas residuales domiciliarias [ARD], lo que ratifica los resultados obtenidos desde el reconocimiento de las características fisicoquímicas de las aguas del zanjón. Dicha acción depuradora se pone de manifiesto en los análisis realizados en el laboratorio, lo cuales, por ejemplo,

muestran el aumento en el nivel del oxígeno disuelto, que en el sitio del vertimiento llega a un valor menor a 0.5 mg O/l, pero que luego, por la acción del *Buchón de agua* y las otras especies termina elevándose paulatinamente hasta alcanzar nuevamente niveles de 3,66 mg O/l, a su llegada al humedal *Videles*. Las Tablas 5, 6, 7 y 8, resumen los muestreos realizados durante el recorrido del zanjón. Su información permite un primer análisis de referencia.

Tabla 5. Muestreo Estación 1

DIRECCION TECNICA AMBIENTAL			LABORATORIO AMBIENTAL		
ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS					
LOCALIDAD	: Guacarí				
FECHA DE MUESTREO	: 06/10/2009				
TIPO DE MUESTRA	: Agua Continental				
FUNCIONARIOS	: Liber Carabalí y Henry González				
CORRIENTE	: ZANJON PEDRO CONCHA				
ESTACION DE MUESTREC	: 100 m antes del vertimiento de las aguas residuales del Corregimiento de Guabas				
MUESTRA N°	: 1609			: Hora : 8:55	
Parametros	Un	1609	Parametros	Un	1609
pH	unidad.	7,85	Manganeso Total	mg Mn/l	---
Temperatura	C	23,8	Manganeso Disuelto	mg Mn/l	---
Color	UPC	---	Sodio Total	mg Na/l	---
Turbiedad	UNT	20,0	Sodio Disuelto	mg Na/l	---
Solidos Totales	mg ST/l	---	Potasio Total	mg K/l	---
Solidos Suspendidos	mg SS/l	9,00	Potasio Disuelto	mg K/l	---
Solidos Disueltos	mg SD/l	---	Cobre Total	mg Cu/l	---
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O/l	2,96	Cobre Disuelto	mg Cu/l	---
Demanda Química de Oxígeno	mg O/l	6,20	Zinc Total	mg Zn/l	---
Oxígeno Disuelto	mg O/l	4,66	Zinc Disuelto	mg Zn/l	---
Dureza Total	mg CaCO ₃ /l	278	Cadmio Total	mg Cd/l	---
Dureza Calcica	mg CaCO ₃ /l	160	Cadmio Disuelto	mg Cd/l	---
Dureza Magnesica	mg CaCO ₃ /l	118	Cromo Total	mg Cr/l	---
Calcio	mg Ca/l	64,1	Cromo Disuelto	mg Cr/l	---
Magnesio	mg Mg/l	28,7	Niquel Total	mg Ni/l	---
Alcalinidad a la Fenol	mg CaCO ₃ /l	---	Niquel Disuelto	mg Ni/l	---
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /l	---	Plomo Total	mg Pb/l	---
Carbonatos	mg CaCO ₃ /l	---	Plomo Disuelto	mg Pb/l	---
Bicarbonatos	mg CaCO ₃ /l	---	Mercurio	µg Hg/l	---
Conductancia Especifica	µS/cm	598	Cianuros	µg CN ⁻ /l	---
Sulfatos	mg SO ₄ /l	---	Fluoruros	mg F/l	---
Fosfatos	mg PO ₄ /l	0,176	Fenoles	mg Fenol/l	---
Fosforo Total	mg P/l	---	Cloruros	mg Cl/l	---
Nitrógeno Total	mg N/l	---	Transparencia (Secchi)	m	---
Nitrogeno Amoniacal	mg N-NH ₃ /l	---	Clorofila	mg clorofila a/l	---
Nitratos	mg N-NO ₃ /l	<0,114	Profundidad	m	---
Nitritos	mg N-NO ₂ /l	---	Salinidad	%	0,02
Hierro Total	mg Fe/l	---	Coliformes Totales	NMP/100 ml	1,50E+05
Hierro Disuelto	mg Fe/l	---	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2,30E+04
OBSERVACIONES	:				

