

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y SU IMPACTO AMBIENTAL SOBRE UN ECOSISTEMA

Luis Eduardo Peña Prieto*
Maryluz Muñoz Martínez**
Aura María Espinosa Correa***

1. Introducción

El tratamiento de aguas residuales comprende una serie de procesos que permiten el saneamiento de las aguas después de su uso con fines domésticos, industriales y/o comerciales, para poder ser vertidas finalmente a cuerpos de agua naturales. Los procesos incluyen un pretratamiento y tres tratamientos secuenciales. En el pretratamiento se separan físicamente materias gruesas; en el tratamiento primario se eliminan sólidos en suspensión y material flotante por procedimientos fisicoquímicos; en el tratamiento secundario se efectúa la estabilización biológica del material biodegradable y en el tratamiento terciario se elimina el material que no haya sido removido en los procesos anteriores.

En la actualidad los municipios del país están en la obligación de tratar todos sus desechos, o como mínimo poner en marcha acciones que permitan disminuir el impacto desfavorable que ellos pueden generar en los recursos naturales. Es esta la razón que motivó la realización de un análisis minucioso de los procesos de depuración llevados a cabo comúnmente en una planta de tratamiento de aguas residuales en un municipio como Funza.

2. Conceptos Básicos

2.1. *Aguas residuales*: son las aguas blancas después de su uso con propósitos domésticos, comerciales, públicos o industriales. Las aguas servidas negras constituyen

* Químico U. Estatal de Odessa Mechnikov (Rusia). M.Sc. en Química. Ph.D. en Química. Profesor tiempo completo U. Distrital F.J.C., adscrito a la Facultad de Ciencias de la Educación. Coordinador de Laboratorios de Química U. Distrital F.J.C.

** Licenciada en Química

*** Licenciada en Química

Palabras Claves

Aguas Residuales
Tratamiento de Aguas
Procedimientos Fisicoquímicos
de Aguas Residuales
Ciénaga Gualí - Tres Esquinas
Contaminación de aguas

la fuente más antigua de contaminación (alteración peligrosa del ecosistema del cuerpo receptor, provocada por los residuos de las actividades del hombre). El método más común de disposición de estas aguas consiste en descargarlas a cuerpos de aguas, con tratamiento previo o sin el¹.

Existen variadas y complejas situaciones en las cuales se requiere que una industria trate sus residuos en forma parcial o completa. Los requisitos de calidad de efluentes están presentes en nuestra legislación en el decreto 1594/84².

- 2.2. *Tratamiento de Aguas Residuales*: las aguas que contienen los residuos de la actividad humana pueden clasificarse según la composición y origen de sus contaminantes en municipales e industriales.

Para lograr un tratamiento integral se recurre a procesos físicos, químicos y biológicos en una secuencia de etapas, como se muestra en la Figura 1³.

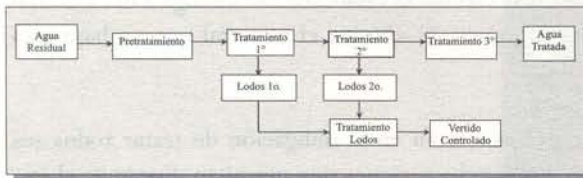


Figura 1. Etapas de tratamiento completo de aguas residuales

2. Metodología de Investigación

• Puntos de Muestreo

En la planta de tratamiento del municipio de Funza se tomaron dos muestreos: afluente o sitio donde entran las aguas residuales provenientes del alcantarillado; y

efluente o sitio de donde salen las aguas residuales tratadas para ser vertidas a la ciénaga. En la ciénaga Gualí-Tres Esquinas se eligieron tres puntos de muestreo: el punto 1 ubicado en el brazo Gualí; el punto 2 en el brazo Tres Esquinas, vereda el Hato; finalmente, el punto 3 en el brazo Tres Esquinas. El muestreo fue realizado de manera permanente durante cuatro meses.

