



MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS COMO BIOINDICADORES DE LAS AGUAS NEGRAS TRATADAS A TRAVES DEL SISTEMA DE ERIALES DE OXIDACION

Lic. Biología
Judith Yamile Ortega Contreras
Universidad Francisco de Paula
Santander

RESUMEN

Para la descontaminación de las aguas servidas de Cúcuta en la zona de atalaya, se está aplicando un sistema natural para el tratamiento de aguas negras denominado eriales de oxidación. La efectividad del proceso se determina a través del análisis de Macroinvertebrados acuáticos utilizados como indicadores biológicos de la calidad del agua.

Con el fin de identificar los cambios del ecosistema acuático a través de su trayectoria por los eriales se establecieron nueve estaciones de muestreo.

Se encontraron 38 géneros diferentes representantes de los órdenes: Diptera, Coleóptera, hemíptera, Odonata, Basommatophora, macroinvertebrados acuáticos típicos de aguas contaminadas y moderadamente contaminadas.

INTRODUCCION

Las actividades del hombre afectan drásticamente las condiciones naturales del agua, debido a la incorporación de agentes poluciantes que alteran en forma negativa las propiedades físico-químicas y las características bióticas asociadas a los ecosistemas acuáticos.

El municipio de Cúcuta construyó un nuevo acueducto, que provee a la población de un mejor servicio del preciado líquido en las zonas donde este recurso es escaso. La obra produce una demanda de 1000 L/s de agua, que una vez servida cierta cantidad originará aguas negras.

Para minimizar el efecto contaminante de las aguas negras se creó un sistema de tratamiento natural denominado eriales de oxidación, el cual cumple en la zona doble función ambiental como es la habilitación de los terrenos eriales para la producción primaria, y , el reciclaje del agua para su reutilización.

La Limnología o ecología acuática tiene por objeto el estudio de las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce y la incidencia de cambios ambientales que afectan la estructura biológica y las características físico-químicas del ecosistema acuático.

En el departamento se han realizado estudios limnológicos que proporcionan datos de evaluación ecológica basados en análisis bacteriólogos y físico-químicos, dejando sin explorar la fauna bentónica como componente fundamental del agua.

Debido al desconocimiento en el campo biológico de las comunidades bentónicas y su relación con la ecología, en el Norte de Santander se establece por primera vez la utilización de Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua.

El diagnóstico ecológico parte del principio: En ecosistemas oligosapróbicos se encuentra un mayor número de especies con un pequeño número de individuos por especie, mientras que en ecosistemas polisapróbicos existe un menor número de especies con un mayor número de individuos por especie. Este fundamento científico en asocio a la identificación de los organismos y su relación con los parámetros físico-químicos que definen sus hábitats, tales como, oxígeno disuelto (OD), demande bioquímica de oxígeno (DBO), conductividad, temperatura, pH, color y turbidez; permiten obtener resultados confiables de evaluación que definen el grado de purificación de las aguas negras una vez tratadas a través del sistema natural Eriales de Oxidación.

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio nace inicialmente mediante la dilución en el terreno de las aguas negras provenientes del barrio Tucunaré y la Primavera, localizados en la región de Atalaya del Municipio de Cúcuta. La trayectoria de estas aguas ven desde una altitud de 400 m.s.n.m., desciende por el drenaje de la quebrada seca hasta una altitud de 200 m.s.n.m., en un recorrido de Sur a Noroccidente de aproximadamente 10 Km.

El sistema de tratamiento Eriales de Oxidación, está integrado por una parte inicial llamada etapa preliminar o pretratamiento, constituida por pasto Alemán (*Echinochloa polystachya*), ocupando un área aproximada de 1 Km.