Tabla 6. Muestreo Estación 2

ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS					
LOCALIDAD	: Guacarí				
FECHA DE MUESTREO	: 06/10/2009				
TIPO DE MUESTRA	: Agua Continental				
FUNCIONARIOS	: Liber Carabalí y Henry González				
CORRIENTE	: ZANJON PEDRO CONCHA				
ESTACION DE MUESTREC	: 100 m después del vertimiento de las aguas residuales del Corregimiento de Guabas				
MUESTRA N°	: 1610			: Hora : 9:10	
Parametros	Un	1610	Parametros	Un	1610
pH	unidad.	6,90	Manganeso Total	mg Mn/l	---
Temperatura	C	24,1	Manganeso Disuelto	mg Mn/l	---
Color	UPC	---	Sodio Total	mg Na/l	---
Turbiedad	UNT	28,0	Sodio Disuelto	mg Na/l	---
Solidos Totales	mg ST/l	---	Potasio Total	mg K/l	---
Solidos Suspendidos	mg SS/l	22,0	Potasio Disuelto	mg K/l	---
Solidos Disueltos	mg SD/l	---	Cobre Total	mg Cu/l	---
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O/l	17,7	Cobre Disuelto	mg Cu/l	---
Demanda Química de Oxígeno	mg O/l	66,1	Zinc Total	mg Zn/l	---
Oxígeno Disuelto	mg O/l	<0,5	Zinc Disuelto	mg Zn/l	---
Dureza Total	mg CaCO ₃ /l	146	Cadmio Total	mg Cd/l	---
Dureza Calcica	mg CaCO ₃ /l	82,0	Cadmio Disuelto	mg Cd/l	---
Dureza Magnesica	mg CaCO ₃ /l	64,0	Cromo Total	mg Cr/l	---
Calcio	mg Ca/l	32,9	Cromo Disuelto	mg Cr/l	---
Magnesio	mg Mg/l	15,6	Niquel Total	mg Ni/l	---
Alcalinidad a la Fenol	mg CaCO ₃ /l	---	Niquel Disuelto	mg Ni/l	---
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /l	---	Plomo Total	mg Pb/l	---
Carbonatos	mg CaCO ₃ /l	---	Plomo Disuelto	mg Pb/l	---
Bicarbonatos	mg CaCO ₃ /l	---	Mercurio	µg Hg/l	---
Conductancia Especifica	µS/cm	434	Cianuros	µg CN ⁻ /l	---
Sulfatos	mg SO ₄ /l	---	Fluoruros	mg F/l	---
Fosfatos	mg PO ₄ /l	1,330	Fenoles	mg Fenol/l	---
Fosforo Total	mg P/l	---	Cloruros	mg Cl/l	---
Nitrógeno Total	mg N/l	---	Transparencia (Secchi)	m	---
Nitrogeno Amoniacal	mg N-NH ₃ /l	---	Clorofila	mg clorofila a/l	---
Nitratos	mg N-NO ₃ /l	0,694	Profundidad	m	---
Nitritos	mg N-NO ₂ /l	---	Salinidad	%	0,01
Hierro Total	mg Fe/l	---	Coliformes Totales	NMP/100 ml	6,60E+07
Hierro Disuelto	mg Fe/l	---	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2,40E+07
OBSERVACIONES	:				

Tabla 7. Muestreo Estación 3

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS					
LOCALIDAD	: Guacará				
FECHA DE MUESTREO	: 06/10/2009				
TIPO DE MUESTRA	: Agua Continental				
FUNCIONARIOS	: Liber Carabalí y Henry González				
CORRIENTE	: ZANJON PEDRO CONCHA				
ESTACION DE MUESTREO	: 1100 m después del vertimiento de las aguas residuales del Corregimiento de Guabas				
MUESTRA N°	: 1611			: Hora : 9:30	
Parametros	Un	1611	Parametros	Un	1611
pH	unidad.	7,60	Manganeso Total	mg Mn/l	---
Temperatura	C	23,4	Manganeso Disuelto	mg Mn/l	---
Color	UPC	501	Sodio Total	mg Na/l	---
Turbiedad	UNT	31,0	Sodio Disuelto	mg Na/l	---
Solidos Totales	mg ST/l	---	Potasio Total	mg K/l	---
Solidos Suspendidos	mg SS/l	67,0	Potasio Disuelto	mg K/l	---
Solidos Disueltos	mg SD/l	---	Cobre Total	mg Cu/l	---
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O/l	7,49	Cobre Disuelto	mg Cu/l	---
Demanda Química de Oxígeno	mg O/l	29,3	Zinc Total	mg Zn/l	---
Oxígeno Disuelto	mg O/l	2,06	Zinc Disuelto	mg Zn/l	---
Dureza Total	mg CaCO ₃ /l	202	Cadmio Total	mg Cd/l	---
Dureza Calcica	mg CaCO ₃ /l	118	Cadmio Disuelto	mg Cd/l	---
Dureza Magnesica	mg CaCO ₃ /l	84,0	Cromo Total	mg Cr/l	---
Calcio	mg Ca/l	47,3	Cromo Disuelto	mg Cr/l	---
Magnesio	mg Mg/l	20,4	Niquel Total	mg Ni/l	---
Alcalinidad a la Fenol	mg CaCO ₃ /l	---	Niquel Disuelto	mg Ni/l	---
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /l	---	Plomo Total	mg Pb/l	---
Carbonatos	mg CaCO ₃ /l	---	Plomo Disuelto	mg Pb/l	---
Bicarbonatos	mg CaCO ₃ /l	---	Mercurio	µg Hg/l	---
Conductancia Especifica	µS/cm	---	Cianuros	µg CN/l	---
Sulfatos	mg SO ₄ /l	---	Fluoruros	mg F/l	---
Fosfatos	mg PO ₄ /l	1,11	Fenoles	mg Fenol/l	---
Fosforo Total	mg P/l	---	Cloruros	mg Cl/l	---
Nitrógeno Total	mg N/l	---	Transparencia (Secchi)	m	---
Nitrogeno Amoniacal	mg N-NH ₃ /l	---	Clorofila	mg clorofila a/l	---
Nitratos	mg N-NO ₃ /l	1,039	Profundidad	m	---
Nitritos	mg N-NO ₂ /l	---	Salinidad	%	---
Hierro Total	mg Fe/l	---	Coliformes Totales	NMP/100 ml	1,50E+05
Hierro Disuelto	mg Fe/l	---	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	9,10E+03
OBSERVACIONES	:				