Los análisis fisicoquímicos fueron efectuados de acuerdo con los métodos que se presentan en la Tabla 1.

PARÁMETRO	MÉTODO
pH y Temperatura	
Conductividad	Electrométrico
Oxígeno disuelto	
Turbidez	Nefelométrico
Dureza	Titulométrico con EDTA
Alcalinidad	Titulométrico con HCl
Acidez	Titulométrico con NaOH
Cloruros	Argentometría
Sólidos totales	Gravimétrico
DQO	Fotométrico ($\lambda = 495$ y 593 nm)
DBO ₅	Respirométrico
Grasas y aceites	Partición - Gravimetría
Surfactantes	SAAM ($\lambda = 652$ nm)
Nitrógeno total	Fotométrico ($\lambda = 517$ nm)
Hierro	Fotométrico ($\lambda = 510$ nm)
Cobre	Fotométrico ($\lambda = 435$ nm)
Cromo	Fotométrico ($\lambda = 540$ nm)
Mercurio	Fotométrico ($\lambda = 492$ nm)

Tabla 1. Resumen de Métodos Empleados para el Análisis Físico-Químico

Fuente: APHA-AWWA - WPCF. *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España, 1992

• Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Se encuentra localizada en los límites del casco urbano del municipio. El proceso de tratamiento de aguas residuales de la planta comprende las siguientes etapas:

- Cribado de residuos crudos
- Estabilización biológica de la materia cruda
- Remoción física de lodo estabilizado
- Secado de lodo removido.

1 TORRES - BÁEZ NOGUERA J. *Tratamiento Básico de Aguas Residuales*. Editorial Reverté. España, 1992

2 CRITES - TCHOBANOGULUS. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. McGraw Hill. Colombia, Bogotá, 2000.

3 GUERRERO J. H. *Tratamiento de aguas*. Ediciones Hispanoamérica. Bogotá, Colombia, 1996

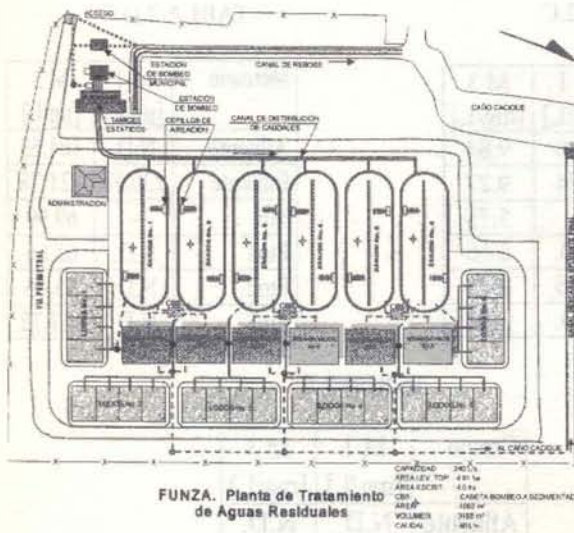


Figura 2. Funza. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

El tratamiento efectuado en la planta se describe a continuación. Las aguas negras ingresan a la planta a través de tubería de 44 pulgadas de diámetro y en la cámara de llegada se selecciona el compartimiento del pozo de bombeo. En seguida de la compuerta está la canasta de cribado (que puede ser izada para limpieza), la reja de cribado encargada del pretratamiento o remoción de sólidos gruesos, papeles, plásticos, trapos, etc. En el pozo

de bombeo se encuentran cuatro bombas sumergibles de 80 l/s de capacidad encargadas de bombear el agua del tanque de carga a los tamices estáticos, que funcionan por gravedad y permiten la remoción del material fino como residuos de comida, pelos, trapos y demás elementos no capturados en el cribado grueso.