El afluente primario de las aguas negras se localiza en la parte Sur Oriental de dicha etapa. Posteriormente el cuerpo hídrico continúa inundando grandes extensiones de suelo que son separadas secuencialmente por gaviones originando la formación de cuatro etapas eriales, caracterizadas por: la primera, segunda y tercera etapa contienen cobertura vegetal del tipo gramínea conocida como pasto Janeiro

(*Eriochloa polystachia*). La cuarta etapa erial posee en su mayoría cultivos de pasto Janeiro, observándose la presencia del pasto Elefante (*Pennisetum purpureum*). En este erial se localiza el afluente primario del estudio, que continúa su trayectoria a través de la Quebrada seca hasta llegar a la margen izquierda del río Zulia (ver fig. 1).

De acuerdo con el sistema de clasificación de Holdrije la zona presenta vegetación de tipo chaparral, constituida por grandes matorrales, captus, cujís, tunas, etc; localizados en los alrededores de las etapas eriales.

MUESTREO Y TECNICAS DE ANALISIS

En la figura 1 se observa la localización de las nueve estaciones de muestreo para el estudio. Las zonas de muestreo 10 y 11 se tomaron como anexos. Las muestras para los análisis se hicieron con intervalos de 15 días durante cuatro meses consecutivos, entre enero y mayo.

La obtención de muestras para análisis físico-químicos y biológicos se formaron a partir de muestras pequeñas tomadas en diferentes partes de una misma estación. El tipo de muestreo empleado fue al azar o instantáneo llamado también simple o manual.

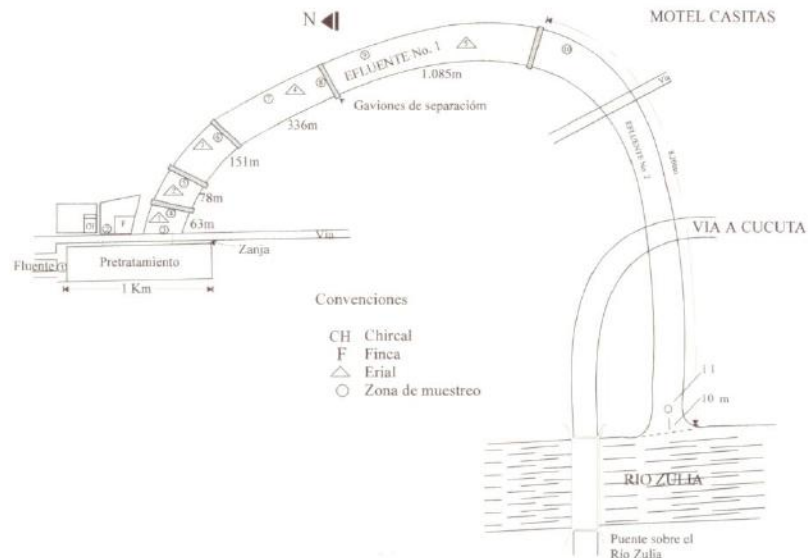


Fig 1. Ubicación de las zonas de muestreo dentro del sistema de tratamiento de aguas negras erial de oxidación.

Los datos de los parámetros físico-químicos de pH, conductividad y temperatura fueron tomados in situ. El color, la turbidez, la demanda bioquímica de oxígeno y el oxígeno disuelto se analizaron en el laboratorio de aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander.

La análisis biológicos se realizaron basados principalmente en la identificación de los Macroinvertebrados Acuáticos, número de especies y número de individuos por especie. Anexo a la fauna bentónica se hicieron algunas observaciones sobre fitoplancton.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS BIOLÓGICOS

La identificación de los Macroinvertebrados Acuáticos se hizo con base en las características externas del animal, teniendo en cuenta claves taxonómicas de Edmonson, Mc Cafferty, Needham, y Roldan.

Los estudios realizados dieron los siguientes resultados:

Las estaciones de muestreo 1 y 2 presentan una escasa población de organismos. Todas las especies que se encuentran en este sitio

pertenecen al orden Díptera, típico de los ambientes contaminados o zonas polisapróbicas. Los índices de diversidad biológica en estas zonas fueron 1.2 y 1.7 respectivamente. Estos resultados indican una calidad de agua contaminada.