Tabla 8. Muestreo Estación 4

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS					
LOCALIDAD	: Guacará				
FECHA DE MUESTREO	: 06/10/2009				
TIPO DE MUESTRA	: Agua Continental				
FUNCIONARIOS	: Liber Carabalí y Henry González				
CORRIENTE	: HUMEDAL VIDELES				
ESTACION DE MUESTREO	: Desembocadura del Zanjón Pedro Concha al Humedal Videles				
MUESTRA N°	: 1612			: Hora : 10:00	
Parametros	Un	1612	Parametros	Un	1612
pH	unidad.	8,31	Manganeso Total	mg Mn/l	---
Temperatura	C	25,9	Manganeso Disuelto	mg Mn/l	---
Color	UPC	---	Sodio Total	mg Na/l	---
Turbiedad	UNT	114	Sodio Disuelto	mg Na/l	---
Solidos Totales	mg ST/l	---	Potasio Total	mg K/l	---
Solidos Suspendidos	mg SS/l	48,3	Potasio Disuelto	mg K/l	---
Solidos Disueltos	mg SD/l	---	Cobre Total	mg Cu/l	---
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O/l	6,33	Cobre Disuelto	mg Cu/l	---
Demanda Química de Oxígeno	mg O/l	30,7	Zinc Total	mg Zn/l	---
Oxígeno Disuelto	mg O/l	3,56	Zinc Disuelto	mg Zn/l	---
Dureza Total	mg CaCO ₃ /l	224	Cadmio Total	mg Cd/l	---
Dureza Calcica	mg CaCO ₃ /l	112	Cadmio Disuelto	mg Cd/l	---
Dureza Magnesica	mg CaCO ₃ /l	112	Cromo Total	mg Cr/l	---
Calcio	mg Ca/l	44,9	Cromo Disuelto	mg Cr/l	---
Magnesio	mg Mg/l	27,2	Niquel Total	mg Ni/l	---
Alcalinidad a la Fenol	mg CaCO ₃ /l	---	Niquel Disuelto	mg Ni/l	---
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /l	---	Plomo Total	mg Pb/l	---
Carbonatos	mg CaCO ₃ /l	---	Plomo Disuelto	mg Pb/l	---
Bicarbonatos	mg CaCO ₃ /l	---	Mercurio	µg Hg/l	---
Conductancia Especifica	µS/cm	537	Cianuros	µg CN/l	---
Sulfatos	mg SO ₄ /l	---	Fluoruros	mg F/l	---
Fosfatos	mg PO ₄ /l	<0,0640	Fenoles	mg Fenol/l	---
Fosforo Total	mg P/l	---	Cloruros	mg Cl/l	---
Nitrógeno Total	mg N/l	---	Transparencia (Secchi)	m	0,25
Nitrogeno Amoniacal	mg N-NH ₃ /l	---	Clorofila	mg clorofila a/l	0,0359
Nitratos	mg N-NO ₃ /l	0,754	Profundidad	m	1,00
Nitritos	mg N-NO ₂ /l	---	Salinidad	%	0,02
Hierro Total	mg Fe/l	---	Coliformes Totales	NMP/100 ml	4,30E+04
Hierro Disuelto	mg Fe/l	---	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	9,10E+03
OBSERVACIONES	:				

C. Medición de parámetros

Los resultados de los muestreos de aguas realizados permiten presentar un análisis de las principales variables relacionadas con la afectación de la calidad de las aguas del zanjón y la madreveja.

1) pH

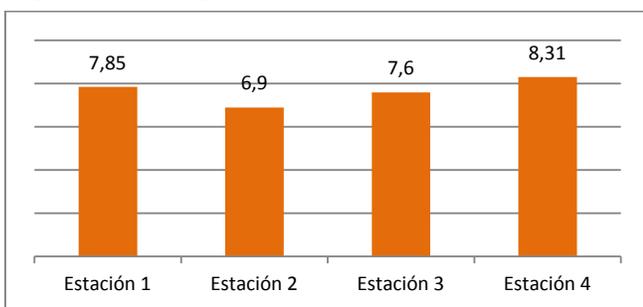
El pH es una medida de la concentración de hidrogeniones de una solución, esto es de su carácter ácido, neutro o alcalino; su escala va de 0 a 14; 7 se considera neutro. En las aguas naturales, el pH es una consecuencia del equilibrio ácido-base alcanzado por varios compuestos disueltos, sales y gases.