El agua que pasa por los tamices es recogida y llevada a los zanjones por medio de un canal de sección rectangular, por medio de compuertas permite la entrada de agua a cada uno de los seis zanjones de oxidación en donde tiene lugar el tratamiento biológico por medio de aireación extendida y lodos activados. Posteriormente el agua es bombeada al sedimentador correspondiente (uno por cada zanjón) y después de ser separados gravimétricamente los sólidos sedimentables o flocs aglutinados, el efluente clarificado es recogido en un canal que lo conduce al caño el Cacique⁴.

4. Resultados

Un resumen de los resultados obtenidos en todos los puntos de muestreo, durante el período de estudio, aparece en las siguientes tablas:

Tabla 2a

PARÁMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE	% R	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
pH	7.62	7.26	-	7.24	7.03	6.86
Temperatura °C	17.8	16.8	-	14.6	16.8	16.9
Conductividad μS/cm	1254.9	1195.0	7.49	1121.2	546.4	563.3
Turbidez UNT	130.7	81.4	36.70	60.0	27.4	21.8
Oxígeno Disuelto mg/L O ₂	2.60	2.54	-	3.10	2.34	2.41
DQO mg/L O ₂	564.3	335.0	37.47	140.1	68.8	50.1
DBO ₅ mg/L O ₂	364.3	200.0	41.73	63.7	22.0	10.4
Acidez mg/L CaCO ₃	35.49	34.23	14.06	33.78	16.86	25.01
Alcalinidad mg/L CaCO ₃	352.93	346.53	11.63	342.08	90.78	101.44
Dureza mg/L CaCO ₃	182.14	118.96	36.24	130.59	185.78	102.47
Cloruros mg/L Cl ⁻	120.54	124.04	16.80	140.48	141.82	96.04
Nitrógeno Total mg/L N	41.2	21.8	43.30	31.3	8.1	5.3
Sólidos mg/L	1278.0	974.7	23.93	1261.8	353.5	284.2
Grasas y aceites mg/L	32.14	22.84	27.43	18.29	9.03	2.99

4 Descripción basada en: CAR. Estudios Técnicos. Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Industriales y Domésticas del municipio de Funza. Estudio Ambiental, Informe No. 1. Colombia, Bogotá, 1992; INGENIEROS CONSULTORES. Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales y Domésticas del Municipio de Funza. Informe Técnico No. 2. Predimensionamiento y Análisis de Alternativas. Colombia, Santafé de Bogotá, Julio 1992

TABLA 2.B

Surfactantes	M 1 [mg/L]	M 3 [mg/L]
Afluente	2.42	1.97
Efluente	1.61	0.55
%R	33.32	71.84
Pto1	1.16	0.79
Pto2	1.39	0.82
Pto3	0.98	0.45

TABLA 2.C

Hierro	M 1 [mg/L]	M 3 [mg/L]
Afluente	6.30	9.84
Efluente	9.74	9.27
%R	-	5.75
Pto1	N.D.	8.56
Pto2	2.26	4.93
Pto3	N.D.	3.58

TABLA 2.D

Mercurio	M 1 [µg/L]	M 3 [µg/L]
Afluente	N.D.	404.63
Efluente	220.38	121.78
%R	-	69.90
Pto1	N.D.	65.66
Pto2	N.D.	65.66
Pto3	N.D.	167.72

TABLA 2.E

Cobre	M 1 [mg/L]	M 3 [mg/L]
Afluente	4.02	4.39
Efluente	0.98	4.14
%R	75.48	5.72
Pto1	2.87	22.87
Pto2	4.63	1.45
Pto3	0.83	1.09

TABLA 2.F

Cromo	M 1 [mg/L]	M 3 [mg/L]
Afluente	N.D.	N.D.
Efluente	N.D.	N.D.
Pto1	3.82	N.D.
Pto2	4.05	N.D.
Pto3	4.84	N.D.