En la zona 3 la estructura de las comunidades aumenta a 17 especies diferentes pertenecientes a los órdenes Hemíptera, Odonata, Bassomatophora, coleóptera y Díptera. Siendo el más abundante el Hemíptera, representado por la especie Belostoma micantulum. Estos órdenes son típicos de aguas medianamente contaminadas o zonas Alfa y Beta mesosapróbicas. El índice de diversidad es de 2.0 define una calidad de agua contaminada.

En la estación 4 existe un decremento en la población bentónica con doce especies diferentes. Siendo las más frecuentes Chironomus sp (ver foto), Belostoma micantulum y Libellula sp. Organismos típicos de ambientes contaminados y medianamente contaminados. El índice de diversidad biológica es de 1.9, este decremento se debe en gran parte al frecuente pastoreo por esta estación que incorpora materia orgánica al ecosistema acuático, además de la

eutroficación existente en el sitio.



Chironomus sp

La zona 5 registra un mayor índice de la especie Belostoma micantulum y Lymnaea sp. Los órdenes encontrados son: Hemíptera, Odonata, Basomatophora, Coleóptera y Díptera, frecuentes en las aguas polisapróbicas, Alfa y Beta mesosapróbicas. El índice de diversidad es de 1.9.

La zona 6 presenta 14 especies diferentes. El mayor número de individuos por especie se presenta en Chironomus, Gyrulus, Libellula y Belostoma micantulum. Los organismos identificados son indicadores de aguas polisapróbicas, Alfa y Beta mesosapróbicas. El índice de diversidad es de 2.1.

La estación de muestreo 7 presenta 9 especies. Este hecho en la disminución de organismos es debido a la formación de grandes depósitos de lodo que originan terrenos fangosos de sustratos poco aptos para la supervivencia de organismos bentónicos. El

índice de diversidad de esta zona es de 1.3.

La zona 8 muestra gran variabilidad de especímenes. Los órdenes presentes son Díptera, Hemíptera, Odonata, Basommatophora y Coleóptera. El índice de diversidad es de 2.4, que clasifica la zona como moderadamente contaminada, de acuerdo al grado de saprobiedad es Alfa, Beta mesosapróbica.

En la zona 9 se presenta el fenómeno de diversidad máxima al existir un número homogéneo de organismos de cada especie lo que indica un mejoramiento en las condiciones del cuerpo hídrico por medio del tratamiento de eriales de oxidación. El índice de diversidad es de 2.4.

RESULTADOS FISICO-QUIMICOS

pH: La variación del pH en las nueve zonas corresponde a cambios entre los valores que van de 7.0 a 8.0. Como se puede observar no hay cambios en los valores de pH. En las zonas 1 y 2 los niveles de pH se encuentran entre 7.0 y 7.5. Las otras zonas presentan valores entre 7.3 y 7.9 propios de aguas con carácter básico, esto es debido a la mineralización, descomposición de la materia orgánica, que origina iones en el agua. Según estos datos el consumo de agua es apto para

la agricultura, ya que posee sales que benefician la productividad del terreno.

Temperatura del agua

La temperatura del agua está relacionada con la temperatura ambiente. Los datos obtenidos oscilan entre los valores de 25°C y 40°C. Las zonas 1 y 2 presentan elevadas temperaturas debido a la liberación de energía producida por una acelerada descomposición de la materia orgánica, producto del metabolismo desarrollado por los organismos allí presentes, entre ellos bacterias anaeróbicas ya que estos sitios corresponden a lugares de recepción más inmediatos de las aguas negras. Las otras zonas se encuentran con temperaturas entre 25.0 °C y 28.0 °C, valores aceptables para la vida de los Macroinvertebrados acuáticos.