El pH de las corrientes superficiales depende, entre otras cosas, del poder disolvente del agua sobre el suelo y la roca de las cuencas de drenaje. Las aguas crudas o naturales tienen una característica llamada *capacidad amortiguadora* que depende de las cantidades presentes de sustancias ácidas o alcalinas, es decir, de amortiguadores. El agua destilada, por ejemplo, no tiene ninguna protección amortiguadora.

Como se aprecia en la Figura 5, los resultados obtenidos en este muestreo presentan un rango entre 6,90 y 8,35.

El valor más bajo se presenta en la zona de descarga del alcantarillado; la presencia de hidroxilos en los otros muestreos va aumentando, seguramente por la presencia de cultivos de caña de azúcar, los cuales, por efecto de la forma como se fertilizan, generan gran residualidad de sales que terminan afectando la calidad de las aguas en la zona.

Figura 5. Valor de pH



De igual forma, los resultados permiten deducir que las condiciones de vida acuática, a pesar del vertimiento, no están siendo alteradas drásticamente, pues, en cuanto a la relación del pH con la vida de peces e invertebrados

acuáticos se sabe que el rango de pH que no es letal está comprendido entre 5 y 9. Además, al ser el pH un factor importante en sistemas químicos biológicos de las aguas naturales: en general los organismos no pueden tolerar valores extremos de pH y además de afectar directamente a microorganismos y enzimas microbiales, tiene influencia en la disociación de muchas moléculas que a su vez actúan sobre los microorganismos, un aspecto que se ve favorecido al analizar los niveles del pH que se muestran en la Figura 5.

2) Oxígeno disuelto

La determinación del oxígeno disuelto en todo sistema de agua natural, es de importancia fundamental para conocer la distribución de organismos asociados en los estudios de oxidación y descomposición de materia orgánica y para estimar la productividad.

El oxígeno que sirve para la respiración de la fauna y flora sumergidas y para la oxidación y degradación por intermedio de microorganismos de la materia orgánica presente en el agua, no es el que se encuentra química y fuertemente unido al hidrógeno en la molécula de agua y que constituye una gran parte (89%) de ella, sino la pequeña cantidad que se halla físicamente disuelta en el líquido, es decir, la que está en forma de moléculas de O₂ disuelto con las de agua (H₂O).

Esta cantidad normal en el agua es tan reducida que no sobrepasa, en condiciones comunes de temperatura y presión, los 9 mg./L. En corrientes superficiales, como en un río, el oxígeno disuelto hallado es principalmente el que el agua ha incorporado al establecer contacto con el aire en cascadas, rizados y rápidos. En cuerpos de agua lenticos (e.g., lagunas, ciénagas y madrevejas) este es producido principalmente por los fotosintetizadores acuáticos.

La concentración de saturación de oxígeno disuelto en las aguas varía con la temperatura, la presión parcial de oxígeno y la presencia de sales en la solución, suben con el aumento de presión y disminuyen con el incremento de temperatura.

Aunque el carácter lentico de la madreveja no permite una mezcla considerable de las aguas con el aire, el nivel de viento sobre el amplio espejo de agua del humedal genera un rizamiento de la superficie que podría jugar un papel en la oxigenación del agua.

La solubilidad del oxígeno del aire en las aguas dulces y limpias está comprendida entre los 14.6 mg/l, a 0°C y

alrededor de 7 mg/l, a 35°C, bajo la presión de la atmósfera, con lo cual los datos reportados para Videles estarían dentro de rangos normales.

El oxígeno es uno de los parámetros de mayor interés en la investigación de la calidad de las aguas y es utilizado como indicador de la condición satisfactoria de aquellas; solo cuando las aguas tienen mucha materia orgánica no se presentan concentraciones de OD próximas a la saturación.

Con base en la distribución de oxígeno en el agua, la columna líquida puede dividirse en zona trofогénica y trofолítica. En el primer caso existe mayor producción de oxígeno que consumo.

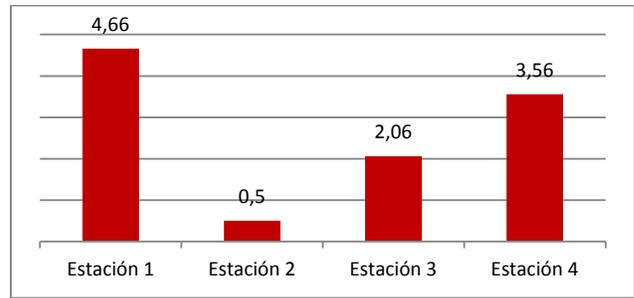
La relación entre respiración (R) y producción (P) es un índice común para determinar el estado trófico de un cuerpo acuático. Existen lugares donde no hay oxígeno (denominados áreas anóxicas), en estas zonas los procesos biológicos predominantes son la descomposición y reducciones bacterianas anaeróbicas, principalmente. Sin oxígeno disuelto a un apreciable nivel, muchos organismos no podrían vivir en las aguas.