Tabla 2. Resumen de Resultados de Investigación en Planta de Tratamiento Aguas de Funza y ciénaga Gualí-Tres Esquinas

5. Análisis de Resultados

- *pH y Temperatura:* en todos los puntos de muestreo resultaron ser óptimos para la supervivencia de microorganismos, tanto en la planta como en la ciénaga. Los valores obtenidos para estos parámetros aseguran una buena degradación.
- *Conductividad:* tanto para afluente como para efluente presentan valores altos, x:1254.9 US/cm; x:1195 US/cm respectivamente. Los valores representan también una concentración alta de sales disueltas, ya que los valores promedio se encuentran entre 750 – 2250 US/cm. De los tres puntos de muestreo en la ciénaga Gualí-Tres Esquinas, el punto 1 presenta valores altos de conductividad (x:1121.2 US/cm), posiblemente por la influencia de aguas provenientes de la planta, y por la contaminación adicional urbana e industrial a la que se ve sometido. En general la conductividad no es un parámetro que afecte en forma considerable el tratamiento biológico de las aguas residuales.

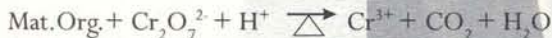
- *Turbidez:* cuando se presenta en aguas es un indicador de la presencia de diversos tipos de partículas en suspensión, generalmente materia orgánica, microorganismos y arcillas, entre otros. En el afluente



(x:130.7 UNT) y efluente (x:81.4 UNT) se halla una cantidad considerable de estas partículas, que de hecho sobrepasan la legislación sobre vertimientos de aguas residuales (Decreto 1594 de 1984, límite máximo 50 UNT). Con respecto a la ciénaga el punto 1 es el que presenta los valores más altos de turbidez x:60 UNT.

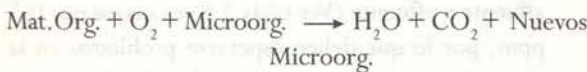
Oxígeno Disuelto: A pesar de que la concentración de oxígeno disuelto en el afluente (x:2,6 ppm) y efluente (x:2.54 ppm) no son altas, éstas alcanzan a cubrir la necesidad de oxígeno de los microorganismos (2 ppm). Para el caso de la ciénaga el oxígeno disuelto no cumple con la reglamentación para la preservación de flora y fauna, la cual exige una concentración mayor de 4 mg/l (Decreto 1594 de 1984)

DQO y DBO₅: el ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica susceptible a oxidación⁵.



La DQO nos indica el contenido de materia orgánica de residuos domésticos e industriales con compuestos tóxicos para la vida biológica.

La DBO₅ determina la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por la acción de microorganismos⁶.



Los valores de DBO₅ y DQO para afluente (x: 364.3 ppm O₂, x:564.3 ppm O₂) y efluente (x:200 ppm O₂, x:335 ppm O₂), se encuentran por debajo de los valores máximos permitidos en la legislación para vertimientos (1000 mg/L y 2000 mg/L respectivamente). La DQO y la DBO₅ en la ciénaga en general no fueron altas, pero de los tres puntos es el 1 el que muestra mayor contaminación.

• **Acidez:** la presente en un agua es una medida de su capacidad para reaccionar con una base fuerte a un pH dado⁷. Los valores de acidez para afluente, efluente y punto 1 (x: 35.48, x:34.23 y 33.78 mg/L CaCO₃) son muy próximos entre ellos. Por su parte, el punto 2 y el punto 3 (x:16.86 y 25.00 mg/L CaCO₃) presentan valores menores que los anteriores.

• **Alcalinidad:** en el agua es su capacidad para reaccionar o neutralizar iones H⁺ hasta pH determinado⁸. Debido a la estrecha relación entre carbonatos y bicarbonatos alcalinidad, esta medida sirve como indicativo de la concentración de estas sustancias. Los valores registrados en el afluente (x=352.93 mg/L CaCO₃), efluente (x= 346.53 mg/L CaCO₃) y punto 1 (x= 342.08 mg/L CaCO₃) son altos, pues sobrepasan los 200 mg/L CaCO₃. Los resultados en los puntos 2 (x= 90.78 mg/L CaCO₃) y punto 3 (x=101.44 mg/L CaCO₃) se pueden considerar como medios, por estar muy próximos a los 100 mg/L CaCO₃.