Color

Un agua residual reciente, generalmente es de color gris pero a medida que la materia orgánica es degradada ella toma una coloración negra, esta variación se presenta en las zonas 1 y 2, cuyos valores oscilan entre 251 UCP y 1.000 UCP. A medida que el agua continúa su trayectoria a través de los eriales de oxidación, el cuerpo hídrico pierde su coloración debido a la disminución de las partículas presentes y los resultados están entre los valores 28 UCP y 289 UCP, esta disminución del color se debe en gran parte a la sedimentación de

las partículas que lo producen.

Conductividad

Las zonas 1 y 2 se encuentran entre los rangos de 610 uS/cm y 1.260 uS/cm, mientras que en las otras zonas la conductividad varía entre 920 y 1.260 uS/cm.

Según Roldán (1992) altas diversidades de especies corresponden a menudo a bajas conductividades y viceversa. Este fenómeno no se observa en el estudio, de lo cual se deduce que los macroinvertebrados acuáticos encontrados han desarrollado la formación de mecanismos que le permitan subsistir en medios de altas conductividades.

El incremento paulatino de la conductividad en la mayoría de los resultados es debido a la mineralización del material orgánico a medida que el agua avanza su recorrido por el sistema de tratamiento, y la incorporación de los iones de naturaleza geoquímica.

Turbiedad

Al igual que el color, la turbiedad presenta altos niveles en las zonas 1 y 2. Las demás zonas presentan valores bajos de turbiedad que oscilan entre 1.4 UNT y 35 UNT, este hecho sucede debido a la disminución de partículas de material suspendido en el cuerpo de agua tales como arcilla, lodo y materia orgánica.

Oxígeno Disuelto (OD)

La ausencia total de oxígeno en las zonas 1 y 2 indican condiciones sépticas del cuerpo hídrico, resultado de una acelerada actividad bacterina y un incremento en la materia orgánica presente. En las siguientes zonas los niveles de oxígeno disuelto se encuentran entre 0,0 mg/L y 5,8 mg/L, notándose un aumento paulatino del oxígeno en el agua a medida que circula por las diferentes etapas eriales.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Inicialmente en los sitios de recepción directa de las aguas negras existe una elevada DBO debido a los depósitos de materia orgánica biodegradable. Los compuestos orgánicos responsables de la DBO sufren procesos de transformación química por la acción de la actividad biológica de los microorganismos presentes en el agua, y descomponen valores de

DBO de 236 mg/L hasta llegar a cantidades de 0,0 mg/L.

CONCLUSIONES

Los organismos que habitan en los eriales de oxidación son representantes de los órdenes Odonata, Díptera, Basommatophora, Coleóptera y Hemíptera, estos especímenes son típicos de ambientes acuáticos donde existe abundante vegetación, materia