Si se observan los datos de las Estaciones 3 y 4 (Figura 6), es evidente que el zanjón Pedro Concha y sus fotosintetizadores (i.e., el fitoplancton, las algas y las plantas acuáticas) está cumpliendo una función muy importante en el mejoramiento de este parámetro fundamental para la biota acuática y los procesos biológicos que se dan en el mismo, y por supuesto, en el humedal, sitio al que finalmente llegan las aguas.

Es muy importante destacar aquí que las muestras de recuperación de este parámetro, fundamental para la biota del ecosistema, están asociadas a la presencia de muy buena cantidad de plantas acuáticas que están actuando como filtros fitopedológicos, sin desconocer además la acción de una serie de microorganismos asociados, que esta investigación, lastimosamente, no incluyó para su estudio.

Los datos obtenidos en la Estación 2 dan cuenta de la influencia de la materia orgánica presente en las aguas residuales vertidas desde el alcantarillado en la disminución drástica del oxígeno disuelto presente en las aguas del zanjón, pues su valor pasa de 4,66 mg/l a uno menor a 0,5 mg/l, según los resultados de los estudios de laboratorio realizados.

Figura 6. Valor de Oxígeno Disuelto (mg O/l)



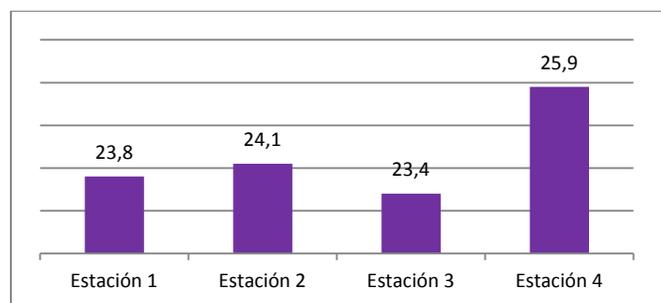
3) Temperatura

Como variable de polución, la temperatura está definida como la desviación de la temperatura normal. La temperatura de equilibrio es aquella que se presenta en una corriente cuando no hay descargas o procesos que la alteren.

Aun cuando en la zona de estudio no ocurren descargas de aguas que puedan alterar este parámetro, él se convierte en un buen indicador de la concentración del oxígeno disuelto y, lo que es más importante, del porcentaje de saturación de oxígeno del agua, que es el verdadero condicionante de la vida en las corrientes. Por esta razón, este parámetro se constituye en un descriptor de la calidad del agua.

La variación que se muestra en la Figura 7 no es significativa, pues está en un rango entre 23,4 y 25,9, una diferencia de solo 2.5 grados centígrados. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la medición se hizo con diferencia horaria en la jornada de la mañana y que además en el resultado influye la sombra ofrecida por algunas especies de árboles que terminan creando microclimas en algunos sectores.

Figura 7. Temperatura (°C)



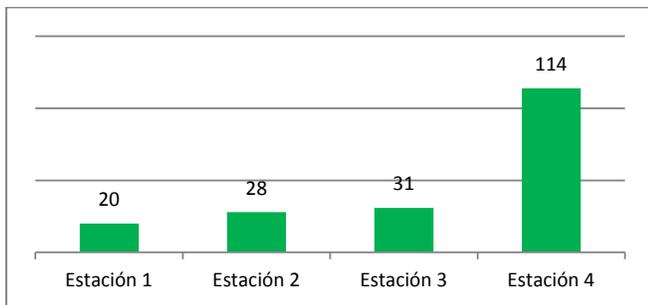
4) Turbiedad

Este parámetro muestra la penetración de la luz en la columna de agua, un aspecto muy importante porque

permite conocer el tamaño de la zona eufótica, en la cual ocurre la fotosíntesis y hay renovación de oxígeno por procesos biológicos.

Las aguas se pueden considerar óptimas si se encuentran niveles menores que 30 UNT. Como se observa en la Figura 8, la turbiedad sólo presenta un pico alto de los cuatro puntos estudiados; sin embargo, la Estación 4 que es la que presenta 114 UNT, tiene la característica de ser la estación en donde se encuentran las aguas del zanjón con la madreveja Videles, un lugar donde el nivel de turbidez se ve fuertemente aumentado, porque las aguas de la madreveja reciben las aguas provenientes del río Cauca.

Figura 8. Valor de Turbiedad (UNT)

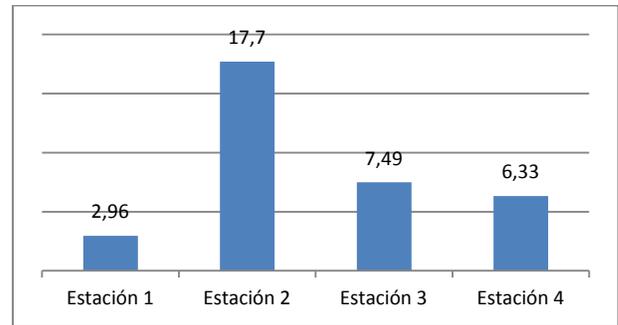


5) Demanda Biológica de oxígeno [DBO]

Este parámetro mide el oxígeno requerido para la degradación bioquímica de la materia orgánica y la rapidez de su descomposición por microorganismos en la muestra de agua. De acuerdo con los trabajos sobre calidad de agua se consideran aguas de calidad óptima, si los valores son menores que 1.0 mg/l, buena para niveles mayores que 1.0 y menores que 3.0 mg/l.