• **Cloruros:** las concentraciones registradas para todos los puntos de muestreo, tanto en la ciénaga como en la planta, son similares; en promedio afluente 120 ppm Cl⁻, efluente 124.04 ppm Cl⁻, punto 1 140.48 ppm Cl⁻, punto 2 141.82 ppm Cl⁻ y punto 3 96.04 ppm Cl⁻. Como estos valores no sobrepasan los 250 ppm Cl⁻, límite máximo permitido por el Decreto 1594/84, no representan mayores riesgos sanitarios, pero no dejan de ser un índice de contaminación residual doméstica y un indicio de la presencia de microorganismos patógenos indeseables en las aguas. Este tipo de contaminación en el agua de la ciénaga resulta perjudicial por su utilización como agua para riego en cultivos aledaños.

• **Dureza:** está definida como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato cálcico, en mg/L. Se debe a la presencia de iones polivalentes principalmente Ca²⁺ y Mg²⁺, con la contribución de otros iones como Fe³⁺, Al³⁺, Sr²⁺, Mn²⁺ y Zn²⁺, los cuales pueden encon

5 METCALF-EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización.* McGraw Hill. Mexico, 1996. Volumen 1.

6 *Ibid*

7 APHA-AWWA -WPCF, *op. cit*

8 *Ibid*

trarse en forma de carbonatos, bicarbonatos, nitratos, etc.⁹.

De acuerdo con los resultados obtenidos en relación con esta variable se puede clasificar las aguas de todos los puntos de muestreo, (afluente x:182.14 mg/L CaCO₃, efluente x:118.96 mg/L CaCO₃, punto 1 x:130.59 mg/L CaCO₃, punto 2 x:185.78 mg/L CaCO₃ y punto 3 x:102.47 mg/L CaCO₃) como moderadamente duras, de acuerdo con la siguiente clasificación¹⁰:

- Blandas: 0-100 mg/L de CaCO₃
 - Moderadamente duras: 101-200 mg/L de CaCO₃
 - Duras: 201-300 mg/L de CaCO₃
 - Muy duras: mayores de 301 mg/L de CaCO₃.
- **Sólidos Totales:** es la cantidad de materia que permanece como residuo después de la evaporación a 105°C; este valor incluye materia disuelta y no disuelta¹¹. Como se esperaba, estos valores son altos en afluente (x=1278 mg/L), efluente (x=974.7 mg/L) y punto 1 (x=1261.8 mg/L), con respecto a los puntos 2 y 3 (x:353.5 y x:284.2 mg/L), por ser los puntos con mayor descarga e influencia contaminante. El porcentaje de remoción es aceptable en comparación con los de otros parámetros analizados, con una tasa media de sedimentación de 23.93% en los zanjones de oxidación, pero no cumplen con el 50% exigido en el Decreto 1594/84.
 - **Nitrógeno:** el contenido de este componente en el afluente puede satisfacer las necesidades de nutrientes para el crecimiento biológico en los zanjones de oxidación. Su concentración en el efluente y el porcentaje de remoción (43.30%) nos indican un grado de utilización e interconversión del nitrógeno por los procesos de asimilación y nitrificación/desnitrificación, principalmente; aunque podría pensarse en un porcentaje de remoción más alto si en la planta no se presentaran problemas con la aireación. En la ciénaga la concentración de nitrógeno es mucho mayor en el punto 1 que en los otros dos puntos, como ya

se ha mencionado, por la influencia que tiene sobre este punto la planta y otras descargas no puntuales.