ESPECIE	pH	TEMPERATURA (C°)	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	COLOR (UCP)	TURBIEDAD (UTN)
Cules sp	7.1 - 7.9	25.0 - 34.0	660 - 1270	0.0 - 4.6	0.0 - 132	43 - 1000	1.4 - 100
Chironomus sp	7.0 - 7.9	25.0 - 34.0	590 - 1300	0.0 - 5.8	0.0 - 236	43 - 1000	1.4 - 100
Psychoda sp	7.0 - 7.6	25.0 - 34.0	590 - 1220	0.0	24 - 236	251 - 1000	20.7 - 100
Odontomyia sp	7.1 - 7.9	25.5 - 34.0	660 - 1240	0.0 - 5.8	0.0 - 132	28 - 1000	1.4 - 100
Tibifera sp	7.0 - 7.6	25.0 - 34.0	660 - 1220	0.0	24 - 236	251 - 1000	20.7 - 100
Alluaudomyia sp	7.1 - 7.9	25.0 - 34.0	660 - 1320	0.0 - 4.4	0.0 - 132	34 - 1000	1.1 - 100
Tipula sp	7.0 - 7.6	25.0 - 31.5	590 - 1140	0.0	24 - 136	251 - 680	20.7 - 80
Belostoma micantulum	7.1 - 8.0	25.0 - 34.0	660 - 1300	0.0 - 7.0	0.0 - 132	28 - 1000	1.1 - 100
Lethocerus sp	7.3 - 8.0	25.0 - 28.0	850 - 1300	0.6 - 5.4	0.0 - 60	34 - 289	1.1 - 35
Stridulivelia sp	7.3 - 8.3	25.0 - 28.0	850 - 1300	1.0 - 7.0	0.0 - 42	34 - 289	1.1 - 35
Rhagovelia sp ₁	7.4 - 8.0	25.0 - 27.5	850 - 1260	1.2 - 7.0	0.0 - 60	33 - 167	1.4 - 22
Microvelia sp ₁	7.4 - 8.0	25.0 - 27.5	850 - 1260	1.2 - 7.0	0.0 - 60	33 - 246	1.4 - 33
Trepobates sp	7.3 - 8.3	25.0 - 28.0	850 - 1300	1.0 - 7.0	0.0 - 60	28 - 289	1.1 - 35
Pelocoris sp	8.3	27.0	850	6.6	0.0 - 60	129	16
Hydrometra sp	7.5	26.5	1100	3.0	3.6	78	4.8
Mesovelia sp	7.4 - 7.9	25.0 - 27.0	870 - 1200	1.6 - 7.0	0.0 - 30	59 - 246	4.5 - 33
Notonecta sp	7.3 - 7.9	25.0 - 26.5	950 - 1300	1.0 - 3.8	0.0 - 42	34 - 289	1.1 - 35
Paraplea sp	7.8	27.0	970	2.2	6.0	34	1.1
Neritina sp	7.4 - 8.3	25.0 - 27.0	770 - 1270	2.0 - 6.6	0.0 - 40	28 - 303	1.4 - 28
Omalonyx sp	7.3 - 7.9	25.0 - 28.0	770 - 1300	0.8 - 5.4	0.0 - 40	28 - 303	1.1 - 35
Physa sp	7.3 - 7.9	25.0 - 27.0	770 - 1280	0.8 - 5.8	0.0 - 40	28 - 303	1.4 - 23
Lymnaea sp	7.3 - 8.0	25.0 - 28.0	770 - 1300	0.8 - 5.4	0.0 - 60	33 - 303	1.1 - 35
Gyrulus sp	7.3 - 8.3	25.0 - 28.0	770 - 1300	0.8 - 7.0	0.0 - 60	28 - 303	1.1 - 35
Libellula sp	7.3 - 7.9	25.0 - 28.0	770 - 1300	0.8 - 5.8	0.0 - 60	28 - 303	1.1 - 35
Erythemis sp	7.3 - 7.9	25.0 - 28.0	770 - 1300	0.8 - 5.4	0.0 - 60	34 - 303	1.1 - 35
Telebasis sp	7.4 - 8.3	25.0 - 27.5	770 - 1270	1.2 - 5.8	0.0 - 60	28 - 303	1.4 - 28
Terpides sp	7.8	27.0	900	3.4	12	28	1.4
Ischnura sp	7.4 - 8.3	25.0 - 27.5	770 - 1270	1.2 - 6.6	0.0 - 60	33 - 303	1.4 - 28
Argia sp ₁	7.4 - 8.0	25.0 - 27.5	850 - 1260	1.2 - 5.8	0.0 - 60	28 - 198	1.4 - 23
Acanthagrion sp ₁	7.3 - 8.3	25.0 - 28.0	850 - 1300	1.2 - 6.6	0.0 - 60	28 - 289	1.1 - 35
Acanthagrion sp ₁	7.4 - 8.3	25.0 - 27.5	850 - 1260	1.2 - 6.6	0.0 - 60	28 - 246	1.4 - 33
Acanthagrion sp ₂	7.8	27.0	850	6.6	2.4	129	16
Hetaerina sp	7.9	27.0	900	7.0	0.0	167	22
Hydrophylus sp	7.1 - 7.9	25.0 - 34.0	660 - 1300	0.0 - 5.8	0.0 - 132	28 - 1000	1.1 - 100
Hydrocanthus sp	7.4 - 8.3	25.0 - 27.0	770 - 1280	0.8 - 6.6	0.0 - 24	42 - 303	1.4 - 280
Octhebius sp	7.5	26.5	1100	3.0	3.6	78	4.8
Berosus sp	7.6	25.5	920	2.4	6.0	50	3.0
Cybister sp	7.8	7.8	1000	3.4	1.2	80	5.0