Como se puede ver en la Figura 9 los valores de DBO₅ aparecen especialmente elevados en la Estación 2, lo cual está asociado a la presencia de aguas residuales que son vertidas en estas zonas del zanjón Pedro Concha y que vienen conducidas por tubería perteneciente al alcantarillado del corregimiento, el cual capta estas aguas de un valor aproximado de 230 viviendas. Al analizar las Estaciones 3 y 4 se observa que la demanda biológica de oxígeno baja de manera apreciable, lo cual está asociado a la presencia de especies acuáticas como el Buchón de agua, el Junco, el Cyperus, la Heteranthera y el Tabaquillo, quienes están actuando de tal manera que inciden en la remoción de materia orgánica y aumentan la disposición de oxígeno en el área, gracias al intercambio que hacen como efecto de la fotosíntesis.

Figura 9. Demanda Biológica de oxígeno [DBO] (mg O/l)



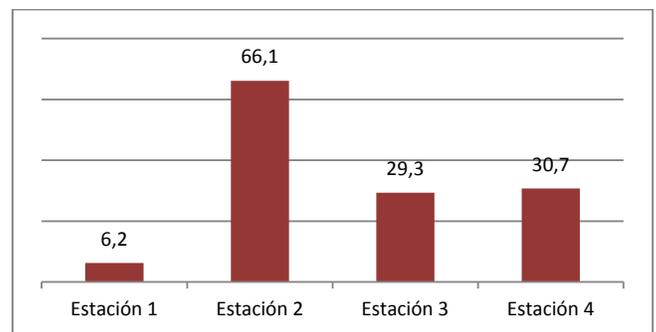
6) Demanda Química de Oxígeno [DQO]

Este parámetro mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l).

Para el caso en particular, la Figura 10 muestra que la Estación 3 es donde mayor demanda química de oxígeno hay, puesto que las ARD vertidas están elevando la presencia en el zanjón de materia orgánica.

De igual manera, como se sucedió con la DBO, en las Estaciones 3 y 4 se evidencia una disminución de la presencia de materia orgánica, que está asociada a la acción depuradora y de remoción ejercida por las especies de plantas acuáticas presentes en el zanjón.

Figura 10. Demanda Química de Oxígeno [DQO] (mg O/l)



7) Coliformes Fecales

El agua puede portar microorganismos de origen entérico (coliformes fecales) al recibir excretas humanas o animales.

Aunque el agua residual doméstica puede tener millones de bacterias por litro, por lo general, no todas las enterobacterias son patógenas. Sin embargo, a veces pueden estar acompañadas de *Salmonella* (agente de la fiebre tifoidea), *Vibrión Colérico* (agente del cólera) o *Shigella*

(causante de la disentería bacilar), los cuales pueden ser transmitidos al hombre por contacto primario por ingestión.

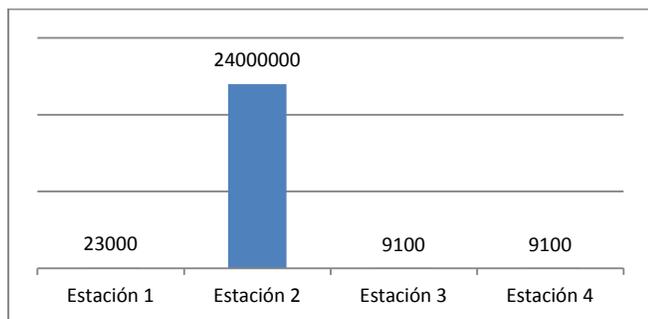
Los microorganismos patógenos humanos, además de la flora saprófita normal, presentes en las aguas de alcantarilla, son, entre otros: bacterias (bacilos tifoideo y paratifoideo, tuberculosis, disentería, vibrión colérico, bacterias piógenas), hongos patógenos (cándida, leptospiros patógenas), virus patógenos (poliomielitis, hepatitis, enterovirus diversos), y huevos de metazoos (tenias, ascáridos, tricocéfalos).

Se comprende entonces que para comprobar la existencia de contaminación fecal, y por lo tanto la posible existencia de microorganismos patógenos, basta demostrar que las aguas contienen coliformes o enterococos fecales.

Para la detección de contaminación fecal se han diseñado técnicas bacteriológicas que permiten revelar la magnitud de la contaminación fecal con base en los microorganismos de las heces contenidos en el agua. El hallazgo de esta condición debiera conducir, cuando el agua es empleada para la recreación por contacto primario, a la localización de las fuentes de contaminación y a la corrección de la situación.