- **Grasas y Aceites:** los porcentajes de remoción (x:27.43%) se encuentran muy por debajo de las normas establecidas para vertimientos (80% del Decreto 1594/84), puesto que en la planta no se cuenta con un sistema de pretratamiento apropiado que permita su eliminación. A diferencia de los puntos de muestreo en la ciénaga, ni en afluente ni efluente se observa una capa de aceite, luego es muy probable que en estos puntos la grasa presente se encuentre emulsificada por la presencia de detergentes. La cantidad de grasa presente en el afluente es un aspecto adverso en cuanto a la transferencia de oxígeno del agua a las células bacterianas, interfiriendo con el desempeño del proceso de tratamiento biológico aerobio. Así, la presencia de grasas, aceites y detergentes tienen un efecto sinérgico en cuanto a la disminución de la capacidad de las aguas para reoxigenarse, disminuyendo su biodegradabilidad.

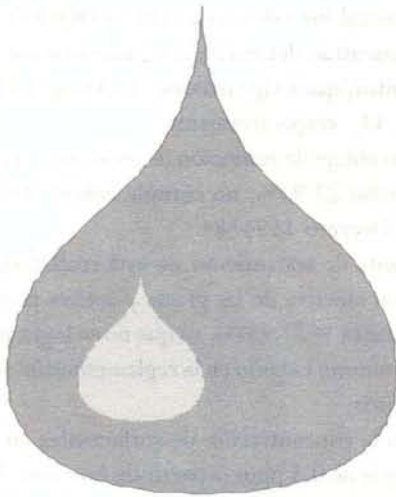
El contenido de grasas y aceites en cada uno de los puntos de muestreo en la ciénaga Gualí-Tres Esquinas sobrepasa ostensiblemente la reglamentación para preservación de flora y fauna en aguas dulces, la cual permite hasta 0.01 mg/L, creando problemas en el intercambio gaseoso, afectando las diferentes formas de vida presentes en la ciénaga.

- **Surfactantes:** la concentración de detergentes en el afluente y efluente (Ver tabla 2.B) es mayor que 0.5 ppm, por lo que deben esperarse problemas en la planta de tratamiento por la producción de espuma que perjudica la captación de oxígeno del agua, disminuyendo la actividad bacteriana en el tratamiento biológico de la planta; además, puede producirse emulsificación de las grasas y flotación de sólidos con posible destrucción de las bacterias. En cuanto a la cantidad de detergentes encontrados en los tres puntos de muestreo de la ciénaga Gualí-Tres Esquinas no se encontraron dentro de la legislación sobre preservación de flora y fauna, al sobrepasar el límite de 0.143 ppm, causando inconvenientes en la reoxigenación del humedal; además, los peces y otros organismos acuáticos pueden sufrir toxicidad por la presencia de agentes activos de superficie. Todo esto

9 *Ibid*

10 *Ibid*

11 *Ibid*



conlleva a una alta degradación de este sistema acuático.

- **Metales Pesados:** son uno de los principales contaminantes, representando altos riesgos desde el punto de vista sanitario debido a su alta toxicidad, la cual depende de su concentración, persistencia y forma química¹².
 - **Hierro Total:** cuando aparece en cantidades considerables (mayor de 0,1 ppm) causa enturbiamientos, color y mal sabor en las aguas por lo que se debe considerar su tratamiento (Ver tabla C). A diferencia de los demás metales estudiados, no representa un riesgo tóxico para los organismos.
 - **Mercurio:** En el muestreo No. 3 el mercurio presente (Ver tabla 2.D) en las aguas residuales no se encuentra dentro de los parámetros del Decreto 1594/84 Hg 0.01 ppm. Aunque su porcentaje de remoción (69.9% para el muestreo 3) fue alto, pudo contribuir a este hecho la dilución causada por las lluvias en los zanjones de oxidación. Al haberse encontrado mercurio en las aguas residuales y de la ciénaga se puede predecir algún grado de toxicidad en ellas. Las formas metiladas del mercurio son las que representan un mayor riesgo de toxicidad para plantas y animales, pues en esa forma es que son absorbidas por los organismos vivos. El mercurio absorbido genera problemas de bioacumulación,

almacenamiento a nivel celular y biomagnificación en el ecosistema; al concentrarse en organismos de niveles tróficos inferiores se permite que se concentre y acumule aún más en organismos de niveles tróficos superiores.