Tabla 1.- Rango de tolerancia de algunos parámetros físico-químicos asociados a las especies encontradas en los eriales de oxidación.

orgánica, protozoarios y algas.

En asocio a los macroinvertebrados acuáticos se encontró un gran desarrollo de algas estimulado por la presencia de sales que contienen nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio. de acuerdo a esta descripción realizada la proliferación de algas encontradas en el tratamiento eriales de oxidación determina el cuerpo hídrico con característica de aguas duras.

En las zonas 1 y 2 se presentan aguas con alta demanda Bioquímica de oxígeno y ausencia total en el contenido de oxígeno, elevados a niveles de turbiedad, color, temperatura y pH, así como la presencia de organismos típicos de zonas polisapróbicas como es el orden Díptera representado por los géneros Chironomus, Tibifera, Culex y Psychoda. Los resultados de los parámetros físico-químicos y biológicos determinan estas zonas de mala calidad de agua.

Las zonas 3, 4, 5 y 6 según la frecuencia de los organismos encontrados en relación a la bioindicación y los resultados de los análisis físico-químicos, estos sitios se clasifican como zonas alfa mesosapróbicas. Lo que deduce que el agua negra a lo largo de su trayecto por las etapas eriales sufre

procesos de descontaminación al presentarse un incremento paulatino de oxígeno disuelto el agua, disminución del material orgánico debido a su mineralización. Baja la temperatura, se acentúa la aparición de algas, progresivamente disminuyen los valores de turbiedad y color. Aparecen nuevas poblaciones de Macroinvertebrados Acuáticos como son los géneros: Belostoma, Hydrophylus, Lymnaea, Libellula, Gyalus, Chironomus y Physa, en orden decreciente en cantidad.

Las zonas 7, 8 y 9 se clasifican como Beta mesosapróbicas. Los niveles de oxígeno son moderadamente altos, bajan las concentraciones de DBO y en algunos casos su ausencia total, disminución de la turbidez y el color. La temperatura y el pH se conserva dentro de los rangos aceptables para la vida de los Macroinvertebrados Acuáticos representados por los géneros Acanthagrion, Libellula, Belostoma, Hydrophylus, Argia y Telebasis. Típicos de aguas medianamente contaminadas.

Contribuyendo al conocimiento Limnológico del Departamento Norte de Santander en la tabla 1 se muestran los rangos de tolerancia de cada uno de los

géneros encontrados en el tratamiento eriales de oxidación, en relación a los parámetros físico-químicos definidos en el estudio. Esto no quiere decir que siempre se van a encontrar en aguas con estas características, pero sí proporciona datos confiables de hábitats donde estos Macroinvertebrados Acuáticos son más frecuentes. Según esta tabla los organismos bioindicadores de aguas negras o esteno, aquellos que tienen un rango mínimo de tolerancia a la buena calidad son Tibifera, Psychoda y Tipula. Los organismos esteno a condiciones de mala calidad del agua son Pelocoris, Hydometra, Paraplea, Terpides, Hetaerina, Acanthagrion y Cybister. Las demás especies se consideran Euri, es decir, tienen un amplio rango de tolerancia a los cambios de las condiciones del medio, ya que poseen mecanismos evolutivos de adaptación a las variaciones que presente el ecosistema acuático.