Los resultados obtenidos en el presente estudio (Figura 11) revelan la presencia de contaminación fecal y si bien en las Estaciones 3 y 4 estos valores superan la norma colombiana para contacto primario (1.000 NMP/100 ml), lo importante es valorar la acción de las plantas acuáticas en términos de remoción. Para este parámetro es importante reconocer que la acción de la radiación solar también ayuda en la disminución de la presencia de contaminación por residuos fecales.

Figura 11. Coliformes Fecales



Es muy importante tener en cuenta que a pesar de que la disminución del NMP de coliformes fecales es representativa, no alcanza a ser suficiente, lo cual genera

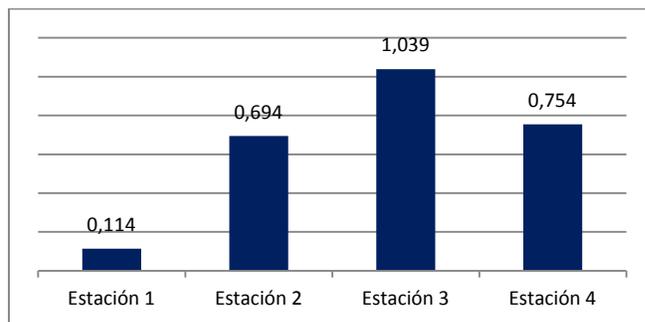
un alto riesgo de contaminación y afectación de la salubridad de las personas que tienen contacto primario con las aguas del zanjón y por su puesto del humedal *Videles*.

8) Nitratos

Los nitratos en concentraciones entre 1 a 10 mg/l afectan la calidad del agua deteriorándola hasta en un 50%, mientras que concentraciones de 2 mg/l representan solo una disminución del 20%.

En las cuatro Estaciones estudiadas (Figura 12) se presentan concentraciones de nitratos con valores que alcanzan el valor más alto en la estación tres con un valor de 1.039 mg/L, lo cual permite afirmar que el grado deterioro de la calidad del agua no supera el 20%. Además, la presencia de nitratos en el zanjón y en el Humedal termina siendo afectada por la presencia de prácticas agrícolas de fertilización en el cultivo de la caña de azúcar, que al parecer afectan la concentración de nitratos, sobre todo en época de lluvia, a través de procesos de filtración.

Figura 12. Valor de Nitratos presentes (mg N-NO₃/l)



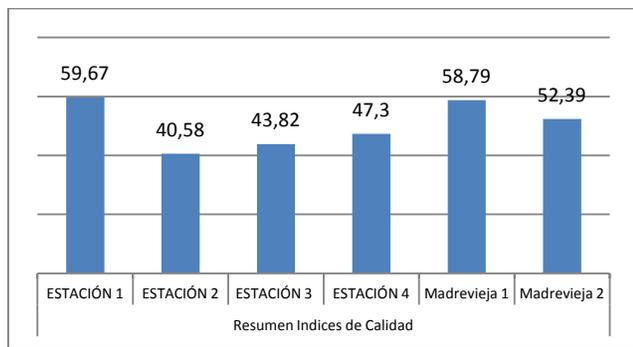
9) Índice de calidad de aguas

Se obtuvo el resultado que aparece en la Figura 13, el mismo que pone en evidencia la recuperación progresiva de la calidad del agua después de que en la segunda estación son captadas las aguas residuales domésticas.

En la Estación 4 y en la muestra Madre Vieja 1, se ve claramente la recuperación de la calidad del agua, la que según la ponderación que se hace y la clasificación de las aguas, está catalogada como media, por estar en el rango entre 51 y 70.

En la muestra Madre Vieja 2 disminuye la calidad. Aunque se mantiene en el rango de calidad media, es evidente el efecto de la conexión del zanjón con las aguas río Cauca, reconocidas por su deficiente calidad.

Figura 13. Índice de calidad - resumen



V. CONCLUSIONES

Se identifica claramente la presencia representativa de cinco especies de plantas acuáticas y semi-acuáticas, i.e., *Heteranthera*, *Buchón de Agua*, *Junco*, *Cyperus* y *Tabaquillo*, que de acuerdo a sus características morfológicas y fisiológicas actúan como depuradoras de las aguas contaminadas por aguas residuales domésticas, especialmente sobre la carga orgánica que ellas manejan. Es importante destacar la acción depuradora del Junco y el Buchón de Agua, las cuales son, en general, reconocidas, y que en el caso particular, se destacan por su alta presencia en el recorrido del zanjón.

Las plantas acuáticas están ejerciendo una acción depuradora sobre las aguas presentes en el zanjón Pedro Concha; los análisis de laboratorio realizados así lo demuestran. Esto podría evidenciarse, en síntesis, con el resultado del parámetro de *Oxígeno Disuelto* presente, el cual, en la zona de vertimiento de las ARD, presenta un valor menor a 0,05 mg O/l y luego, en la última zona de muestreo, aparece con un valor de 3,63 mg O/l. Por lo tanto, es importante implementar una propuesta que permita mejorar el tratamiento y aprovechar esta consideración natural.