- **Cobre:** el presente en afluente (4.01-4.39 ppm) y efluente (0.98-4.14 ppm) (Ver Tabla 2.E) se encuentra en concentraciones mayores a las permitidas para vertimientos, 1 ppm. La presencia de este metal tóxico impide la oxidación biológica limitando la acción de las enzimas para oxidar la materia orgánica; en la ciénaga, además, destruye la vida acuática impidiendo su autopurificación
- **Cromo Total:** en razón del método empleado solamente se detectó en los tres puntos de muestreo de la ciénaga durante el tiempo seco (Ver Tabla 2.F). En ninguno de los casos se cumple con la reglamentación agropecuaria, pecuaria y de preservación de flora y fauna. El cromo presente en la ciénaga fue detectado en su forma hexavalente; de acuerdo con el método la forma trivalente es susceptible de ser oxidada a hexavalente para su posterior determinación. La forma trivalente del cromo no es tóxica, mientras que la forma hexavalente es corrosiva y carcinógena provocando irritaciones y ulceraciones en los tejidos animales, aunque su permanencia en los organismos no es acumulativa, caso contrario al mercurio, que si lo es.
- **Impacto Ambiental sobre la Ciénaga Gualí-Tres Esquinas:** debido a que las aguas residuales del municipio de Funza son descargadas en la ciénaga Gualí-Tres Esquinas éstas ejercen efectos nocivos sobre las aguas naturales, como son:
 - Compuestos tóxicos, los cuales han provocado destrucción e inhibición de la actividad biológica en el agua; en este caso se deben principalmente a la presencia de metales como mercurio, cromo y cobre
 - Materiales que afectan el balance de oxígeno en el agua: sustancias que consumen oxígeno disuelto, las cuales incluyen el material orgánico biodegradable o agentes inorgánicos reductores y procesos como la nitrificación

- Sustancias que impiden la reoxigenación del agua, como aceites y detergentes, los cuales forman películas superficiales que reducen la tasa de transferencia de oxígeno y, por lo tanto, amplían el efecto perjudicial de las sustancias que consumen oxígeno
- Microorganismos patógenos, aportados principalmente por las aguas residuales domésticas
- Sustancias que promueven la eutrofización debido a sus propiedades nutrientes, que al presentarse en exceso inducen un crecimiento desmesurado de la vegetación acuática.

En sus condiciones actuales resulta poco provechosa la utilización de aguas de la ciénaga para fines de riego en cultivos porque:

- Pueden contaminarse con organismos patógenos, provenientes principalmente del agua doméstica
- Los trabajadores de las tierras contraen infecciones debidas a organismos patógenos
- El ganado puede infectarse por larvas
- Las grasas y otras sustancias deletéreas son nocivas para la tierra
- Los poros del suelo pueden obstruirse inhabilitando las tierras para la agricultura
- Los productos químicos que contienen las aguas pueden contaminar la carne y los productos lácteos
- Se producen olores desagradables y condiciones antiestéticas y nocivas.

6. Conclusiones

- Tanto el pH como la temperatura son adecuados para que se pueda llevar a cabo la biodegradación en la planta de tratamiento y la autopurificación en la ciénaga.
- La concentración de oxígeno disuelto presente en las aguas servidas que llegan a la planta (mayor a 2 ppm, mínimo permitido según el Decreto 1594/84), satisface las necesidades de los microorganismos que efectúan la degradación biológica de las aguas