En efecto el sistema de tratamiento eriales de oxidación, como ensayo piloto, desprovisto de técnicas rigurosas y sofisticadas, cumple en la zona los objetivos propuestos, ya que el agua residual presenta un 85% de recuperación de DBO y alcanza porcentajes de saturación de oxígeno hasta el 70%. Las áreas desérticas inicialmente están siendo

aptas para el cultivo de pastos forrajeros, frutales y algunas hortalizas, debido al aporte de nutrientes del agua al suelo.

El afluyente que se obtiene una vez el agua ha sido tratada por el sistema eriales de oxidación, de acuerdo al decreto 1594 del 26 de junio de 1984 del Ministerio de Salud donde se reglamenta el uso

del agua de acuerdo a los criterios de calidad, el artículo 40 destina este recurso para uso agrícola y según el artículo 45 para preservación de flora y fauna en agua dulce.

AGRADECIMIENTOS

Como directores del proyecto a los Drs. Marjorie Sánchez y Mario Valenzuela

BIBLIOGRAFIA

- BAUTISTA RONDON, José Rodolfo; GOMEZ URRUTIA, Magda Catalina; MOJICA SANCEZ, Juan Carlos. Parámetros físico-químicos, bacteriólogos y faunísticos de la laguna ubicada entre los barrios aeropuerto y porvenir y su incidencia en la salud comunitaria. U.F.P.S. San José de Cúcuta, 1990.
- BERNAL ARGONA, Beatriz. Evaluación de un cultivo hidropónico como tratamiento biológico de aguas residuales domésticas utilizando el pasto de corte *Pennisetum clandestinum* (kikuyo). Universidad Nacional, 1987.
- CAMACHO RUIZ, Rubén. Establecimiento y manejo de pastos y forrajes. Tercera edición. Adpostal. Colombia, 1985. 193 p.
- HIGUERA ARDILA, Rosa María; LONDOÑO MARTINEZ, Jaime Alberto; HOYOS CARRILLO, Luis Fernando. Manejo de aguas residuales domésticas. Fundación para el desarrollo de la Facultad de Ingeniería de la U.F.P.S. Cúcuta, 1991. 92 p.
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTON CODAZZI. Características geográficas del Norte de Santander. Santafé de Bogotá, D.C., 1989.
- LOPEZ JURADO, Gerardo. Nombres científicos y vulgares de las plantas más comunes. Segunda edición. Adpostal. Colombia, 1985. 133 p.
- MEDINA ALBARRACIN, Armando. Estudio agroeconómico y social eriales de Cúcuta. Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nor-oriental. San José de Cúcuta, 1995.
- MINISTERIO DE SALUD DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. Disposiciones sanitarias sobre agua. Decreto 1594 del 26 de junio de 1984.
- NEEDHAM G., James; NEEDHAM R. Paul. Guía para el estudio de los seres vivos en las aguas dulces. Ed. Reverté S.A. México, 1982. 132 p.
- PALOMINO GARCIA, Yesid. Estudio morfológico e hídrico eriales de Cúcuta. Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nor-oriental. San José de Cúcuta, 1994.
- RAMIREZ, Jhon Jairo. Fitoplancton de red en el embalse de El Peñol, Colombia, Actualidades biológicas. Volumen 15, Número 56. Medellín, 1986.
- ROLDAN PEREZ, Gabriel. Manual de Limnología. Ediciones previas. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 1989.
- ROLDAN PEREZ, Gabriel. Et al. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. Actualidades biológicas.
- TRATADO UNIVERSAL DEL MEDIO AMBIENTE. Volumen 5. Rezza Editores. México, 1995.
- UNIVERSIDAD DEL VALLE. Caracterización de aguas residuales industriales. Universidad del Valle. división de Ingenierías. Departamento de Procesos Químicos y Biológicos. Sección Saneamiento Ambiental. Cali, 1980.