Los resultados obtenidos a través del índice de calidad de aguas aplicado muestra evidentemente la acción depuradora de las aguas, sin desconocer con esto que hayan otras actividades marcadas que pueden estar incidiendo en el proceso depurador, tal como la acción de microorganismos, aunque, de igual manera, estos microorganismos se ven atraídos por la presencia de raíces de tipo rizoma y de estolón, que ayudan a acumular gran cantidad de materia orgánica y se convierten en el hábitat idóneo para la reproducción de los microorganismos.

El índice de calidad de aguas muestra que las aguas al llegar al humedal ya tienen una recuperación

representativa, pues alcanzan el rango *medio* (51 – 70); sin embargo hay que trabajar para mejorar las condiciones del agua y por lo menos estar en el rango *bueno* (71 – 90), porque el uso que le da la comunidad a las aguas del humedal es de tipo primario. Por ende, se deben generar acciones que permitan reducir la probabilidad de generar problemas de salubridad en la población.

El zanjón Pedro Concha expone unas condiciones físicas, químicas y biológicas importantes, que permiten pensar en su optimización en función de la mejora del filtro fitopedológico que espontáneamente viene actuando, lo que podría servir como experiencia piloto para el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas.

Las condiciones de alta exposición a los rayos solares de las aguas del zanjón Pedro Concha, gracias a la poca vegetación arbórea, terminan facilitando procesos de descomposición que coadyuvan en el proceso natural de depuración de las aguas del zanjón.

VI. TRABAJO FUTURO

Con base en los resultados obtenidos, los investigadores recomiendan:

- Realizar un estudio detallado de las aguas del zanjón *Pedro Concha* después de la zona de vertimiento de las ARD, desde el punto de vista biológico y químico, que permita conocer con precisión la acción de las plantas acuáticas y los microorganismos que están actuando en el proceso de depuración de las aguas antes de su llegada al humedal Videles.
- Implementar una PTAR piloto que permita valorar la acción de los filtros fitopedológicos, como estrategia para el manejo natural de las aguas residuales domésticas generadas.
- Realizar un control periódico del crecimiento desmesurado de algunas especies de plantas acuáticas, con el objeto de mejorar la entrada de los rayos solares, favoreciendo de ésta forma la acción de mitigación de la contaminación por patógenos.
- Valorar la posibilidad de instalar filtros con gravas y arenas que coadyuvan en el proceso natural de limpieza que se presenta en el zanjón.
- Instalar una estación de monitoreo permanente que permita controlar periódicamente el nivel de contaminación generado por las ARD.

VII. REFERENCIAS

- Florez, P.E. (2000). Borrador de Propuesta Plan de Manejo Integral del Humedal Videles [Documento Interno]. Guadalajara de Buga: Colombia
- Fundación Entorno (2003). *Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de la madreveja Videles. Datos 04/04/2003 correspondientes al período de verano y 09/06/2003 correspondientes al invierno* [Documento Interno del Municipio de Guacarí, Colombia].
- Hobern, D. (s.f.) *Typha latifolia* [fotografía, vía Flickr]. Recuperado de <http://www.flickr.com/photos/dhobern/7914510810/>
- Madera, C., Silva, J.P., & Peña, M. (2005). Sistemas Combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanques sépticos-filtro anaerobio y humedales superficiales. *Ingeniería y Competitividad*, 7(1), 5-10. Disponible en <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/xmlui/handle/10893/1589>
- Morad, A.F. (s.f.). *Eichornia crassipes* [fotografía, vía Flickr]. Recuperado de <http://www.flickr.com/photos/adaduitokla/6071443028/>
- Wixted, K. (s.f.). *Polygonum densiflorum* [fotografía, vía Flickr]. Recuperado de <http://www.flickr.com/photos/kwixted0/3882571597/>

VIII. CURRÍCULOS

Edinson Tigreros Herrera. Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional de Palmira; Especialista en Informática y Multimedia de la Fundación Universitaria Los Libertadores de Bogotá; Magister en Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible de la Universidad Santiago de Cali. Ha participado en diversos procesos a nivel nacional, regional y local para el desarrollo de la Educación Ambiental en las instituciones educativas de la región, propiciados por el Ministerio de Educación Nacional [MEN]; el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca [CVC]. Fue asesor educativo del SENA y docente en las áreas de ciencias naturales y educación ambiental en la *Institución Educativa Pedro Vicente Abadía* del municipio de Guacarí, entidad cuyo proyecto ambiental escolar ha merecido premios y reconocimientos por parte del MEN y la CVC. Es el Director Administrativo de la Alcaldía de Guacarí, entidad de la que fue Secretario de Planeación y Desarrollo Territorial. Es docente de la Universidad del Valle.

Parménides Ocampo Marín. Contador Público de la Universidad Central del Valle [UCEVA] (Tuluá), Especialista en Gerencia financiera con énfasis internacional de la Universidad Libre de Cali y Magister en Educación Ambiental y Desarrollo Sostenible de la Universidad Santiago de Cali. Docente de contabilidad, costos, tributaria y finanzas, y director del Programa de Contaduría Pública y el Departamento de Economía, Contabilidad y Finanzas de la Universidad Santiago de Cali.