- En general los valores de DBO y DQO de la planta se encuentran dentro de la reglamentación para vertimientos, que exige máximo 1000 mg/L O₂ y 2000 mg/L O₂ respectivamente
- El porcentaje de remoción de sólidos en la planta, en promedio 23.93%, no cumple con el 50% exigido en el Decreto 1594/84
- La planta de tratamiento no está realizando una remoción efectiva de las grasas y aceites presentes en las aguas ($x = 27.43\%$), ya que no se logra alcanzar el 80% mínimo exigido en la reglamentación sobre vertimientos.
- Como la concentración de surfactantes en la planta es mayor de 0.5 ppm (a partir de éste valor la formación de espuma se acentúa) se presentan problemas en la reoxigenación de las aguas incidiendo en una pobre degradación de los mismos, y de otras sustancias presentes en las aguas
- La presencia de cobre y mercurio en cantidades que superan la legislación (mayor a 1 y 0.01 ppm respectivamente) proporciona a las aguas características tóxicas que influyen de una manera negativa en la degradación biológica



- Los principales contaminantes que están llegando a la planta y que afectan el tratamiento biológico son los detergentes, mercurio, cobre, grasas y aceites
- Las concentraciones de oxígeno disuelto, grasas y aceites, surfactantes, cobre, cromo y mercurio se encuentran fuera de los lineamientos normativos para la preservación de ecosistemas hídricos, como el de Gualí-Tres Esquinas, alterando desfavorablemente sus características naturales
- La presencia de mercurio en aguas de la ciénaga y de la planta representan un alto riesgo de toxicidad para los organismos vivos, por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación
- Los resultados de la presente investigación permiten concluir que las aguas tratadas que se vierten a la ciénaga Gualí-Tres Esquinas continúan ejerciendo un impacto ambiental negativo sobre ella, ya que las características fisicoquímicas de las aguas del efluente no reflejan la realización de un proceso de saneamiento efectivo
- El riego de cultivos con aguas de la ciénaga en sus condiciones actuales no es apropiado, puesto que sus características fisicoquímicas han cambiado de una manera adversa, como consecuencia de los vertimientos de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **APHA-AWWA** - WPCF. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Editorial Díaz de Santos. Madrid, 1992
 - **CAR**. Estudio de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales Domésticas e Industriales de los Municipios de Zipaquirá, Cogua, Nemocón, Cajicá, Chía, Madrid, Mosquera y Funza. Informe de Caracterización de Aguas Residuales Domésticas y Vertimientos Municipales, Bogotá, 1983
 - **CAR**. Evaluación de los Mataderos Municipales, Bogotá, 1984.
 - **CAR**. Estudios Técnicos. Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Industriales y Domésticas del Municipio de Funza. Estudio Ambiental, Informe No. 1, Bogotá, 1992
 - **CAR-TORO SUAREZ**, María Cristina. Estudio Limnológico, Diagnóstico Físicoquímico y Biológico de los Humedales en la Sabana, Gualí-Tres Esquinas y Florida, Bogotá, 1994.
 - **CRITES - TCHOBANGLUS**. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Mc. Graw Hill, Bogotá, 2000.
 - **GUERRERO J. H.** Tratamiento de Aguas. Ediciones Hispanoamérica, Bogotá, 1996
 - **INGENIEROS CONSULTORES**. Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales y Domésticas del Municipio de Funza. Informe Técnico No. 2. Predimensionamiento y Análisis de Alternativas. **METCALF-EDDY**. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. McGraw Hill. Mexico, 1996. Volumen 1.
 - **MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE**. Impacto Ambiental en Cuencas Hidrográficas. Colombia, Bogotá, 1999.
 - **TORRES - BÁEZ NOGUERA J.** Tratamiento Básico de Aguas. Editorial Reverté. España, 1992
 - **VEGA DE KUYPER**. Manejo de Residuos de la Industria Química y Afín. Editorial Alfaomega. México, 1999
 - **VILLEGAS POSADA**, Francisco Alberto. Evaluación y Control de la Contaminación. Editorial Universidad Nacional. Colombia, Bogotá, 1999.
-